Zonificación de aptitud para plantaciones comerciales

de veinte especies forestales en Colombia orientada a la producción de madera a escala 1:100.000

UPRA

Gustavo Francisco Petro Urrego
Presidente de la República de Colombia

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR)

Martha Viviana Carvajalino Villegas
Ministra de Agricultura y Desarrollo Rural

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA)

Claudia Liliana Cortés López
Directora General

Juan Carlos López Gómez
Secretario General

Dora Inés Rey Martínez
Directora técnica de Ordenamiento de la Propiedad y Mercado de Tierras

Alexander Rodríguez Romero
Director técnico de Uso Eficiente del Suelo Rural y Adecuación de Tierras

Luz Mery Gómez Contreras
Jefe de la Oficina de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones

Asesores
Adriana Pérez Orozco
Emiro José Díaz Leal
Juan Carlos Avellaneda Micolta
Mónica Cortés Pulido
Sandra Milena Ruano Reyes

Editora
Claudia Cortés López

Dirección técnica
Alexander Rodríguez Romero
Daniel Alberto Aguilar Corrales

Coordinación técnica
Renato Baldovino Guevara
Ricardo Fabián Siachoque Bernal

Autores
Ricardo Fabián Siachoque Bernal
Claudia Cortés López
Sebastián Polo Carrera
Gabriel Eduardo Páramo Rocha
Claudia Patricia Acosta Latorre
Juan Antonio Gómez Blanco
Luis Eduardo García Castellanos
Carlos Alberto Novoa Barajas
Heidy Soledad Rodríguez Albarracín
Luisa María Lagos Riaño
Jaime Vergara Hincapié
Mayra Alejandra Velásquez Ramos

Compilación y edición
Jeimy Paola Jiménez Sánchez
Carlos Alberto Novoa Barajas
Pedro David Porras Rodríguez
Luis Alberto Rosas Acosta

Representación cartográfica
Nancy Alarcón
Wilson Cabanzo
Alejandra Castrillón
Alejandro Moreno
Carlos Ruíz
Jaime Unriza

Coordinación equipo de publicaciones
Johana Trujillo Moya

Revisión de texto y estilo
Xavier Humberto Páez Ochoa

Diseño y diagramación
Sonia Mireya Montaño Bermúdez
Constanza Rodríguez Ramírez

Fotografía e imágenes
Banco de imágenes UPRA
Edgar Mauricio Carrillo
Andrés Eduardo Paz Duarte

Este documento es propiedad intelectual de la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). Sólo se permite su reproducción parcial cuando no se use con fines comerciales. Se debe citar este documento así: Siachoque, R., Cortés, C., Polo, S., Páramo, G., Acosta, C., Gómez, J., García, L., Novoa, C., Rodríguez, H., Lagos, L., Vergara, J., Velásquez, M. (2023). *Zonificación de aptitud para plantaciones comerciales de veinte especies forestales en Colombia orientada a la producción de madera a escala 1:100.00 0.* Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). URL del documento.

ISBN: 978-628-7697-23-2.

Elaborado: © UPRA 2023

Resumen

La Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA) presenta la memoria técnica de la zonificación de aptitud para veinte especies forestales maderables —dieciséis introducidas y cuatro nativas— en Colombia a escala 1:100.000. Éstas fueron seleccionadas por la cantidad de área sembrada, la demanda y el potencial en el mercado de acuerdo con la función misional de planificación del uso eficiente del suelo rural y la adecuación de tierras.

Para la evaluación se definieron 21 criterios: 8 del componente físico, 6 del socioecosistémico y 7 del socioeconómico; y 65 variables, a partir de los cuales se obtuvieron los mapas de aptitud para las siguientes especies maderables forestales: Acacia (*Acacia mangium*); eucaliptos (*Eucalyptus pellita*, *E. tereticornis*, *E. urograndis*, *E. urophylla*); melina (*Gmelina arborea*); pino caribe (*Pinus caribaea*); teca (*Tectona grandis*); ceiba tolúa (*Bombacopsis quinata*); roble, ocobo o flormorado (*Tabebuia rosea*); balso (*Ochroma pyramidale*); eucalipto rojo (*Eucalyptus camaldulensis*); pinos (*Pinus tecunumanii*, *P. maximinoi* y *P. oocarpa*); nogal cafetero (*Cordia alliodora*); eucalipto rosado (*Eucalyptus grandis*); ciprés (*Cupressus lusitanica*); eucalipto blanco, común o azul (*Eucalyptus globulus*); y pino pátula (*Pinus patula*).

La mayor superficie apta encontrada fue para *Eucalyptus tereticornis*, con 24.094.293 hectáreas; para *E. tereticornis*, *E. urograndis* y *E. pellita*, se destacaron las áreas del Meta, Vichada, Antioquia, Córdoba y Caquetá. La menor área apta fue para *Pinus maximinoi*, que abarca 2.757.188 hectáreas. Por piso térmico, se identificaron tres grupos: el piso cálido, para *E. tereticornis*, *E. urograndis*, *E. urophylla* y *E. pellita*, *Ochroma pyramidale*, *Pinus caribeae* y *Acacia mangium*; el piso medio, para *E. camaldulensis* y *E. grandis*, *P. tecunumanii* y *P. oocarpa*, y *Cordia alliodora*; y el piso frío, para *Eucalyptus globulus*, *Cupressus lusitanica*, *P. patula* y *P. maximinoi*. Dada la alta adaptabilidad a las diversas condiciones de suelos, las especies de mayor aptitud fueron *E. tereticornis*, *E. urograndis*, *E. urophylla*, *E. pellita*, *Ochroma pyramidale*, *Pinus caribeae* y *Acacia mangium*. Para la actividad forestal comercial, se evidenció, frente a la región Andina, una mayor competitividad de la Orinoquia, donde prevalecen extensas áreas y menores precios de la tierra. No obstante, la región Andina muestra la mejor viabilidad para el procesamiento de la madera, gracias a la cercanía y a la facilidad de acceso de las plantaciones comerciales a las plantas de transformación.

Palabras clave: Plantaciones Forestales; Criterios Físicos; Criterios Socioecosistémicos; Criterios Socioeconómicos; Análisis Multicriterio; Mapa de Aptitud; Evaluación de Tierras.

Tabla de contenido

Resumen **3**
Índice de tablas **6**
Índice de figuras **14**
Lista de siglas y abreviaturas **18**
Lista de símbolos **21**
Glosario **22**
Introducción **26**
1. Antecedentes **30**
1.1. Antecedentes de zonificación de aptitud para plantaciones comerciales forestales en Colombia 31
1.2. Contexto general 31
1.3. Descripción de las especies forestales seleccionadas 32
1.4. Contexto mundial 40
1.5. Contexto nacional 42
1.5.1. Comercio internacional 43
1.5.2. Costos de producción 46
1.5.3. Empleo 46
1.6. Marco político 47
1.7. Marco normativo 51
1.8. Alcances y limitaciones 54
2. Marco conceptual **57**
3. Marco metodológico **62**
3.1 Definición del tipo de utilización de la tierra (TUT) 67
3.2 Criterios de análisis jerárquico 67
3.2.1. Criterios físicos 68
3.2.2. Criterios socioecosistémicos 73
3.2.3. Criterios socioeconómicos 78
3.3. Rangos de aptitud y exclusiones técnicas 86
3.3.1. Criterios y variables del componente físico 86
3.3.2. Criterios y variables del componente socioecosistémico 100
3.3.3. Criterios y variables del componente socioeconómico 104
3.4. Exclusiones legales y condicionantes legales 109
3.5. Análisis multicriterio 125
3.5.1. Proceso analítico jerárquico 125

3.5.2. Matriz del proceso analítico jerárquico 126
3.6. Análisis espacial y modelo cartográfico integral 130
3.7. Proceso de validación de los mapas 133
3.7.1. Socialización y visitas de campo 133
3.7.2. Validación de mapas integrados 138
4. Resultados 143
4.1. Acacia (*Acacia mangium*) 143
4.2. Eucalipto (*Eucalyptus pellita*) 148
4.3. Eucalipto (*Eucalyptus tereticornis*) 153
4.4. Eucalipto (*Eucalyptus urograndis*) 158
4.5. Eucalipto (*Eucalyptus urophylla*) 163
4.6. Melina (*Gmelina arborea*) 168
4.7. Pino caribe (*Pinus caribaea*) 173
4.8. Teca (*Tectona grandis*) 178
4.9. Ceiba tolúa (*Bombacopsis quinata*) 183
4.10. Roble, ocobo o flormorado (*Tabebuia rosea*) 188
4.11. Balso (*Ochroma pyramidale*) 193
4.12. Eucalipto rojo (*Eucalyptus camaldulensis*) 198
4.13. Pino (*Pinus tecunumanii*) 203
4.14. Nogal cafetero (*Cordia alliodora*) 208
4.15. Pino (*Pinus maximinoi*) 213
4.16. Eucalipto rosado (*Eucalyptus grandis*) 218
4.17. Pino (*Pinus oocarpa*) 223
4.18. Ciprés (*Cupressus lusitanica*) 228
4.19. Eucalipto blanco, común o azul (*Eucalyptus globulus*) 233
4.20. Pino pátula (*Pinus patula*) 238
5. Conclusiones 245
6. Bibliografía 248

Índice de tablas

Tabla 1. Especies forestales introducidas y nativas seleccionadas para la zonificación de aptitud en Colombia 33
Tabla 2. Principales características de las veinte especies forestales maderables para la zonificación de aptitud en Colombia 33
Tabla 3. Área de bosques en miles de hectáreas, año 2020 40
Tabla 4. Exportaciones mundiales de los principales productos maderables, periodo 2017- 2021 41
Tabla 5. Tasa de crecimiento anual de la oferta en toneladas y millones de pesos colombianos, periodo 2019-2020 45
Tabla 6. Marco de políticas y lineamientos relacionados con el sector forestal 47
Tabla 7. Marco normativo relacionado con el sector forestal 51
Tabla 8. Definición de criterios y variables del subcomponente climático 69
Tabla 9. Definición de criterios y variables del subcomponente edáfico 70
Tabla 10. Definición de criterios y variables del componente socioecosistémico 75
Tabla 11. Criterios y variables del componente socioeconómico 80
Tabla 12. Categorías para la zonificación de aptitud de cultivos comerciales 86
Tabla 13. Rangos de aptitud para el criterio *condiciones climáticas* 87
Tabla 14. Rangos de aptitud para el criterio *disponibilidad de nutrientes* 88
Tabla 15. Rangos de aptitud para el criterio *toxicidad por sales, sodio y aluminio* 89
Tabla 16. Rangos de aptitud para el criterio *condiciones de enraizamiento* 91
Tabla 17. Rangos de aptitud para el criterio *disponibilidad de oxígeno* 93
Tabla 18. Rangos de aptitud para el criterio *disponibilidad de humedad* 96
Tabla 19. Rangos de aptitud para el criterio *capacidad de laboreo* 98
Tabla 20. Rangos de aptitud para el criterio *susceptibilidad a la pérdida de suelos* 100
Tabla 21. Rangos de variables del componente socioecosistémico 100
Tabla 22. Rangos de variables del componente socioeconómico 104
Tabla 23. Exclusiones legales 111
Tabla 24. Condicionantes legales 117
Tabla 25. Escala de preferencia o importancia dentro del proceso analítico jerárquico 126
Tabla 26. Esquema de la matriz de comparación a nivel de criterio 126

Tabla 27. Matriz de evaluación multicriterio de los componentes físicos y socioecosistémicos de la zonificación de aptitud para plantaciones de veinte especies forestales 128
Tabla 28. Matriz de evaluación multicriterio del componente socioeconómico de la zonificación de aptitud para plantaciones de veinte especies forestales 129
Tabla 29. Matriz de paso para el cruce de los componentes biofísicos y socioeconómicos de la zonificación de aptitud para plantaciones de veinte especies forestales 129
Tabla 30. Áreas según categorías de aptitud para la producción de *Acacia mangium* en Colombia a escala 1:100.000 145
Tabla 31. Principales departamentos aptos para la producción de *Acacia mangium* en Colombia 146
Tabla 32. Principales departamentos con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Acacia mangium* en Colombia 146
Tabla 33. Principales municipios aptos para la producción de *Acacia mangium* en Colombia 147
Tabla 34. Principales municipios con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Acacia mangium* en Colombia 148
Tabla 35. Áreas según categorías de aptitud para *Eucalyptus pellita* en Colombia a escala 1:100.000 149
Tabla 36. Principales departamentos aptos en hectáreas para la producción de *Eucalyptus pelllita* en Colombia 151
Tabla 37. Principales departamentos con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Eucalyptus pellita* en Colombia 151
Tabla 38. Principales municipios aptos para la producción de *Eucalyptus pellita* en Colombia 152
Tabla 39. Principales municipios con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Eucalyptus pellita* en Colombia 153
Tabla 40. Áreas según categorías de aptitud para la producción de *Eucalyptus tereticornis* en Colombia a escala 1:100.000 155
Tabla 41. Principales departamentos aptos para la producción de *Eucalyptus tereticornis* en Colombia 156
Tabla 42. Principales departamentos con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Eucalyptus tereticornis* en Colombia 156
Tabla 43. Principales municipios aptos para la producción de *Eucalyptus tereticornis* en Colombia 157

Tabla 44. Principales municipios con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Eucalyptus tereticornis* en Colombia 158
Tabla 45. Áreas según categorías de aptitud para la producción de *Eucalyptus urograndis* en Colombia a escala 1:100.000. 160
Tabla 46. Principales departamentos aptos para la producción de *Eucalyptus urograndis* en Colombia 161
Tabla 47. Principales departamentos con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Eucalyptus urograndis* en Colombia 161
Tabla 48. Principales municipios aptos para la producción de *Eucalyptus urograndis* en Colombia 162
Tabla 49. Principales municipios con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Eucalyptus urograndis* en Colombia 163
Tabla 50. Áreas según categorías de aptitud para la producción de *Eucalyptus urophylla* en Colombia a escala 1:100.000 164
Tabla 51. Principales departamentos aptos para la producción de *Eucalyptus urophylla* en Colombia 166
Tabla 52. Principales departamentos con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Eucalyptus urophylla* en Colombia 166
Tabla 53. Principales municipios aptos para la producción de *Eucalyptus urophylla* en Colombia 167
Tabla 54. Principales municipios con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Eucalyptus urophylla* en Colombia 168
Tabla 55. Áreas según categorías de aptitud para la producción de *Gmelina arborea* en Colombia a escala 1:100.000 170
Tabla 56. Principales departamentos aptos para la producción de *Gmelina arborea* en Colombia 171
Tabla 57. Principales departamentos con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Gmelina arborea* en Colombia 171
Tabla 58. Principales municipios aptos para la producción de *Gmelina arborea* en Colombia 172
Tabla 59. Principales municipios con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Gmelina arborea* en Colombia 173

Tabla 60. Áreas según categorías de aptitud para la producción de *Pinus caribaea* en Colombia a escala 1:100.000 174
Tabla 61. Principales departamentos aptos para la producción de *Pinus caribaea* en Colombia 176
Tabla 62. Principales departamentos con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Pinus caribaea* en Colombia 176
Tabla 63. Principales municipios aptos para la producción de *Pinus caribaea* en Colombia 177
Tabla 64. Principales municipios con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Pinus caribaea* en Colombia 178
Tabla 65. Áreas según categorías de aptitud para la producción de *Tectona grandis* en Colombia a escala 1:100.000 180
Tabla 66. Principales departamentos aptos para la producción de *Tectona grandis* en Colombia 181
Tabla 67. Principales departamentos con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Tectona grandis* en Colombia 181
Tabla 68. Principales municipios aptos para la producción de *Tectona grandis* en Colombia 182
Tabla 69. Principales municipios con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Tectona grandis* en Colombia 183
Tabla 70. Áreas según categorías de aptitud para la producción de *Bombacopsis quinata* en Colombia a escala 1:100.000 184
Tabla 71. Principales departamentos aptos para la producción de *Bombacopsis quinata* en Colombia 186
Tabla 72. Principales departamentos con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Bombacopsis quinata* en Colombia 186
Tabla 73. Principales municipios aptos para la producción de *Bombacopsis quinata* en Colombia 187
Tabla 74. Principales municipios con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Bombacopsis quinata* en Colombia 188
Tabla 75. Áreas según categorías de aptitud para la producción de *Tabebuia rosea* en Colombia a escala 1:100.000 189
Tabla 76. Áreas según categorías de aptitud para la producción de *Tabebuia rosea* en Colombia a escala 1:100.000 191
Tabla 77. Principales departamentos con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Tabebuia rosea* en Colombia 191

Tabla 78. Principales municipios aptos para la producción de *Tabebuia rosea* en Colombia. 192
Tabla 79. Principales municipios con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Tabebuia rosea* en Colombia 193
Tabla 80. Áreas según categorías de aptitud para la producción de *Ochroma pyramidale* en Colombia a escala 1:100.000 194
Tabla 81. Principales departamentos aptos para la producción de *Ochroma pyramidale* en Colombia 196
Tabla 82. Principales departamentos con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Ochroma pyramidale* en Colombia 196
Tabla 83. Principales municipios aptos para la producción de *Ochroma pyramidale* en Colombia 197
Tabla 84. Principales municipios con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Ochroma pyramidale* en Colombia 198
Tabla 85. Áreas según categorías de aptitud para la producción de *Eucalyptus camaldulensis* en Colombia a escala 1:100.000 199
Tabla 86. Principales departamentos aptos para la producción de *Eucalyptus camaldulensis* en Colombia 201
Tabla 87. Principales departamentos con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Eucalyptus camaldulensis* en Colombia 201
Tabla 88. Principales municipios aptos para la producción de *Eucalyptus camaldulensis* en Colombia 202
Tabla 89. Principales municipios con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Eucalyptus camaldulensis* en Colombia 203
Tabla 90. Áreas según categorías de aptitud para la producción de *Pinus tecunumanii* en Colombia a escala 1:100.000 204
Tabla 91. Principales departamentos aptos para la producción de *Pinus tecunumanii* en Colombia 206
Tabla 92. Principales departamentos con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Pinus tecunumanii* en Colombia 206
Tabla 93. Principales municipios aptos para la producción de *Pinus tecunumanii* en Colombia 207

Tabla 94. Principales municipios con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Pinus tecunumanii* en Colombia 208
Tabla 95. Áreas según categorías de aptitud para la producción de *Cordia alliodora* en Colombia a escala 1:100.000 209
Tabla 96. Principales departamentos aptos para la producción de *Cordia alliodora* en Colombia 211
Tabla 97. Principales departamentos con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) para la producción de *Cordia alliodora* en Colombia 211
Tabla 98. Principales municipios aptos para la producción de *Cordia alliodora* en Colombia 212
Tabla 99. Principales municipios con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Cordia alliodora* en Colombia 213
Tabla 100. Áreas según categorías de aptitud para la producción de *Pinus maximinoi* en Colombia a escala 1:100.000 215
Tabla 101. Principales departamentos aptos para la producción de *Pinus maximinoi* en Colombia 216
Tabla 102. Principales departamentos con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Pinus maximinoi* en Colombia 217
Tabla 103. Principales municipios aptos para la producción de *Pinus maximinoi* en Colombia 217
Tabla 104. Principales municipios con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Pinus maximinoi* en Colombia 218
Tabla 105. Áreas según categorías de aptitud para el eucalipto rosado (*Eucalyptus grandis*) en Colombia, escala 1:100.000 220
Tabla 106. Principales departamentos aptos para la producción de *Eucalyptus grandis* en Colombia 221
Tabla 107. Principales departamentos con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Eucalyptus grandis* en Colombia 221
Tabla 108. Principales municipios aptos para la producción de *Eucalyptus grandis* en Colombia 222
Tabla 109. Principales municipios con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Eucalyptus grandis* en Colombia 223

Tabla 110. Áreas según categorías de aptitud para la producción de *Pinus oocarpa* en Colombia a escala 1:100.000 225
Tabla 111. Áreas según categorías de aptitud para la producción de *Pinus oocarpa* en Colombia a escala 1:100.000 226
Tabla 112. Principales departamentos con mayor aptitud alta (A1), aptitud (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Pinus oocarpa* en Colombia 226
Tabla 113. Principales municipios aptos para la producción de *Pinus oocarpa* en Colombia 227
Tabla 114. Principales municipios con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) para la producción de *Pinus oocarpa* en Colombia 228
Tabla 115. Áreas según categorías de aptitud para la producción de *Cupressus lusitanica* en Colombia a escala 1:100.000 230
Tabla 116. Principales departamentos aptos para la producción de *Cupressus lusitanica* en Colombia 231
Tabla 117. Principales departamentos con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Cupressus lusitanica* en Colombia 231
Tabla 118. Principales municipios aptos para la producción de *Cupressus lusitanica* en Colombia 232
Tabla 119. Principales municipios con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Cupressus lusitanica* en Colombia 233
Tabla 120. Áreas según categorías de aptitud para la producción de *Eucalyptus globulus* en Colombia a escala 1:100.000 235
Tabla 121. Principales departamentos aptos para la producción de *Eucalyptus globulus* en Colombia 236
Tabla 122. Principales departamentos con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) para la producción de *Eucalyptus globulus* en Colombia 237
Tabla 123. Principales municipios aptos para la producción de *Eucalyptus globulus* en Colombia 237
Tabla 124. Principales municipios con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Eucalyptus globulus* en Colombia 238
Tabla 125. Áreas según categorías de aptitud para la producción de *Pinus patula* en Colombia a escala 1:100.000 240

Tabla 126. Principales departamentos aptos para la producción de *Pinus patula* en Colombia 241
Tabla 127. Principales departamentos con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Pinus patula* en Colombia 242
Tabla 128. Principales municipios aptos para la producción de *Pinus patula* en Colombia 242
Tabla 129. Principales municipios con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Pinus patula* en Colombia 243

Índice de figuras

Figura 1. Importaciones mundiales por tipo de producto o uso maderable, periodo 2017-2021 41
Figura 2. Cadena forestal en Colombia 43
Figura 3. Principales productos de madera exportados por Colombia en miles de dólares estadounidenses, periodo 2017-2021 44
Figura 4. Balanza comercial en miles de dólares estadounidenses, periodo 2017-2021 45
Figura 5. Marco conceptual para la zonificación de aptitud de cadenas productivas 58
Figura 6. Tipos de criterios usados en la zonificación de aptitud para plantaciones forestales en Colombia 64
Figura 7. Esquema metodológico de la zonificación de veinte especies forestales maderables 65
Figura 8. Criterios y variables del componente físico 68
Figura 9. Relación entre los atributos y los criterios de la estructura, la función y la dinámica para la interpretación socioecosistémica 74
Figura 10. Criterios y variables del componente socioecosistémico 75
Figura 11. Criterios y variables del componente socioeconómico 80
Figura 12. Mapa de exclusiones legales 110
Figura 13. Mapa de condicionantes legales 116
Figura 14. Proceso de análisis de información espacial para la obtención del mapa de zonificación de aptitud 129
Figura 15. Modelo cartográfico integral para la zonificación de aptitud para veinte especies forestales con fines comerciales en Colombia a escala 1:100.000 132
Figura 16. Estrategia de socialización y validación de la zonificación de aptitud 133
Figura 17. Recorrido de validación en una plantación de melina (*Gmelina arborea*), Forestal Monterrey Colombia 134
Figura 18. Recorrido por las instalaciones de la empresa maderera Tekia 134
Figura 19. Visita al vivero Reforiente 135

Figura 20. Socialización y validación de la zonificación de aptitud con Agroindustrias La Florida, municipio de Villamaría, Caldas 136
Figura 21. Socialización y validación de la zonificación de aptitud con Fedemaderas 136
Figura 22. Validación de la zonificación de aptitud en San José del Nus, Antioquia 137
Figura 23. Validación del mapa de aptitud de la ceiba en Montería, Córdoba 138
Figura 24. Socialización y validación de la zonificación de aptitud con la empresa Maderas El Vergel 139
Figura 25. Socialización y validación de la zonificación de aptitud con el equipo técnico de Smurfit Kappa en Armenia, Quindío 140
Figura 26. Recorrido para la validación de la zonificación de aptitud por Antioquia 141
Figura 27. Socialización y validación de resultados de la zonificación de aptitud con Fedemaderas y empresas reforestadoras 141
Figura 28. Mapas intermedios de la zonificación de aptitud para la producción de *Acacia mangium* en Colombia a escala 1:100.000 144
Figura 29. Mapa integrado de aptitud para la producción de *Acacia mangium* en Colombia a escala 1:100.000 145
Figura 30. Mapas intermedios de la zonificación de aptitud para la producción de *Eucalyptus pellita* en Colombia a escala 1:100.000 149
Figura 31. Mapa integrado de aptitud para la producción de *Eucalyptus pellita* en Colombia a escala 1:100.000 150
Figura 32. Mapas intermedios de la zonificación de aptitud para la producción de *Eucalyptus tereticornis* en Colombia a escala 1:100.000 154
Figura 33. Mapa integrado de aptitud para la producción de *Eucalyptus tereticornis* en Colombia a escala 1:100.000 155
Figura 34. Mapas intermedios de la zonificación de aptitud para la producción de *Eucalyptus urograndis* en Colombia a escala 1:100.000 159
Figura 35. Mapa integrado de aptitud para la producción de *Eucalyptus urograndis* en Colombia a escala 1:100.000 160
Figura 36. Mapas intermedios de la zonificación de aptitud para la producción de *Eucalyptus urophylla* en Colombia a escala 1:100.000 164
Figura 37. Mapa integrado de aptitud para la producción de *Eucalyptus urophylla* en Colombia a escala 1:100.000 165
Figura 38. Mapas intermedios de la zonificación de aptitud para la producción de *Gmelina arborea* en Colombia a escala 1:100.000 169

Figura 39. Mapa integrado de aptitud para la producción de *Gmelina arborea* en Colombia a escala 1:100.000 170
Figura 40. Mapas intermedios de la zonificación de aptitud para la producción de *Pinus caribaea* en Colombia a escala 1:100.000 174
Figura 41. Mapa integrado de aptitud para la producción de *Pinus caribaea* en Colombia a escala 1:100.000 175
Figura 42. Mapas intermedios de la zonificación de aptitud para la producción de *Tectona grandis* en Colombia a escala 1:100.000 179
Figura 43. Mapa integrado de aptitud para la producción de *Tectona grandis* en Colombia a escala 1:100.000 180
Figura 44. Mapas intermedios de la zonificación de aptitud para la producción de *Bombacopsis quinata* en Colombia a escala 1:100.000 184
Figura 45. Mapa integrado de aptitud para la producción de *Bombacopsis quinata* en Colombia a escala 1:100.000 185
Figura 46. Mapas intermedios de la zonificación de aptitud para la producción de *Tabebuia rosea* en Colombia a escala 1:100.000 189
Figura 47. Mapa integrado de aptitud para la producción de *Tabebuia rosea* en Colombia a escala 1:100.000 190
Figura 48. Mapas intermedios de la zonificación de aptitud para la producción de *Ochroma pyramidale* en Colombia a escala 1:100.000 194
Figura 49. Mapa integrado de aptitud para la producción de *Ochroma pyramidale* en Colombia a escala 1:100.000 195
Figura 50. Mapas intermedios de la zonificación de aptitud para la producción de *Eucalyptus camaldulensis* en Colombia a escala 1:100.000 199
Figura 51. Mapa integrado de aptitud para la producción de *Eucalyptus camaldulensis* en Colombia a escala 1:100.000 200
Figura 52. Mapas intermedios de la zonificación de aptitud para la producción de *Pinus tecunumanii* en Colombia a escala 1:100.000 204
Figura 53. Mapa integrado de aptitud para la producción de *Pinus tecunumanii* en Colombia a escala 1:100.000 205
Figura 54. Mapas intermedios de la zonificación de aptitud para la producción de *Cordia alliodora* en Colombia a escala 1:100.000 209
Figura 55. Mapa integrado de aptitud para la producción de *Cordia alliodora* en Colombia a escala 1:100.000 210
Figura 56. Mapas intermedios de la zonificación de aptitud para la producción de *Pinus maximinoi* en Colombia a escala 1:100.000 214
Figura 57. Mapa integrado de aptitud para la producción de *Pinus maximinoi* en Colombia a escala 1:100.000 215

Figura 58. Mapas intermedios de la zonificación de aptitud para la producción de *Eucalyptus grandis* en Colombia a escala 1:100.000 219
Figura 59. Mapa integrado de aptitud para la producción de *Eucalyptus grandis* en Colombia a escala 1:100.000 220
Figura 60. Mapas intermedios de la zonificación de aptitud para la producción de *Pinus oocarpa* en Colombia a escala 1:100.000 224
Figura 61. Mapa integrado de aptitud para la producción de *Pinus oocarpa* en Colombia a escala 1:100.000 225
Figura 62. Mapas intermedios de la zonificación de aptitud para la producción de *Cupressus lusitanica* en Colombia a escala 1:100.000 229
Figura 63. Mapa integrado de aptitud para la producción de *Cupressus lusitanica* en Colombia a escala 1:100.000 230
Figura 64. Mapas intermedios de la zonificación de aptitud para la producción de *Eucalyptus globulus* en Colombia a escala 1:100.000 234
Figura 65. Mapa integrado de aptitud para la producción de *Eucalyptus globulus* en Colombia a escala 1:100.000 235
Figura 66. Mapas intermedios de la zonificación de aptitud para la producción de *Pinus patula* en Colombia a escala 1:100.000 239
Figura 67. Mapa integrado de aptitud para la producción de *Pinus patula* en Colombia a escala 1:100.000 240

Lista de siglas y abreviaturas

AAVC	Áreas de alto valor de conservación
AC	Áreas críticas para especies migratorias en agroecosistemas
ACES	Área de concentración de especies sensibles
Agrosavia	Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica, hasta noviembre de 2018)
AHP	Proceso analítico jerárquico (Analytic Hierarchy Process)
AICAS	Áreas de importancia para la conservación de aves silvestres
APC	Áreas prioritarias de conservación
CECN	Conectividad estructural de las coberturas naturales
CIAT	Centro Internacional de Agricultura Tropical
CIC	Capacidad de intercambio catiónico
CIF	Certificado de Incentivo Forestal
Cifor	Centro para la Investigación Forestal Internacional
CLC	Corine Land Cover
Conif	Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal
Conpes	Consejo Nacional de Política Económica y Social
COP	Peso colombiano
Corpoica	Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
DEM	Modelo digital de elevación (*digital elevation model*)
DHR	Disponibilidad hídrica real
DMI	Distrito de manejo integrado
DNP	Departamento Nacional de Planeación
ENA	Estudio Nacional del Agua
EE. UU.	Estados Unidos de América
ETP	Evapotranspiración potencial
ETR	Evapotranspiración real
FAG	Fondo Agropecuario de Garantías

FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (Food and Agriculture Organization)
FAOSTAT	Base de datos estadísticos sobre alimentación, agricultura, pesca, silvicultura, gestión de recursos naturales y nutrición de la FAO
Finagro	Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario
FOB	Libre a bordo (*free on board*): cláusula de comercio internacional
FRA	Global Forest Resources Assessment
IAvH	Instituto Alexander von Humboldt
ICA	Instituto Colombiano Agropecuario
ICAM	Incremento anual corriente de madera
ICANH	Instituto Colombiano de Antropología e Historia
Ideam	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IDHC	Índice de disponibilidad de humedad para el cultivo
IE	Integridad ecológica
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
INAT	Índice de naturalidad por subzonas hidrográficas
Incoder	Instituto Colombiano de Desarrollo Rural
ISA	Incentivo al Seguro Agropecuario
ISRIC	International Soil Reference and Information Centre
IUA	Índice de uso de agua
LEC	Línea especial de crédito
MAVDT	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2002-2011)
MADR	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural
MADS	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Mincultura	Ministerio de Cultura
MEN	Ministerio de Educación Nacional
MHCP	Ministerio de Hacienda y Crédito Público
Mintransporte	Ministerio de Transporte
m s. n. m.	Metros sobre el nivel del mar
PET	Población en edad de trabajar
PEMF	Plan de establecimiento y manejo forestal
PGOF	Planes generales de ordenación forestal
pH	Potencial de hidrógeno (medida de acidez o alcalinidad)
PIB	Producto interno bruto
PNG	Presupuesto general de la Nación
PNDF	Plan nacional de desarrollo forestal
PNN	Parques nacionales naturales de Colombia

Profor	Program on Forests
PSI	Porcentaje de sodio intercambiable
Runap	Registro Único Nacional de Áreas Protegidas
SENA	Servicio Nacional de Aprendizaje
SGC	Servicio Geológico Colombiano
SINA	Sistema Nacional Ambiental
Sinap	Sistema Nacional de Áreas Protegidas
SIG	Sistemas de información geográfica
SRTM	Misión topográfica *Shuttle Radar* (Shuttle Radar Topography Mission)
TUT	Tipo de utilización de la tierra
Unesco	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
UPRA	Unidad de Planificación Rural Agropecuaria
USDA	Departamento de Agricultura de los EE. UU. (por sus siglas en inglés)
Zidres	Zonas de interés de desarrollo rural, económico y social
ZRFN	Zonas de reserva forestal nacional

Lista de símbolos

>	mayor que
<	menor que
≥	mayor o igual que
≤	menor o igual que
°C	grado Celsius
cm	centímetro
cm^3	centímetro cúbico
cmol	centimol (10^{-2} moles)
dS	decisiemens (10^{-1} siemens)
gr	gramo
h	hora
ha	hectárea
kg	kilogramo
km	kilómetro
km^2	kilómetro cuadrado
ln	logaritmo natural
m	metro
me	miliequivalente
m^3	metro cúbico
m^2	metro cuadrado
mm	milímetro
Mm^3	millones de metros cúbicos
ppm	partes por millón
S	siemens (medida de conductancia eléctrica)
t	tonelada métrica

Glosario

Álgebra de mapas: se trata de un amplio conjunto de operadores o algoritmos que se ejecutan sobre una o varias capas *raster* con el propósito de producir una nueva capa de salida. El uso de operadores lógicos o condicionales permite elaborar operadores complejos para implementar procesos de análisis de datos en estructuras de tipo *raster* (Siraj *et al.* 2013).

Aptitud de la tierra: es el potencial de establecimiento de un tipo de utilización de la tierra, resultado del análisis de combinaciones de criterios físicos, socioecosistémicos y socioeconómicos enmarcados en una frontera agrícola (Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA], 2017).

Bosque natural: formación biológica compuesta por un conjunto de árboles autóctonos que no han sido sembrados por el hombre, a diferencia de un bosque forestal. Puede ser intervenido por los humanos con entresaques de madera o con deforestación total.

Bosque primario: conjunto de árboles que no han sido perturbados o sembrados por el hombre. Permanecen intactos y no han sido fragmentados ni explotados; suelen poseer una amplia diversidad de plantas y animales.

Buffer: área de influencia calculada a partir del borde externo de una entidad geográfica —tipo polígono o a partir de un eje tipo línea— para denotar un área de influencia.

Cadena productiva: conjunto de actividades que se articulan técnica y económicamente desde el inicio de la producción y elaboración de un producto agropecuario hasta su comercialización final (Ley 811 de 2003).

Coníferas: plantas que se caracterizan por tener fruto en forma de cono. Las semillas contenidas en el fruto pueden ser masculinas o femeninas, y estar descubiertas o desnudas. Las coníferas son plantas muy relevantes dentro del grupo de las gimnospermas. Ejemplo de coníferas son los pinos y los cipreses.

Competitividad: determinante del modelo de crecimiento y desarrollo sectorial. Se asocia con el uso eficiente de los factores de producción; la consolidación de los altos niveles de innovación en los sistemas productivos; la diversificación y ampliación de los mercados;

la articulación de los mercados regionales; y la población rural para desarrollar su potencial productivo y elevar su calidad de vida (UPRA, 2014, como se citó en Porter, 1980).

Componente: composición de elementos que se agrupan para dar significancia parcial a la aptitud. En la evaluación de tierras, están tipificados los componentes físico, socioecosistémico y socioeconómico (UPRA, 2017).

Condicionante legal: áreas donde las actividades agropecuarias pueden ser permitidas, restringidas o prohibidas de acuerdo con las condiciones impuestas por la ley (Resolución 261 de 2018, MADR).

Conglomerado: planchas o láminas de fragmentos de madera, mezclados con algún tipo de pegamento, que son prensados para hacerlos consistentes y resistentes.

Contexto mundial: conjunto de circunstancias que determinan la actual situación social y económica en el mundo de acuerdo con las fluctuaciones de determinado producto en el mercado.

Criterio: es el conjunto de requisitos, parámetros o variables que definen decisiones de aptitud de uso específico de un territorio rural (UPRA, 2017). Un criterio es la base para una decisión que puede medirse o evaluarse. Puede ser de dos tipos: *factor*, para el cual se definen los niveles de aptitud; *restricción*, que para este caso se considera de carácter técnico, normativo o técnico-normativo. Un factor es un criterio que mejora o reduce la aptitud de una alternativa específica para la actividad en consideración; una restricción es un criterio que limita, condiciona o excluye esas alternativas (Eastman *et al.*,1995).

Enfoque ecosistémico: se trata no sólo del uso sostenible de los bienes y servicios de los ecosistemas, sino también del mantenimiento de la integridad ecológica que sirve de paradigma de conservación para el bienestar humano. En esta perspectiva, las estrategias de gestión deben considerar tanto la dinámica en las diferentes escalas de la organización biológica como las relaciones e interacciones entre los sistemas ecológicos y sociales (Martín-López *et al.*, 2009; Minambiente, 2012, como se citaron en UPRA, 2014).

Estiba: armazón rígido de tablas que sirve para apilar y soportar carga o mercancía distribuida homogéneamente en altura y superficie. También conocido como *pallet* o *palé*, se usa en el transporte de carga terrestre o marítimo.

Evaluación de tierras: proceso de determinación y predicción del comportamiento de una porción de tierra usada para fines específicos, de acuerdo con criterios físicos, económicos y sociales. Considera los aspectos económicos del uso propuesto; las

consecuencias sociales para la gente del área y del país; y las repercusiones, benéficas o adversas, para el medioambiente (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 1976).

Evaluación multicriterio: método diseñado para cubrir un objetivo específico cuando se requiere la evaluación de varios criterios.

Exclusión legal: zona en las cuales, por mandato legal, no se permite el desarrollo de proyectos productivos del sector agropecuario (UPRA, 2019).

Fuste: tronco de un árbol que alcanza un grosor notable para obtener trozas, rollos para chapa o postes de gran tamaño. También se refiere a la altura entre la superficie del suelo y la copa de los árboles.

Huacal: cesta o jaula, formada de varillas de madera, utilizada para embalar y proteger mercancías delicadas que son transportadas. En ellas se depositan artículos como frutas, cristales o loza. Son de consistencia robusta, por lo que permiten soportar la carga que contenga o el peso de otros huacales que se apilan unos encima de otros.

Índice de disponibilidad de humedad para el cultivo (IDHC): relación entre la precipitación y la evapotranspiración de referencia mensual llevadas a una medida de tendencia anual, en función del rendimiento relativo de los cultivos (Doorenbos y Kassam, 1979).

Integridad ecológica (IE): corresponde no sólo a la medida del funcionamiento permanente saludable o apropiado de los ecosistemas en un territorio, sino también a la provisión continuada de recursos naturales y servicios ecosistémicos, autogenerados y autosostenibles. De tal modo, vincula el bienestar humano actual y futuro con el cuidado y protección de la tierra y sus ecosistemas como hábitat de las especies (Ciontescu, 2012; Mackey, 2005).

Isócronas: áreas que se encuentran a un igual tiempo de distancia de un punto, línea o zona de referencia, teniendo en cuenta los medios de transporte disponibles para llegar a los destinos.

Latifoliadas: grupo de plantas que se caracterizan por tener hojas anchas, a diferencia de las hojas de las coníferas que son estrechas o delgadas y tienen forma de agujas o hilos.

Plantación forestal: conjunto de árboles de una misma especie que han sido sembrados a distancias estándar para el aprovechamiento y extracción de la madera.

Tipo de utilización de la tierra (TUT): se refiere al uso específico que se describe a un nivel de detalle apropiado según la escala de evaluación de tierras, en términos de la producción; el contexto socio-económico; las características físicas, agronómicas y productivas; y los costos e ingresos generados por la actividad de producción (UPRA, 2013).

Turno: número planificado de años que transcurre entre la siembra de un árbol y el momento de su corte final.

Uso consuntivo: requerimiento de agua neta para el arreglo de cultivos (Ideam, 2010).

Uso eficiente del suelo rural: es la armonización espacial o temporal de todos los usos del suelo en un área determinada, que garantiza el bienestar humano para alcanzar la sostenibilidad económica, social y ambiental del territorio (UPRA, 2013). En tal sentido, la eficiencia se refiere tanto a la sostenibilidad integral como a la competitividad de los sistemas productivos (UPRA, 2014).

Variable: característica o atributo de la tierra que puede medirse o estimarse (FAO, 1976).

Zonas con condicionante legal o técnico: zonas que, independientemente de la categoría de aptitud, requieren de un análisis complementario de tipo legal, social, cultural o ambiental para el desarrollo de un cultivo determinado (UPRA, 2014).

Zonificación de aptitud: proceso dinámico mediante el cual se identifican y delimitan áreas relativamente homogéneas, sostenibles, económicamente viable y socialmente justas. Para ello, se analizan y se sintetizan criterios físicos, socioecosistémicos y socioeconómicos (UPRA, 2014).

Introducción

La Ley 2294 de 2023, «por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2022-2026 "Colombia Potencia Mundial de la Vida"», en el capítulo II, «Ordenamiento del territorio alrededor del agua y justicia ambiental»; en el capítulo V, «Transformación productiva, internacionalización y acción climática»; y en las Bases del PND 2022-2026 destaca los modelos de bioeconomía basada en el conocimiento y la innovación dirigida a la economía forestal que sacará provecho sostenible de la vocación forestal de los suelos y los bosques naturales. Para ello, crea una entidad con el fin no sólo de impulsar la restauración, la economía forestal y la biodiversidad, sino también de ayudar a controlar la deforestación y la mitigación del cambio climático en territorios continentales y marino-costeros. Del mismo modo, busca apoyar la actualización del Plan Nacional de Desarrollo Forestal (PNDF), prestar el servicio de extensión forestal y desarrollar cadenas de valor de los productos maderables y no maderables con base en la investigación y el manejo sostenible.

La UPRA formuló y registró, ante el Departamento Nacional de Planeación (DNP), el proyecto de inversión Desarrollo de la planificación y gestión del territorio rural para usos agropecuarios en el ámbito nacional, cuyo objetivo consiste en «fortalecer la orientación de la política de planificación y la gestión del territorio para usos agropecuarios». Este propósito se plantea en cumplimiento de la Ley 1955 de 2019; las funciones del decreto de creación de la unidad, 4145 de 2011, respecto al uso eficiente del suelo; la adecuación de tierras; el ordenamiento social de la propiedad; el mercado de tierras; la Ley 1551 de 2012, en lo relacionado con la elaboración de planes de desarrollo y de ordenamiento territorial; la Ley 1776 de 2016 de zonas Zidres; y la Resolución 0299 de 2019 (MADR, 2019).

La UPRA fue creada por el Decreto 4145 del 3 de noviembre de 2011 como una unidad administrativa especial de carácter técnico y especializado, sin personería jurídica, adscrita al MADR, con autonomía presupuestal, administrativa, financiera y técnica. De acuerdo con el Decreto 4145 de 2011, se establecen las siguientes funciones de la UPRA: planificar el uso eficiente del suelo; definir los criterios y crear los instrumentos requeridos para el efecto previendo el respectivo panorama de riesgos y una mayor competitividad de la producción agropecuaria en los mercados internos y externos; y diseñar instrumentos para el ordenamiento del suelo rural apto para el desarrollo agropecuario, base para la definición de políticas parq que las entidades territoriales las concreten en los planes de ordenamiento territorial.

Teniendo en cuenta que en el proyecto formulado y al cual se le asignaron recursos de inversión para la vigencia 2020 del PGN se enmarca en los programas del nuevo catálogo de cuentas del Ministerio de Hacienda y Crédito Público (MHCP), Departamento Nacional de Planeación (DNP)

y en la alineación del presupuesto orientado a resultados del programa 1704, *Ordenamiento social y uso productivo del territorio rural*, orientado a aquellas intervenciones para mejorar el acceso, uso y aprovechamiento adecuado de las tierras rurales, el cual tiene como elementos constitutivos del programa la planificación del ordenamiento productivo para el uso eficiente del suelo rural, el ordenamiento social de la propiedad rural, y el desarrollo y aplicación de lineamientos e instrumentos para la regulación del mercado de tierras, la Dirección de Uso Eficiente del Suelo y Adecuación de Tierras de la UPRA propuso desarrollar estudios que tienen como propósito fundamental generar instrumentos técnicos para la definición de políticas públicas a cargo del MADR y sus entidades adscritas y vinculadas.

En Colombia, el análisis de las problemáticas de las zonas rurales y la definición de alternativas de manejo espacial a partir de la integración de múltiples factores ha sido limitado, dado que el énfasis se ha centrado en los aspectos climáticos y edáficos, dejando subordinados y hasta olvidados los procesos socioecosistémicos, sociales, culturales y políticos, fundamentales en la planificación integral del territorio y la definición de políticas más acordes con el medio geográfico.

Con base en lo anterior, surgió la necesidad por parte de la UPRA de proponer diferentes zonificaciones de aptitud para los sectores agrícola, pecuario, forestal, acuícola y pesquero, abordadas desde un enfoque interdisciplinario, partiendo de la premisa de que la zonificación, como instrumento de planificación para las áreas rurales, facilita la identificación de áreas geográficas con una combinación de características físicas, biológicas, humanas e institucionales aptas para un uso determinado, que pueden ser interpretadas en términos de objetivos para la gestión. La aplicación de este instrumento debe estar respaldada por información que permita analizar los diferentes procesos físicos, socioecológicos y socioeconómicos que describen la heterogeneidad y particularidad de cada área geográfica (Ortiz-Lozano *et al.*,2009).

Desde el año 2013 la UPRA viene realizando adaptaciones a la metodología de evaluación de tierras de FAO y se propuso como un primer instrumento la evaluación de tierras para la zonificación con fines agropecuarios a nivel nacional, metodología a escala 1:100.000 (UPRA, 2013), tomando como base el enfoque FAO en lo relativo a su forma de aplicación e incorporando los aspectos socioeconómicos (referidos a la competitividad de las áreas), así como los de política y gobernabilidad. La metodología está fundamentada en el análisis multicriterio, cuyos criterios y variables de los componentes físicos y socioecosistémicos se integran en una matriz denominada biofísica, y los socioeconómicos en otra matriz, los cuales son ponderados de acuerdo con las características propias de una determinada cadena productiva, comparando mediante una matriz de paso los dos mapas intermedios para obtener resultados de zonas aptas para un determinado uso.

Así, la UPRA adelanta estudios de referencia para la actividad misional de la unidad y la validación de las metodologías, lineamientos y criterios propuestos en el marco de las demás actividades. Desde el año 2014, la UPRA realizado ejercicios de zonificación de cultivos que ya

suman más de 36 cadenas productivas, entre las que se destacan las siguientes: cacao, palma de aceite, papa, maíz tecnificado de clima cálido, arroz secano mecanizado, aguacate hass, mango, papaya híbrido tainung, fresa, piña híbrido MD-2, cebolla de bulbo, ají tabasco, pimentón, algodón, banano de exportación, caña panelera, café, soya, maracuyá, gulupa, granadilla y maíz tradicional. Por su parte, la zonificación forestal agrupa las treintaitrés especies que tiene en cuenta el certificado de incentivo forestal (ICR), instrumento del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, a la cual se suma el caucho natural.

Las zonificaciones de aptitud pecuaria en la UPRA iniciaron con avicultura en el año 2016; seguida del mapa de zonificación de aptitud para el sector porcícola nacional en el año 2018; y las zonificaciones de aptitud para la producción de carne y leche bovina vacuna en pastoreo y la identificación de zonas potenciales para el establecimiento de ocho grupos de gramíneas para el pastoreo. Para el 2020, se inició la definición de zonas aptas para la producción de búfalos y de ovinos de carne en Colombia. Para el año 2022, la UPRA retomó el trabajo realizado en 2016, que contó con la participación de la Aunap, para la actualización metodológica de la zonificación del potencial para la pesca marina artesanal de camarón, a escala 1:100.000.

Entre los objetivos de la presente zonificación de aptitud se destacan los siguientes: elaborar los lineamientos técnicos y metodológicos para la zonificación de aptitud para algunas especies forestales con fines comerciales en Colombia a escala 1:100.000, para lo cual se definen los criterios y variables que incidan en la delimitación de áreas con aptitud; definir no sólo los procesos de integración de los criterios para la zonificación, sino también la identificación y estandarización de la información geográfica disponible en las bases de datos; elaborar, con base en la metodología propuesta, el mapa de zonas aptas para las veinte especies maderables seleccionadas a escala 1:100.000.

El documento contiene cuatro secciones: la primera presenta los antecedentes del sector por su importancia en el ámbito internacional y nacional, los antecedentes de la zonificación forestal y el marco político y normativo de la cadena forestal en Colombia; la segunda aborda el marco conceptual, basado en un enfoque multidisciplinario que considera los principios del esquema de evaluación de tierras, el enfoque socioecosistémico y el enfoque de competitividad, abordados como criterios físicos, socioecosistémicos y socioeconómicos; la tercera presenta la metodología de la zonificación de aptitud, desde la definición del tipo de utilización de la tierra (TUT) hasta la evaluación y comparación de las matrices multicriterio biofísica y socioeconómica; y la cuarta muestra los resultados de la zonificación de aptitud, representados en el mapa de aptitud para cada una de las veinte especies forestales con fines comerciales en Colombia a escala 1:100.000, así como las conclusiones y las fuentes bibliográficas utilizadas.

1. Antecedentes

1. Antecedentes

El Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026, *Colombia, potencia mundial de la vida*, Ley 2294 de 2023, al considerar los siguientes capítulos: II. «Ordenamiento del territorio alrededor del agua y justicia ambiental»; y V. «Transformación productiva, internacionalización y acción climática», en en literal D: «Economía productiva a través de la reindustrialización y la bioeconomía», subliteral c del numeral 9: «Economía forestal», asignó el desarrollo de acciones al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) a través de la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

En el sector pecuario se desarrollaron las zonificaciones de aptitud para avicultura en granjas comerciales; la porcicultura tecnificada; la ganadería bovina vacuna de leche y de carne en pastoreo; y la ganadería bufalina, de ovinos de carne en pastoreo y de caprinos. A la vez, se están actualizando las zonificaciones de aptitud de especies acuícolas y pesqueras para los cultivos comerciales en estanques en tierra de tilapia, cachama, trucha, tres especies ícticas nativas (yamú, bocachico y bagre rayado), camarón blanco y pirarucú; y pesca marina artesanal de camarón y bocachico del río Magdalena.

La zonificación de aptitud para plantaciones comerciales de veinte especies forestales en Colombia, orientada a la producción de madera a escala 1:100.000, contribuye a atender los objetivos y funciones de la UPRA, pues fortalece el desarrollo de políticas del sector. Además, prioriza la consolidación de núcleos productivos y orienta sobre inversiones a escala nacional o regional. En otras palabras: la evaluación de tierras es parte del proceso de planificación pecuaria y constituye una herramienta de carácter indicativo para la toma de decisiones.

1.1. Antecedentes de zonificación de aptitud para plantaciones comerciales forestales en Colombia

En el año 2014, la UPRA realizó la zonificación forestal con fines comerciales para Colombia, cuya base fue el enfoque de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) en cuanto a la aplicación, e incorporó los aspectos físicos, socioecosistémicos, socioeconómicos, de política y gobernabilidad. De igual manera, planteó una metodología fundamentada en el análisis multicriterio, cuyos criterios y variables de los componentes físicos, socioecosistémicos y socioeconómicos se ponderaron según las características de una determinada cadena productiva.

1.2. Contexto general

El Departamento Nacional de Planeación (2015) en las bases del Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 (Ley 1753 de 2015) recalca el impulso a la competitividad rural «a través de la provisión de bienes y servicios sectoriales que permitan hacer de las actividades agropecuarias una fuente de riqueza para los productores del campo». Para ello, combina acuerdos institucionales y multisectoriales con atributos del territorio para brindar mayor equidad de la población rural. De tal modo, el Gobierno nacional promueve el uso eficiente del suelo y los recursos naturales con el diseño de instrumentos a escalas semidetalladas que identifiquen los suelos con capacidad productiva en el marco del concepto del crecimiento verde. Parte de esta responsabilidad recae sobre la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

El Plan Nacional de Desarrollo 2019-2022, *Pacto por la equidad*, establece los siguientes principios: en el numeral I, incrementar la producción de alimentos mediante el uso eficiente del suelo para generar una provisión estable y suficiente de alimentos para cubrir las necesidades nutricionales de la población colombiana; e incrementar a nivel nacional y territorial la producción, oferta y abastecimiento de alimentos en el marco del ordenamiento social rural, el productivo y el agropecuario. Según el numeral II, *Pacto por el emprendimiento y la productividad: una economía dinámica, incluyente y sostenible que potencie todos nuestros talentos*, se debe promover la transformación productiva agropecuaria por medio del ordenamiento del desarrollo de *clusters* y las cadenas de valor agroindustriales que integren la producción industrial con la de pequeños y medianos productores. En el numeral XV, *Pacto por la descentralización: conectar territorios, gobiernos y poblaciones*, se ordena armonizar la planeación para el desarrollo y el ordenamiento territorial. Para este objetivo, es necesario emprender una estrategia de política pública con enfoque integrador.

Para la implementación del plan, se requerirá de reglamentos para los niveles regionales (departamentos y esquemas asociativos), fortalecidos por el ordenamiento territorial, la generación de cartografía y el catastro municipal. Lo anterior se enmarcará en un sólido sistema de seguimiento al ordenamiento para identificar acciones de mejora, buenas prácticas y alertas tempranas sobre conflictos de uso del suelo y corrupción en el ordenamiento territorial, A esto se une la estrategia *adoptar* de la política general de ordenamiento territorial y la reglamentación de los instrumentos de ordenamiento de nivel intermedio de planeación.

La UPRA fue creada por el Decreto Ley 4145 del 3 de noviembre de 2011 como una unidad administrativa especial de carácter técnico y especializado, sin personería jurídica, adscrita al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), con autonomía presupuestal, administrativa, financiera y técnica. De acuerdo con el Decreto 4145 de 2011, se establecen las siguientes funciones de la UPRA: planificar el uso eficiente del suelo; definir los criterios y crear los instrumentos requeridos para tal efecto; prever el respectivo panorama de riesgos y una mayor competitividad de la producción agropecuaria en los mercados internos y externos; definir criterios y diseñar instrumentos para el ordenamiento del suelo rural apto para el desarrollo agropecuario. Todo esto debe ser base para la definición de políticas consideradas por las entidades territoriales en los planes de ordenamiento territorial.

El proyecto de inversión *Fortalecimiento de la planificación del uso eficiente del suelo rural y la adecuación de tierras a nivel nacional* de la UPRA establece, como segundo objetivo, «Desarrollar metodologías, lineamientos y criterios para la planificación del uso eficiente del suelo rural y proyectos de adecuación de tierras». En este sentido, la Dirección de Uso Eficiente del Suelo y Adecuación de Tierras (DUESAT) de la UPRA propuso desarrollar estudios para la planificación del uso eficiente del suelo, la adecuación de tierras y el ordenamiento productivo.

1.3. Descripción de las especies forestales seleccionadas

En el mundo se han registrado más de 100.000 especies vegetales significativas, aunque se estima que sólo unas 500 poseen valor en el mercado internacional como maderables (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres [CITES], 1999). Para Colombia, las especies forestales incluidas en la zonificación de aptitud se limitan a veinte, de las cuales dieciséis son introducidas y cuatro, nativas. En la Tabla 1 se observa el listado de las especies maderables seleccionadas de acuerdo con su origen.

Tabla 1. Especies forestales introducidas y nativas seleccionadas para la zonificación de aptitud en Colombia

Introducidas	Nativas
Acacia (*Acacia mangium*)	Ceiba tolúa (*Bombacopsis quinata*)
Eucalipto rojo (*Eucalyptus camaldulensis*)	Nogal cafetero (*Cordia alliodora*)
Eucalipto rosado (*Eucalyptus grandis*)	Balso (*Ochroma pyramidale*)
Eucalipto blanco, común o azul (*Eucalyptus globulus*)	Roble, ocobo o flormorado (*Tabebuia rosea*)
Eucaliptos (*Eucalyptus pellita*, *Eucalyptus tereticornis*; *Eucalyptus urograndis* y *Eucalyptus urophylla*)	
Pino caribe (*Pinus caribaea*)	
Pinos (*Pinus tecunumanii*, *Pinus maximinoi* y *Pinus oocarpa*)	
Pino pátula (*Pinus patula*)	
Melina (*Gmelina arborea*)	
Teca (*Tectona grandis*)	
Ciprés (*Cupressus lusitanica*)	

Fuente: elaboración propia.

Estas especies maderables fueron seleccionadas con base no sólo en la Resolución 0324 de 2021 del MADR según el área sembrada en Colombia, sino también en la consulta y concertación con Fedemaderas, los reforestadores de las regiones y las industrias de transformación de la madera. La Tabla 2 presenta la información más destacada de cada especie forestal maderable evaluada a partir de los reportes de diversos autores.

Tabla 2. Principales características de las veinte especies forestales maderables para la zonificación de aptitud en Colombia

Especie	Origen/distribución	Clasificación taxonómica	Características de la madera	Usos y productos obtenidos	Rendimiento/turno
Acacia (*Acacia mangium*)	Nativa del noreste de Australia, del este de Indonesia y de las islas Molucas y Papúa-Nueva Guinea.	Familia: *Fabaceae* (*leguminosae*) Subfamilia: *Mimosoideae* Género: *Acacia* Especie: *Acacia mangium*	Densidad: 0,65 g/cm³ (Grupo de Investigación Sostenibilidad, Infraestructura y Territorio [SITE], 2014). Madera dura, densa y resistente.	Carpintería y ebanistería (SITE, 2014) para la construcción, producción de carbón y de pulpa.	Rendimiento: 20-44,5 m^3/ha/año y turno de 8 a 10 años. A partir de los 9 años, el árbol empieza a morir.

Especie	Origen/distribución	Clasificación taxonómica	Características de la madera	Usos y productos obtenidos	Rendimiento/turno
Eucalipto (*Eucalyptus pellita*)	Distribución natural mínimamente conocida. Las primeras informaciones de poblaciones de Nueva Guinea fueron clasificadas a partir de ensayos genéticos a mediados de la década de 1980.	Familia: *Myrtaceae* Subfamilia: *Myrtoideae* Género: *Eucalyptus* Especie: *Eucalyptus pellita*	Densidad básica: 0,64 g/cm^3. Madera de durabilidad natural alta y trabajo moderadamente fácil.	Madera de aserrío. Madera para estructuras, postes para cercas y transmisión eléctrica; carrocerías, esculturas y artesanías; pisos, pulpa de fibra corta y carbón.	Turno de 10 años.
Eucalipto (*Eucalyptus tereticornis*)	Originario de Australia. Con una amplia área de distribución (9-38° de latuitud sur), está presente a lo largo de la costa oriental de Australia, desde Victoria hasta el norte de Queensland y en los bosques claros del oriente de Papúa.	Familia: *Myrtaceae* Subfamilia: *Myrtoideae* Género: *Eucalyptus* Especie: *Eucalyptus tereticornis*	Densidad: 0,66-1,06 g/cm^3 (Gómez *et al*., 2012). Madera roja, pesada, dura, de textura uniforme y de grano entrelazado. Es fuerte y durable.	Construcción pesada; madera estructural; construcción subterránea; construcción naval; ebanistería: adornos interiores, durmientes y pisos domésticos; artículos deportivos, tableros contrachapados y de partículas; pulpa de fibra corta; leña y carbón de excelente calidad.	Rendimiento: 18 m^3/ha/año (Gómez *et al*., 2012) y turno de 8 a 10 años (Pandey, 1987); para aserrío, de 21 años.
Eucalipto (*Eucalyptus urograndis*)	Híbrido entre *Eucalyptus urophylla* y *Eucalyptus grandis*. Originario de Australia y Tasmania. Se distribuye en regiones de climas mediterráneos, tropicales o subtropicales.	Familia: *Myrtaceae* Subfamilia: *Myrtoideae* Género: *Eucalyptus* Especie: *Eucalyptus urograndis*	Densidad aparente: 450-550 kg/m^3. Madera liviana y blanda, resistente al fuego.	Celulosa, postes de alumbrado, trozas para aserrados, puntales para construcción civil, fabricación de postes, suelos de parquet, soportes en minas, tableros de fibras.	Rendimiento: 40-50 m^3/ha/año.
Eucalipto (*Eucalyptus urophylla*)	Originario del archipiélago de Lesse Sunda y las islas de Flores, Timor, Wetar, Alor, Pantar, Andonara e Lomblen en Indonesia Oriental (Muro *et al*., 2021).	Familia: *Myrtaceae* Subfamilia: *Myrtoideae* Género: *Eucalyptus* Especie:	Densidad: 0,55 g/cm^3 (Gómez *et al*., 2012). Madera pesada y dura, de coloración amarilla veteada.	Producción de celulosa, carbón vegetal y madera para construcción (Muro *et al*., 2021).	Rendimiento: 28-30 m^3/ha/año y turno de 6 a 8 años (Gómez, 2012).

Especie	Origen/distribución	Clasificación taxonómica	Características de la madera	Usos y productos obtenidos	Rendimiento/turno
		Eucalyptus urophylla			
Melina (*Gmelina arborea*)	Originaria de la India, Bangladesh, Sri Lanka, Myanmar, Tailandia, sur de China, Laos, Camboya y Sumatra. Tiene una amplia distribución en las regiones tropicales y subtropicales de Filipinas, Malasia, Brasil, Gambia, Costa Rica, Costade Marfil, Nigeria, Gambia y Malawi, donde fue introducida, así como en Cuba, Colombia, Venezuela, Guatemala y México (Arévalo y Londoño, 2005).	Familia: *Verbenaceae* Género: *Gmelina* Especie: *Gmelina arborea*	Densidad: 0,4-0,5 g/cm^3 (Gómez *et al*., 2012). Madera de bajo peso y buen comportamiento estructural; durabilidad natural moderada a muy durable.	Aserrío; construcción para pisos, columnas y vigas laminadas; tarimas, leña, muebles, artesanías, contrachapados, postes, tableros, lápices, instrumentos musicales, fósforos y aglomerados (Arévalo y Londoño, 2005).	Rendimiento: 20-25 m^3/ha/año (Gómez *et al*., 2012) y turno de 12 años.
Pino caribe (*Pinus caribaea*)	Originario de Centroamérica. Tiene una amplia distribución geográfica. Crece naturalmente en el litoral atlántico del istmo centroamericano en Nicaragua, Honduras, Belice, Guatemala, Islas Bahamas y Cuba.	Familia: *Pinaceae* Subfamilia: *Pinoideae* Género: *Pinus* Especie: *Pinus caribaea*	Densidad: 0,39-0,4 g/cm^3 (Gómez *et al*., 2012).	La madera es usada en la industria del mueble por su buen acabado para puertas, revestimientos de paredes, pisos, vigas, pilares, durmientes y de enchapados; leña y usos medicinales de la resina para enfermedades respiratorias.	Rendimiento: 10-40 m^3/ha/año (Gómez *et al*., 2012) y turno de 18 años.
Teca (*Tectona grandis*)	Originaria de Birmania, Tailandia, Indochina y de algunas partes de la India e Indonesia. Se cultiva en plantaciones en áreas tropicales de África y Latinoamérica	Familia: *Verbenaceae* Género: *Tectona* Especie:	Densidad: 0,53 g/cm^3 (Gómez *et al*., 2012). Madera pesada, entre dura y moderadamente dura (Arévalo y	Construcción de cubiertas, quillas y estructuras de buques; elaboración de muebles, pisos, acabados interiores, artesanías, muebles para laboratorios,	Rendimiento: 7-13 m^3/ha/año y turno de 25-28 años (Gómez *et al*., 2012).

Especie	Origen/distribución	Clasificación taxonómica	Características de la madera	Usos y productos obtenidos	Rendimiento/turno
	(Arévalo y Londoño, 2005).	*Tectona grandis*	Londoño, 2005; SITE, 2014).	puertas y postes; ebanistería y contrachapados (Arévalo y Londoño, 2005; SITE, 2014).	
Ceiba tolúa (*Bombacopsis quinata*)	Común en bosques de Nicaragua, Costa Rica, Panamá, Colombia y Venezuela (Arévalo y Londoño, 2005).	Familia: *Bignoniaceae* Subfamilia: *Bombacoideae* Género: *Bombacopsis* Especie: *Bombacopsis quinata*	Densidad: 0,4-0,51 g/cm^3 (Gómez *et al*., 2012). Madera liviana pero firme y blanda.	Fabricación de tableros contrachapados para uso general y tableros de partículas, de madera y cemento; construcción general: encofrados, ebanistería, molduras, puertas y ventanas; ebanistería fina (Arévalo y Londoño, 2005; SITE, 2014).	Rendimiento: 10-15 m^3/ha/año y turno de 24-29 años (Gómez *et al*., 2012) o hasta los 30 años.
Roble, ocobo o flormorado (*Tabebuia rosea*)	Plantado desde México hasta Colombia, Venezuela, Ecuador, Perú y Bolivia. Especie de los bosques seco-tropicales (bs-T) y húmedo-tropicales (bh-T), en selvas costaneras, bajas húmedas o altas y secas (Blanco *et al*., 2020).	Familia: *Bignoniaceae* Género: *Tabebuia* Especie: *Tabebuia rosea*	Densidad: 0,54 g/cm^3 (Gómez *et al*., 2012). Madera resistente a la compresión perpendicular (Blanco *et al*., 2020).	Contrachapado decorativo y de uso general para muebles finos, acabados interiores, puertas, pisos, artículos deportivos y mangos para implementos agrícolas (Blanco *et al*., 2020).	Rendimiento: 8,4 m^3/ha/año (Gómez *et al*., 2012).
Balso (*Ochroma pyramidale*)	Distribución natural en toda América tropical, desde el sur de México, a través de América central y las Indias occidentales, hasta Perú, Bolivia y Brasil. En Colombia, se encuentra en el Magdalena medio; y desde el Tolima hasta Nariño (Arévalo y Londoño, 2005).	Familia: *Bombaceae* Subfamilia: *Bombacoideae* Género: *Ochroma* Especie: *Ochroma pyramidale*	Densidad: 0,34 g/cm^3. Madera blanda; es la más ligera y suave de las maderas comerciales.	Flotadores y salvavidas; maquetas arquitectónicas y de aeromodelismo; aislamiento térmico, acústico y vibratorio; moldes, maniquíes, cajones para transporte de alimentos. No clasifica como madera estructural (Arévalo y Londoño, 2005; SITE, 2014).	En plantaciones, turno de 5 a 6 años.
Eucalipto rojo (*Eucalyptus camaldulensis*)	Originario de Australia. Se encuentra en Madagascar, Sudáfrica, Angola, Kenia,	Familia: *Myrtaceae*	Densidad: 0,815 g/cm^3 (Gómez *et al*., 2012) y	Postes para construcción y postes para cercas; producción de leña y	Rendimiento: 20-35 m^3/ha/año (Gómez *et al*., 2012) y turno de

Especie	Origen/distribución	Clasificación taxonómica	Características de la madera	Usos y productos obtenidos	Rendimiento/turno
	Botswana, Congo, Marruecos, Israel, Brasil, Argentina, Perú, Ceilán, Hawai, Galápagos y las Islas Solomón. Es el más común desde Portugal hasta Turquía en la cuenca del Mediterráneo y en el Oriente Próximo.	Subfamilia: *Myrtoideae* Género: *Eucalyptus* Especie: *Eucalyptus camaldulensis*	densidad aparente de 0,98 g/cm^3.	carbón de excelente calidad (el cual se quema intensamente sin producir humo ni chispas); pulpa de fibra corta y para la elaboración de herramientas agrícolas.	10 a 15 años (Pandey, 1987).
Pino (*Pinus tecunumanii*)	Originario desde México hasta Nicaragua. Se ha plantado extensamente en muchos países de los trópicos y subtrópicos (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza [CATIE], 2023).	Familia: *Pinaceae* Subfamilia: *Pinoideae* Género: *Pinus* Especie: *Pinus tecunumanii*	Densidad: 0,51-0,56 g/cm^3 (Gómez *et al*., 2012).	Madera moderadamente pesada, de gran versatilidad, usada para construcción pesada, como puertas y marcos de ventanas, postes tratados, contrachapado, muebles, artesanías y artículos torneados; producción de madera, postes y pulpa para papel (CATIE, 2023).	Rendimiento: 30-40 m^3/ha/año y turno de 16 años (Gómez *et al*., 2012).
Nogal cafetero (*Cordia alliodora*)	Se da desde los 0 hasta los 1900 m s. n. m. en las zonas de vida de las Antillas y trópicos de América en México, Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Brasil. En Colombia, se encuentra distribuido en las laderas de las tres cordilleras y en la Sierra Nevada de Santa Marta. Crece bien asociado a cultivos como cacao, café y caña de azúcar (Blanco *et al*., 2020).	Familia: *Boraginaceae* Subfamilia: *Cordioideae* Género: *Cordia* Especie: *Cordia alliodora*	Densidad 0,46 g/cm^3 (SITE, 2014). Madera resistente a la compresión vertical (Gómez *et al*., 2012; Blanco *et al*., 2020).	Fabricación de muebles finos y chapas decorativas; usada en todo tipo de construcción (SITE, 2014).	Rendimiento: 5-20 m^3/ha/año (Gómez *et al*, 2012) y turno de 22 años.
		Reino: *Plantae*	Densidad: 0,41 g/cm^3 (Gómez *et*	Fabricación de chapas y contrachapados; postes de cercas, líneas telefónicas y	Rendimiento: 10-23 m^3/ha/año (Gómez *et al*., 2012) y turno de 15 a 25 años.

Especie	Origen/distribución	Clasificación taxonómica	Características de la madera	Usos y productos obtenidos	Rendimiento/turno
Pino (*Pinus maximinoi*)	Distribución natural por México, Guatemala, El Salvador, Honduras y Nicaragua. Fuera de su rango de distribución natural, la especie ha sido introducida en Brasil, Colombia, Sudáfrica, Venezuela y Zimbabue.	División: *Pinophyta* o *Gimnospermae* Clase: Pinópsida Órden: Pinales Familia: *Pinaceae* Subfamilia: *Pinoideae* Género: *Pinus* Especie: *Pinus maximinoi*	*al*., 2012). Madera suave y ligera.	de electricidad; madera para durmientes; construcciones livianas, como páneles de división y construcción de tableros de maderas (partículas, MDF, USB, enlistonados); carpintería y ebanistería; embalajes como huacales; palillos de dientes, cucharas para helados, depresores linguales y similares.	
Eucalipto rosado (*Eucalyptus grandis*)	Originario de Australia y plantado extensivamente en África, India, Centroamérica y América del sur.	Familia: *Myrtaceae* Subfamilia: *Myrtoideae* Género: *Eucalyptus* Especie: *Eucalyptus grandis*	Densidad media: 0,4-0,55 g/cm^3. Madera moderadamente dura y resistente, flexible y moderadamente liviana, de fácil trabajo.	Construcción pesada y liviana; techos, pisos, muebles, ebanistería, estanterías, carpintería, cajas para frutas, cajas corrientes y huacales; chapas, tableros y contrachapados; tableros de fibra; pulpa de fibra corta; tableros de partículas, postes para construcción, postes para cercas; madera para minas.	Rendimiento: 60 m^3/ha/año y turno de 5 a 10 años.
Pino oocarpa (*Pinus oocarpa*)	Distribución natural de entre 13° y 29° de latitud norte. Ampliamente distribuido en zonas de vertiente y de montaña, desde el noroeste de México hasta el noroeste de Nicaragua. Introducido en regiones subtropicales y en las	Familia: *Pinaceae* Subfamilia: *Pinoideae* Género: *Pinus* Especie: *Pinus oocarpa*	Densidad: 0,42-0,6 g/cm^3 (Gómez *et al*., 2012). Madera suave, moderadamente pesada, resinosa, y quebradiza.	Construcción pesada; madera estructural e inmunizada de uso general; construcción liviana y de botes; mástiles y cubiertas, pilotes de muelles y puentes; ebanistería y carpintería de interiores y exteriores como madera	Rendimiento: 10-18 m^3/ha/año y turno de 23 a 30 años (Gómez *et al*., 2012).

Especie	Origen/distribución	Clasificación taxonómica	Características de la madera	Usos y productos obtenidos	Rendimiento/turno
	zonas templadas de media montaña.			inmunizada; machimbre, pisos, embalajes, cajas corrientes y palos de escoba; pulpa de fibra larga para la producción de papel *kraft* y papel periódico.	
Ciprés (*Cupressus lusitanica*)	Originario de México. Se encuentra en Guatemala y en algunas islas del Mediterráneo y el Oriente Próximo (Arévalo y Londoño, 2005).	Familia: *Cupressaceae* Subfamilia: *Mimosoideae* Género: *Cupressus* Especie: *Cupressus lusitanica*	Densidad: 0,44 g/cm^3 (Gómez *et al*., 2012). Madera fina, moderadamente liviana, quebradiza, de durabilidad moderada a muy alta.	Madera de construcción, carpintería, pisos de parquet y tablilla machihembrada; postes, chapas decorativas, cajas para empaques, estibas, muebles y pulpa para papel (Arévalo y Londoño, 2005).	Rendimiento: 18 m^3/ha/año (Gómez *et al*, 2012).
Eucalipto blanco, común o azul (*Eucalyptus globulus*)	Originario de Australia. Se encuentra en América del Sur desde Venezuela hasta Chile. En Colombia, se presentan plantaciones en la sabana de Bogotá y alrededores, así como en Boyacá, Antioquia, Caldas, Tolima y Nariño (Arévalo y Londoño, 2005).	Familia: *Myrtaceae* Subfamilia: *Myrtoideae* Género: *Eucalyptus* Especie: *Eucalyptus globulus*	Densidad: 0,7 g/cm^3 (Gómez *et al*., 2012). Madera medianamente dura y pesada	En construcción, para viguetas, columnas, vigas, cerchas, pisos de parquet, encofrado; postes para cercas, muebles rústicos y estibas (Arévalo y Londoño, 2005).	Rendimiento: 15-20 m^3/ha/año (Gómez *et al*., 2012) y turno de 8 a 10 años (Pandey, 1987)
Pino pátula (*Pinus patula*)	Distribución restringida a México oriental. Se ha plantado en trópicos y subtrópicos del sur de África, India, América del Sur y Australia (Arévalo y Londoño, 2005).	Familia: *Pinaceae* Subfamilia: *Pinoideae* Género: *Pinus* Especie: *Pinus patula*	Densidad: 0,43 g/cm^3 (Gómez *et al*., 2012). Madera moderadamente blanda y liviana, poco resinosa (Arévalo y Londoño, 2005).	Construcción en general; apropiada para tableros de partículas, pulpa y productos de papel (Arévalo y Londoño, 2005)	Rendimiento: 27 m^3/ha/año y turno de 30 años (Gómez *et al*., 2012).

Fuente: elaboración propia.

1.4. Contexto mundial

El área total de bosques en el mundo alcanzó 4060 millones de hectáreas en el año 2020, lo que representó el 31 % de la superficie total de la tierra. Las zonas tropicales participaron con la mayor proporción de esta área con el 45 %; seguido de las regiones boreales, con el 27 %, templadas, con el 16 % y subtropicales, con el 11 %. Rusia, Brasil, Canadá, EE. UU. y China poseen cerca del 54 % de los bosques del mundo (FAO, 2022a; 2022b).

Tabla 3. Área de bosques en miles de hectáreas, año 2020

País	Superficie
Federación de Rusia	815.312
Brasil	496.620
Canadá	346.928
EE. UU.	309.795
China	219.978

Fuente: FAO, 2020.

Las plantaciones comerciales representan cerca de 290 millones de hectáreas de los bosques del mundo. América del Sur se destaca por poseer la mayor proporción, con más del 90 % de Las especies introducidas (FAO, 2022b). Sobre la naturaleza de la propiedad de los bosques, en el año 2015 el 73 % era de propiedad pública; el 22 %, de propiedad privada; del 5 % restante se desconoce su clasificación. Los bosques de propiedad pública predominan en África, Asia y Europa, con un porcentaje superior al 70 %; mientras que en América del Norte, Centroamérica, América del Sur y Oceanía, la proporción no supera el 60 % (FAO, 2022b).

En cuanto al empleo del sector forestal, se estima que unos 880 millones de personas en el mundo han dedicado parte de su tiempo a la recolección de productos maderables, como es le caso del carbón vegetal de madera (FAO, 2017). Más de 45 millones de personas sacan provecho comercial de esos productos de empleos directos e indirectos, con lo que se generan ingresos estimados en más 580.000 millones de dólares estadounidenses anuales (FAO, 2018). Las pequeñas y medianas empresas del sector forestal representan alrededor de 20 millones de estos puestos de trabajo y generan cerca de 130.000 millones de dólares estadounidenses al año (FAO, 2020).

Entre la producción mundial de productos madereros para el 2020, se destaca la madera en rollo industrial, del cual EE. UU. fue el principal productor, con 369,2 millones de metros cúbicos. El siguiente producto fue la madera de combustible, liderado por la India, con 301,1 millones de metros cúbicos (FAO, 2022a). Respecto a las exportaciones por cantidades y

categoría de producto o uso maderable, durante el periodo 2017-2021 se destacaron el papel y el cartón como los de mayores valores reportados; seguidos de la madera aserrada, la madera en rollo y los tableros.

Tabla 4. Exportaciones mundiales de los principales productos maderables, periodo 2017-2021

Categoría	Unidad de medida	2017	2018	2019	2020	2021	Acumulado del periodo
Papel y cartón	Mm^3	181,5	181,0	170,2	159,6	128,0	820,3
Madera aserrada	Mt	155,8	160,2	158,4	155,2	159,8	789,4
Madera en rollo	Mm^3	128,5	138,0	135,7	138,7	143,2	684,1
Tableros a base de madera	Mm^3	104,6	105,3	97,7	98,6	95,3	501,5

Fuente: FAOSTAT, 2022.

Alemania, EE. UU., Finlandia, Suecia, Canadá y China son los principales exportadores de papel y cartón, mientras que Rusia, Canadá, Suecia y Alemania son líderes en exportación de madera aserrada. En lo referente a la madera en rollo y pulpa de madera, Nueva Zelanda, Federación de Rusia, República Checa, Alemania y EE. UU. lideran la exportación mundial (FAO, 2022b). En la Figura 1 se puede observar que en las importaciones acumuladas en el periodo 2017-2021 la madera en rollo tomó el primer lugar, seguida de la madera aserrada, el papel, el cartón y los *pellets* de madera (FAO, 2022b).

Figura 1. Importaciones mundiales por tipo de producto o uso maderable, periodo 2017-2021

Unidades en millones de metros cúbicos o millones de toneladas, según corresponda.

Fuente: FAOSTAT, 2022.

1.5. Contexto nacional

Colombia tiene un gran potencial para desarrollar la actividad forestal, no sólo por las diversas condiciones geográficas para establecer plantaciones comerciales, sino también por la localización geoestratégica para el comercio exterior. Colombia ocupa el tercer puesto en América Latina y el Caribe dada la facilidad de llevar a cabo negocios (Banco Mundial *et al*., 2015).

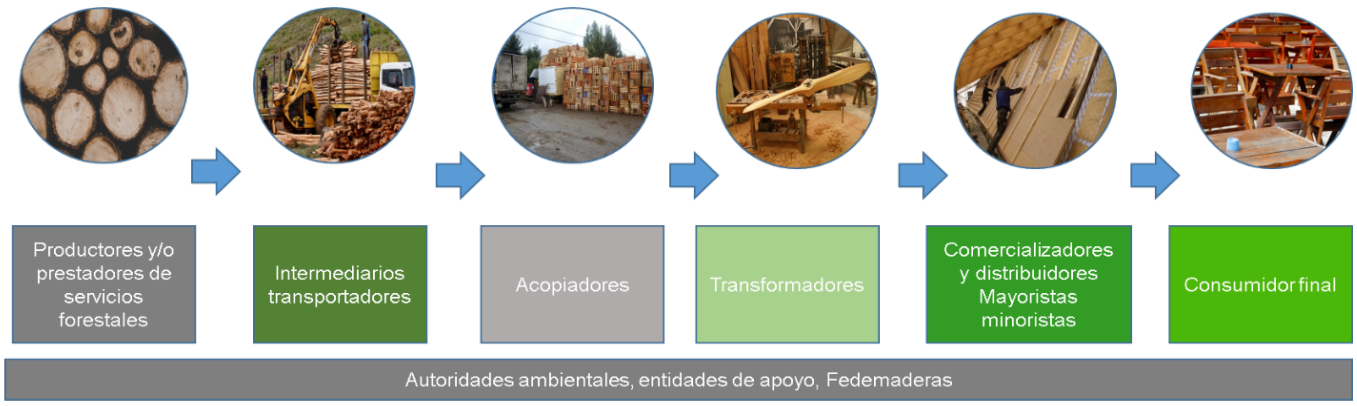
De acuerdo con el *Boletín estadístico forestal* de la Federación Nacional de Industriales de la Madera (Fedemaderas, 2022), el comportamiento entre 2018 y 2022 del área sembrada con plantaciones forestales comerciales representó 538.762 hectáreas. De igual forma, la participación departamental del área con plantaciones forestales comerciales destaca a Antioquia, con 21,7 %; Vichada, con 19,7 %; y Meta, con 12,0 %. La distribución del área por región geográfica estima que, del total reportado a septiembre de 2022, 221.747 hectáreas correspondieron a la región Andina; 178.738, a la Orinoquía; 55.741. al Caribe; 81.357, al Pacífico; y 1.179, la Amazonía (Federación Nacional de Industriales de la Madera [Fedemaderas], 2022). (MADR, 2022)

Respecto a las especies cultivadas con fines comerciales (Decreto 130 de 2020 y Resolución 255 de 2020, MADR), las especies con mayor área sembrada son *Acacia mangium*, con 67.732 hectáreas y mayor presencia en la Orinoquia; *Pinus patula*, con 59.798 y mayor núcleo productivo en el Eje Cafetero y suroccidente colombiano; *Pinus caribaea*, con 50.074 y mayor presencia en la Orinoquia; y de *Eucalyptus grandis*, con 42.385 y predominio en el Eje Cafetero y suroccidente.

La movilización de la madera durante el primer semestre del periodo 2019-2022 registró 10.533.733 de metros cúbicos (Fedemaderas, 2022). Los cinco departamentos que más madera movilizaron fueron Antioquia, Cauca, Valle del Cauca, Nariño y Caldas, con una participación superior al 60 %. Al realizar una revisión de cifras de madera movilizada y área sembrada por departamento, se encontró que Antioquia fue el que mayor área sembrada reportó, con 116.650,54 hectáreas, y más volúmenes de madera movilizó, con 630.309 de metros cúbicos. Caso contrario es el del Vichada, que tuvo el segundo lugar en área sembrada, con 106.271,32 hectáreas, aunque la participación en madera movilizada no superó el 0,6 %, con apenas 12.878 de metros cúbicos (Fedemaderas, 2022). En relación con el tipo de producto maderable, en el volumen acumulado para el periodo 2020-2022 predominó la madera rolliza, con 2.383.659 de metros cúbicos; seguido de la pulpa de madera, con 2.376.035 y el bloque, con 1.106.148 (Fedemaderas, 2022).

Por su parte, la cadena forestal define y coordina acciones para mejorar la competencia de los eslabones que la conforman. De tal modo, la cadena suscribió el *Acuerdo sectorial de competitividad para la cadena productiva forestal, madera, tableros, muebles y productos de madera*, en el año 1998, con actualizaciones en 2003 y 2011. Está integrada por tres eslabones principales: primario, industrial y comercial. El sector primario está representado por productores forestales o reforestadores; el sector industrial, por los transformadores de productos en segundo grado, como muebles, tableros aglomerados, contrachapados, madera predimensionada y tableros de partículas; el sector comercial, por los comercializadores nacionales, integrados por depósitos de madera, aserraderos y comerciantes informales. En cuanto a los gremios, Colombia cuenta con la Federación Nacional de Industriales de la Madera (Fedemaderas) que asocia reforestadores e industriales del mueble, de tableros y de pulpa y papel. La Figura 2 muestra la estructura general de la cadena forestal.

Figura 2. Cadena forestal en Colombia



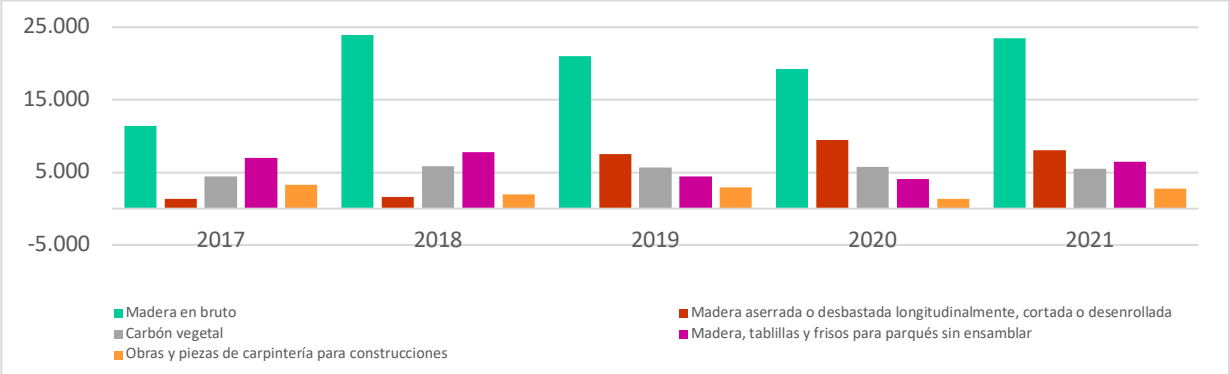
Fuente: Castañeda, 2020.

1.5.1. Comercio internacional

Al realizar la revisión para la posición arancelaria 44 correspondiente a «Madera, carbón vegetal y manufacturas de madera», se encontraron 21 descripciones de productos, entre los cuales se incluye la madera en bruto, la madera aserrada, los tableros, las obras y las piezas de carpintería para producción y carbón vegetal. En el periodo 2017-2021, las exportaciones colombianas para este capítulo significaron 47.868.000 dólares estadounidenses para el año 2017; 57.566.000, para 2018 —el mejor año del periodo analizado—; 47.875.000, para el 2019; 44.058.000, para el 2020; y 53.146.000, para el año 2021 (TradeMap, 2022).

En la Figura 3 se pueden consultar los cinco productos con mayores cifras promedio de exportación durante el periodo 2017-2021. El primer lugar lo ocupó la madera en bruto, con un promedio de 19.797.000 dólares estadounidenses y un máximo de exportaciones durante el año 2018 de 23.892.000. Además, representó una participación de entre el 23 % y el 48 % del total de las exportaciones para el periodo analizado. Los principales mercados fueron India y China (TradeMap, 2022).

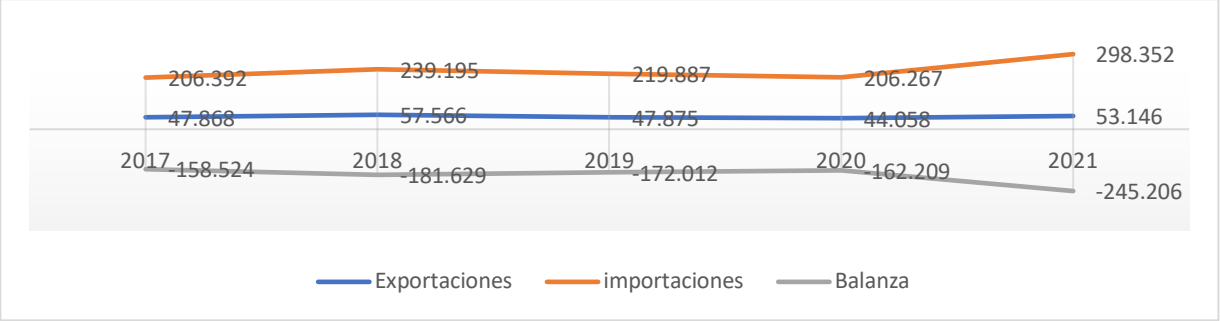
Figura 3. Principales productos de madera exportados por Colombia en miles de dólares estadounidenses, periodo 2017-2021



Fuente: TradeMap, 2022.

En relación con las importaciones de Colombia para esta posición arancelaria, en el periodo 2017-2021 se reportaron valores de entre 206.266.000 y 297.353.000 dólares estadounidenses (TradeMap, 2022). Los principales productos importados fueron los tableros, cuyos valores oscilaron entre 46.588.000 y 157.722.000; seguido de la madera contrachapada, con valores de entre 14.111.000 y 22.490.000. Al considerar la diferencia entre los años 2017 y 2021, los tableros y la madera aserrada reportaron aumentos en las importaciones de entre 34,1 % y 77,3 %; mientras que en la madera contrachapada, la madera de obras y las piezas de carpintería se presentaron disminuciones en las importaciones de entre 7,0 % y 10,9 % (TradeMap, 2022). En consecuencia, la balanza comercial para la cadena forestal maderera fue negativa, pues presentó un déficit comercial en el periodo 2017-2021 caracterizado por un comportamiento fluctuante (ver Figura 4).

Figura 4. Balanza comercial en miles de dólares estadounidenses, periodo 2017-2021



Fuente: TradeMap, 2022.

El consumo per cápita nacional de productos de bosque durante el año 2020 fue de 165,8 toneladas por cada 1000 habitantes (DANE, 2022). Sin embargo, este dato que es considerado bajo, comparado con Chile o Ecuador (Fedemaderas, 2019). La tasa de crecimiento anual de la oferta de productos del bosque y productos derivados de la transformación de tronco de madera entre 2019 y 2020 mostró un decrecimiento en volumen, con respecto al año anterior, del 2,8 % y 5,8 %, respectivamente (ver Tabla 5).

Tabla 5. Tasa de crecimiento anual de la oferta en toneladas y millones de pesos colombianos, periodo 2019-2020

Productos	Volumen (t)			Moneda (COP)		
	2019	2020^{p}	Variación (%)	2019	2020^{p}	Variación (%)
Total, productos del bosque	8.660.862	8.421.124	–2,8	2.248.129	2.230.836	–0,8
Total, productos derivados de transformación de troncos de madera	1.223.798	1.152.759	–5,8	2.768.965	2.631.497	–5,0
p: provisional.						

Fuente: DANE, 2022.

Por actividad económica, el consumo intermedio de productos del bosque para el año 2020 reveló que la mayor participación se encontró en las industrias manufactureras, con 2.368.095 de toneladas y 872.703 millones de pesos colombianos; y en el sector de la construcción, con 468.208 toneladas y 932.561 millones de pesos colombianos.

1.5.2. Costos de producción

Los mayores costos de producción por hectárea de una plantación tradicional para extensiones de 100 hectáreas fueron los siguientes —incluyen costos asociados, mano de obra, insumos, asistencia técnica y el valor de la administración para algunos núcleos productivos—: en la Orinoquia, *Eucalyptus pellita* reportó 3.896.091 de pesos colombianos por hectárea; en el Caribe, *Eucalyptus urophylla* obtuvo 3.239.226. *Ochroma pyramidale* generó 4.129.170 de pesos colombianos por hectárea en el Eje Cafetero y el suroccidente del país; y 4.224.484 en otras regiones (MADR, 2021).

Del mismo modo, los costos promedio de mantenimiento para el periodo 2017-2021 (Resolución 255 de 2020, MADR) muestran que *Eucalyptus grandis* presentó valores promedio de 318.760 de pesos colombianos por hectárea; seguido de *Eucalyptus pellita*, con un promedio de 309.237; y *Eucalyptus urophylla,* con 306.197. Las plantaciones forestales ocuparon el segundo lugar en el valor del incentivo al seguro agropecuario (ISA), herramienta de protección ante riesgos climáticos con valores máximos de aseguramiento en el sector forestal de 8.000.000 de pesos colombianos por hectárea (Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario [Finagro], 2022). El departamento de Meta conquistó el primer lugar en un área asegurada, con 10.514,4 hectáreas; seguido de Antioquia y Córdoba, con 5.541,9 y 5.460,3, respectivamente (MADR, 2021).

1.5.3. Empleo

El sector forestal tiene no sólo una baja participación en la generación de empleo en los eslabones de la cadena, sino también poca estabilidad y seguridad laboral de quienes trabajan en el sector. Se calcula que existen alrededor de 74.956 empleos directos y 280.000 indirectos a lo largo de la cadena, desde la producción silvícola hasta la fabricación de los productos finales. Las cifras sectoriales indican que los empleos directos durante el periodo 2016-2020 oscilaron entre 40.600 y 48.336, con un comportamiento ascendente, comportamiento que asimismo presentaron los empleos indirectos, que fluctuaron entre 99.983 y 116.000 (MADR, 2021).

1.6. Marco político

En la Tabla 6 se presentan los lineamientos de política pública relacionados con el sector forestal, que se concretan en los instrumentos de política.

Tabla 6. Marco de políticas y lineamientos relacionados con el sector forestal

Marco de política forestal	Lineamientos relacionados con la zonificación forestal
Política forestal nacional (1974)	Establece las directrices relacionadas con la zonificación forestal, la cual debe ser simultánea con la de los suelos de vocación agrícola y ganadera. En ella se deben incorporar factores determinantes, como criterios ecológicos y socioeconómicos. En cuanto a la reforestación, se adoptaron lineamientos de políticas relativos al suministro de asistencia técnica; suministro de semillas certificadas; conformación de viveros; capacitación de personal; control de plagas y enfermedades forestales; prevención y control de incendios forestales; e incentivos a la actividad reforestadora.
Política nacional de bosques (1996)	Considera las plantaciones forestales, que son estratégicas no sólo para incrementar la producción y el empleo en zonas rurales marginales, sino también para contribuir al ordenamiento ambiental del territorio y rehabilitar suelos y cuencas.
Plan nacional de desarrollo forestal (2000)	Reconoce ampliamente la reforestación comercial y formula los lineamientos para orientar la implementación de acciones de corto, mediano y largo plazo para el desarrollo de la actividad. El potencial nacional de tierras es susceptible de ser aprovechado con cultivos forestales bajo esquemas de producción sostenible y competitiva. Se estima que abarca 25 millones de hectáreas y se puede incorporar, en el corto plazo, a la base forestal productiva con cerca de tres millones de hectáreas, de las cuales una gran parte se encuentra bajo usos agropecuarios poco sostenibles. Reconoce las potencialidades en la disponibilidad de suelos y destaca la necesidad de adelantar un proceso de planificación integral en el que se determinen las zonas donde se puedan desarrollar nuevas plantaciones competitivas, tanto a nivel nacional como internacional. En este sentido, promueve el aumento del área forestal productiva sobre la base de la zonificación y planificación de núcleos de desarrollo forestal. La zonificación debe apoyar la planificación de núcleos forestales, a lo cual se articulan los siguientes objetivos: disminuir la incidencia de costos de transporte; generar mayor valor agregado en las regiones; brindar

Marco de política forestal	Lineamientos relacionados con la zonificación forestal
	asistencia técnica más eficiente; orientar los recursos de las entidades; realizar el control al transporte y movilización de los productos forestales; complementar la infraestructura y los servicios de apoyo para establecer los núcleos forestales. Ejerce una coordinación entre el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, otras entidades públicas y el sector privado a fin de caracterizar las áreas forestales y definir criterios para la zonificación de áreas para plantaciones, los cuales deben estar relacionados con los planes de ordenamiento territorial municipales. Identifica los mecanismos legales que permiten asegurar a los inversionistas que las áreas destinadas a plantaciones forestales comerciales mantengan este uso en el mediano y largo plazo. Evalúa las áreas con base en el aprovechamiento, la comercialización, la infraestructura (tanto vial como industrial) y los rendimientos que se obtengan de las plantaciones industriales.
Plan nacional de desarrollo 2010-2014	Impulsa la reforestación comercial como estrategia del sector agropecuario al promover la competitividad de los productos forestales y contribuir con la prevención de los efectos adversos ocasionados por los fenómenos climáticos. En el marco del plan nacional de desarrollo forestal, crea el *Programa nacional de reforestación comercial* con el fin de sacar partido del potencial forestal nacional y ampliar la oferta productiva. Para ello, apoya la rehabilitación del uso de los suelos potenciales para la reforestación e incluye las cuencas de los ríos y las áreas conectadas con ellas (Ley 1450 de 2011). El plan se propuso, al 2014, contar con una base forestal de un millón de hectáreas reforestadas, de las cuales 600.000 corresponderían a plantaciones forestales comerciales; y las 400.000 hectáreas restantes serían de carácter protector. Para este fin, se incrementaron, en la vigencia de 2012, los recursos asignados al Certificado de Incentivo Forestal (CIF) en cerca de siete veces, en relación con el promedio de los últimos tres años.
Plan de acción para la reforestación comercial (2011)	El objetivo general de este plan consiste en impulsar la reforestación comercial como estrategia del sector agropecuario y así promover la competitividad de los productos forestales y prevenir los efectos adversos ocasionados por los fenómenos climáticos.

Marco de política forestal	Lineamientos relacionados con la zonificación forestal
	Define máximo tres macrozonas con seis núcleos de desarrollo forestal, de acuerdo con los siguientes criterios: a) que sean áreas con plantaciones forestales industriales o comerciales, o sistemas agroforestales comerciales-industriales; b) tierras que actualmente estén en otras actividades agrícolas o pecuarias que puedan destinarse a la actividad forestal comercial; c) áreas forestales, distritos de manejo integrado (DMI) o cualquier otra categoría de manejo ambiental que permita la actividad forestal comercial, superficies que no se encuentren en bosques naturales o que no constituyan ecosistemas estratégicos de páramos, manglares y humedales; d) áreas que se destinen a planes, programas y proyectos nacionales, regionales y locales que contemplen el desarrollo y fomento de cultivos forestales o sistemas agroforestales con fines comerciales y núcleos forestales; e) áreas de reserva forestal que actualmente cuenten con plantaciones forestales o cuyos planes de ordenación determinen un uso para actividades forestales comerciales y de los sistemas agroforestales. Las macrozonas en las cuales se concentrarán los polos de desarrollo de la reforestación comercial son la Orinoquia, seleccionada por su gran viabilidad y por el costo y extensión de sus tierras; el Caribe y el Bajo Magdalena, por su topografía, experiencia forestal, disponibilidad de tierras, acceso a puertos y el potencial cercano a un millón de hectáreas ya zonificadas; y Caldas, Antioquia y Tolima Grande, por su desarrollo técnico, logístico e industrial, un gran potencial de mercado interno y la urgencia de proteger las partes altas de las cuencas hidrográficas. Entre las acciones por desarrollar abarca, en primer lugar, la zonificación de las áreas potenciales para la reforestación forestal comercial. Con el fin de desarrollar proyectos altamente productivos, el país debe haber identificado las zonas de mayor potencial a una escala muy detallada que permita conocer las condiciones edafoclimáticas del sitio para que el reforestador planifique cada actividad; en segundo lugar, la concentración de núcleos/*clusters* en las zonas definidas. Sobre este tema, el plan establece que la política de cadenas productivas, promovida por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural desde el año 2000, ha permitido focalizar las inversiones hacia las regiones con mejores posibilidades para desarrollar proyectos productivos en el marco de los acuerdos nacionales y regionales de competitividad, planteados en el plan nacional de desarrollo forestal (PNDF).

Marco de política forestal	Lineamientos relacionados con la zonificación forestal
	El direccionamiento de los recursos del certificado de incentivo forestal se realizón con los esfuerzos técnicos y financieros las zonas que favorecen una mayor competitividad de la producción al estimular la ubicación de plantaciones forestales en suelos de aptitud forestal y con infraestructura vial que facilita el proceso de aprovechamiento y transporte a menores costos.
Acuerdo sectorial de competitividad de la cadena productiva forestal, madera, tableros, muebles y productos de madera (2011)	En 1998 se suscribió el acuerdo sectorial de competitividad para esta cadena, cuyo objetivo consiste en establecer un marco estratégico que incorpore el sector forestal a la economía nacional, optimice las ventajas comparativas y promueva la competitividad de productos forestales de alto valor agregado, tanto en el mercado nacional como en el internacional, a partir del manejo sostenible de los bosques naturales y plantados. En el año 2011, se actualizó el acuerdo para consignar aspectos pertinentes al proyecto de zonificación para plantaciones forestales con fines comerciales en Colombia, especialmente, los referque se refieren a mejorar la productividad y la competitividad mediante la zonificación y ordenación forestal. En cuanto a la productividad en las plantaciones forestales, el acuerdo aclara que, al incrementarse, influye la selección del sitio, es decir, la zonificación a través de herramientas técnicas de última tecnología que incorporan criterios de productividad.
Documento Conpes 3743 de 2013	Determina la distribución de recursos para el certificado de incentivo forestal con fines comerciales (CIF) para la vigencia 2013, en cumplimiento de la competencia otorgada por la Ley 139 de 1994 y el Decreto 1824 de 1994. En cuanto a la revisión y ajuste de la zonificación existente, durante el año 2012 la tarea estuvo a cargo de la UPRA, en la que se avanzó en la construcción de la línea base. Para el 2013, estaba previsto que la UPRA ejecutara esta actividad, lo que permitiría contar con el mapa zonificación para plantaciones forestales con fines comerciales en Colombia a escala 1:100.000. Además, contribuiría a la toma de decisiones de política en materia de reforestación comercial con fines industriales. Como mecanismo de coordinación, se conformó un comité interinstitucional con la participación del DNP, el MADR, el MADS y la UPRA, con el fin de evaluar el avance en las actividades.

Marco de política forestal	Lineamientos relacionados con la zonificación forestal
Plantaciones forestales con fines comerciales para la obtención de madera y su cadena productiva: lineamientos de política (UPRA, 2016)	El documento contiene la formulación de los lineamientos de política para las plantaciones con fines comerciales para la obtención de madera como hoja de ruta para el periodo 2016-2038.
Plan de acción para el desarrollo y consolidación de la cadena productiva de las plantaciones forestales comerciales para la obtención de madera 2018-2038 (UPRA, 2017)	Con este plan, la UPRA da cumplimiento al primero de los compromisos que se formularon en la cadena productiva maderable. En el 2017, los integrantes del sector maderero en Colombia, con el liderazgo de la UPRA, trabajaron en la formulación de los lineamientos de la política para el rango del periodo del 2018-2038.

1.7. Marco normativo

Este marco expone la evolución de las leyes, decretos, resoluciones y otras normas concernientes a la jurisprudencia que enmarcan los lineamientos relacionados con la normativa colombiana y de las políticas públicas asociadas a la cadena forestal. En Colombia, a pesar de que la política de cadenas productivas aborda pautas técnicas y ambientales, no se le ha dado el mismo énfasis a las características sociales, culturales y políticas, determinantes para las relaciones entre las dinámicas poblacionales y el territorio.

La Tabla 7 muestra el normograma para el sector forestal maderable pertinente para la zonificación de aptitud para las veinte especies forestales en Colombia.

Tabla 7. Marco normativo relacionado con el sector forestal

Marco normativo forestal	Lineamientos relacionados con la zonificación forestal
Ley 2 de 1959	Denominada *Sobre economía forestal de la nación y conservación de los recursos naturales renovables*, establece siete zonas con carácter de *zonas forestales protectoras* y *bosques de interés general*.
Decreto Ley 2811 de 1974	El código nacional de recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente denomina *área de reserva forestal* a la zona de propiedad pública o privada reservada para destinarla al establecimiento o mantenimiento y utilización racional de áreas forestales protectoras, áreas forestales productoras y áreas forestales protectoras-productoras.

Marco normativo forestal	Lineamientos relacionados con la zonificación forestal
Decreto 877 de 1976	Considera áreas forestales productoras las cubiertas de bosques naturales que, por su contenido maderable, puedan ser aprovechadas racional y económicamemnte mientras no estén comprendidas en las áreas protectoras o protectoras-productoras; las áreas cubiertas de bosques artificiales establecidas con fines comerciales; y las áreas que, estando o no cubiertas de bosques, se consideren aptas para el cultivo forestal por sus condiciones naturales.
Ley 37 de 1989	«Por la cual se dan las bases para estructurar el Plan Nacional de Desarrollo Forestal [...]», a partir de la creación del Servicio Forestal Nacional como el sistema de coordinación de las entidades públicas de los niveles territoriales encargadas de desarrollar las actividades establecidas por el Plan Nacional de Desarrollo Forestal.
Ley 99 de 1993	Crea una estructura institucional para manejar y administrar los recursos naturales renovables y del medio ambiente, para lo cual asignó al Ministerio del Medio Ambiente la coordinación para la elaboración del proyecto del PNDF.
Ley 101 de 1993	Establece en los artículos 64, 65 y 66 de la Constitución Nacional que «La explotación forestal y la reforestación comercial se consideran actividades esencialmente agrícolas». Así, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural ha venido liderando la política relacionada con la reforestación comercial.
Ley 139 de 1994	Crea el certificado de incentivo forestal (CIF) como «un reconocimiento del Estado a las externalidades positivas de la reforestación en tanto los beneficios ambientales y sociales generados son apropiables por el conjunto de la población. Aplica en nuevas plantaciones forestales de carácter protector en terrenos de aptitud forestal. Podrán acceder a éste las personas naturales o jurídicas de carácter privado, entidades descentralizadas municipales o distritales cuyo objeto sea la prestación de servicios públicos de acueducto y alcantarillado y entidades territoriales, que mediante contrato celebrado para el efecto con las entidades competentes para la administración y manejo de los recursos naturales renovables y del ambiente, se comprometan a cumplir un Plan de Establecimiento y Manejo Forestal, en los términos y condiciones señalados en la Ley». Es un aporte en dinero que efectúa directamente el Gobierno para cubrir parte de los gastos de establecimiento y mantenimiento en que incurran quienes ejecuten nuevas plantaciones forestales con fines protectores-productores en suelos de aptitud forestal. Puede acceder al incentivo toda persona natural o jurídica que quiera adelantar un proyecto de reforestación de carácter comercial a partir de una hectárea y que cumpla con los requisitos de ley. El incentivo puede aplicarse para especies forestales nativas o introducidas definidas en una resolución expedida por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
Ley 811 de 2003	Por la cual se crean las organizaciones de cadenas en el sector agropecuario, pesquero, forestal, acuícola y las sociedades agrarias de transformación (SAT).

Marco normativo forestal	Lineamientos relacionados con la zonificación forestal
Resolución 0080 de 2013	«Por la cual se fija el listado de especies forestales a ser beneficiadas con el Certificado de Incentivo Forestal (CIF)».
Decreto 1498 de 2008	Reglamenta la Ley 99 de 1993 y el Artículo 2 de la Ley 139 de 1994. Señala que cuando una plantación forestal protectora-productora se establezca en el marco del CIF creado por la Ley 139 de 1994, se registrará ante el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural o la entidad que éste delegue.
Ley 1328 de 2009	Por la cual se dictan normas en materia financiera. En el Artículo 75, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural asume las funciones de las CAR respecto a la Ley 139 de 1994.
Ley 1450 de 2011	En el Plan Nacional de Desarrollo *Prosperidad para todos*, del Artículo 60 se formulan proyectos especiales agropecuarios o forestales; y en el Artículo 66, el programa especial para la reforestación. En el marco del Plan nacional de desarrollo forestal, se creó el Programa nacional de reforestación comercial con el fin de aprovechar el potencial forestal nacional y ampliar la oferta productiva. El propósito consiste en contribuir a rehabilitar el uso de los suelos con potencial para la reforestación, en lo cul se incluyen las cuencas de los ríos y las áreas conectadas con eséas.
Decreto 2448 de 2012	Modifica parcialmente el Decreto 1824 de 1994 en las definiciones sobre *especie forestal*, *especie forestal autóctona*, *especie forestal introducida*, *plantación forestal protectora-productora*, *plan de establecimiento y manejo forestal (PEMF)*, *otorgamiento*, *pago*, *nueva plantación* y *proyecto forestal*.
Resolución 148 de 2012	El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural delega a Finagro la evaluación, verificación de campo, el seguimiento y control del plan de establecimiento y manejo forestal - PEMF y la realización del respectivo contrato de reforestación.
Resolución 411 de 2014	Amplía la delegación establecida por el MADR a Finagro en relación con la administración del CIF.
Ley 1731 de 2014	Adopta medidas en materia de financiamiento tendientes a impulsar la reactivación de los sectores agropecuario, pesquero, acuícola, forestal y agroindustrial.
Decreto 1071 de 2015	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo Agropecuario, Pesquero y de Desarrollo Rural.
Resolución 189 de 2019	«Por la cual se adoptan los lineamientos de política para las plantaciones forestales con fines comerciales para la obtención de madera y su cadena productiva, el plan de acción 2018-2038 y se dictan otras disposiciones».
Decreto 2398 de 2019	Se reemplaza el título 3 del Decreto Único Reglamentario del Sector Agropecuario, Pesquero y de Desarrollo Rural 1071 de 2015 que se asocial al certificado de movilización de plantaciones forestales.
Decreto 130 de 2020	Se reemplaza el título 1 del Decreto 1071 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Agropecuario, Pesquero y de Desarrollo Rural, relacionado con el CIF.

Marco normativo forestal	Lineamientos relacionados con la zonificación forestal
Resolución 0324 de 2021	Con esta norma se indica los costos de establecimiento y mantenimiento de plantaciones forestales comerciales, el de los de mantenimiento del bosque natural relacionados con el proyecto de reforestación y se determina el incentivo por árbol en virtud del incentivo forestal del año 2022.

Fuente: Elaboración propia.

1.8. Alcances y limitaciones

El mapa de aptitud para veinte especies forestales con fines comerciales a escala 1:100.000 contribuye con los objetivos y funciones de la UPRA, pues se propone consolidar posibles núcleos de desarrollo y orientar inversiones a escala nacional o regional. Así mismo, se constituye como una herramienta para la planificación rural agropecuaria y el ordenamiento territorial. Al considerar todo el territorio continental colombiano, es un instrumento de carácter indicativo dada, su escala de trabajo. Por tal razón, no es un instrumento de regulación o reglamentación de uso del suelo, pues esta competencia corresponde a los entes territoriales, ni reemplaza la elaboración de proyectos de inversión puntuales. Éstos requieren de análisis más detallado que evalúe a nivel local los requerimientos específicos de acuerdo con la especie y las competitividad relacionadas con la ubicación del proyecto, los objetivos específicos de la producción, los productos a obtener, el mercado y el flujo de caja.

La zonificación de aptitud para las plantaciones forestales madereras se desarrolla considerando la zonificación de aptitud que prioriza las áreas más competitivas para el desarrollo de las plantaciones forestales madereras, por lo cual se identifican los territorios con mejores condiciones en cada criterio de análisis. Además. la definición del TUT y de los requerimientos se realiza a partir de la información existente sobre las plantaciones forestales madereras. Las áreas con restricción legal son catalogadas como excluyentes, independientemente de la aptitud identificada en los diferentes criterios. Sin embargo, las áreas donde aplique la normativa ambiental, social y cultural que condicione el uso a otros procesos o instrumentos vigentes, como los territorios colectivos, deben ser analizadas de forma diferencial con el fin de proteger el patrimonio cultural material e inmaterial del país y el derecho de autodeterminación de sus comunidades.

La inclusión de nuevos criterios o variables dentro del proceso de zonificación está sujeta a la disponibilidad de información oficial. En este sentido, algunas variables, aunque pueden ser relevantes, no se contemplan en la metodología hasta que la información sea entregada

oficialmente por la entidad encargada de desarrollarla. Finalmente, los mapas de la zonificación de aptitud para las veinte especies forestales con fines comerciales a escala 1.100,000 se basan en la información secundaria de las entidades oficiales, la cual contiene niveles de generalización que pueden afectar la precisión en la delimitación de algunas unidades. Igualmente, la información disponible no está en su totalidad con corte a un determinado periodo de tiempo, lo que implica actualizar permanentemente la evaluación de acuerdo con la naturaleza de los criterios, por lo menos cada cinco años, mediante un proceso sistemático que facilite el proceso.

2. Marco conceptual

2. Marco conceptual

La gestión sostenible del ambiente, la sociedad y la economía se ha convertido en tópico central para el diseño de las políticas y las decisiones de planificación sectorial en la mayor parte del mundo (Rodiek, 2008). Para planificar efectivamente el uso del suelo con fines productivos, los gobiernos y las entidades encargadas de la planificación rural agropecuaria requieren información sobre la capacidad de la tierra para apoyar diversos usos (Harms *et al*., 2015). La causa descansa en que este sector representa uno de los más importantes para el bienestar humano, ya que aumenta los ingresos y mejora la condición social de los productores, de acuerdo con la distribución y la calidad de los recursos disponibles.

El modelo conceptual de la zonificación de aptitud adoptado por la UPRA parte de un enfoque multidisciplinario que considera los principios del esquema de evaluación de tierras en cuanto a la definición y evaluación de la aptitud. A esto se suma la integración de los componentes biofísicos y socioeconómicos, que no sólo enmarcan las características de un tipo de utilización de tierras desde la visión de la productividad —a partir de los criterios edafoclimáticos que contempla el esquema de la FAO—, sino que también se fortalece con la incorporación de criterios de sostenibilidad y competitividad mediante la evaluación de los criterios que involucran los componentes adicionados (ver Figura 5).

Figura 5. Marco conceptual para la zonificación de aptitud de cadenas productivas

Fuente: UPRA, 2021.

La zonificación de aptitud para veinte especies forestales en Colombia se propone identificar y delimitar las áreas aptas para la producción maderable como base para el desarrollo técnico, ambiental y competitivo de esta actividad. De igual manera, con se propone contribuir con la formulación de lineamientos de ordenamiento territorial y de uso eficiente del suelo rural que permitan la inversión pública y privada.

La presente zonificación utiliza para integrar los componentes un proceso analítico jerárquico como técnica de análisis multicriterio, el denominado Analytic Hierarchy Process (AHP), el cual permite generar las alternativas de decisión más adecuadas de uso del suelo. Para ello, incluye la participación de actores dentro del proceso de planificación para asignar una calificación a partir de criterios y registrar los datos en el programa estadístico Priorty Estimation Tool (PriEsT), en el que se le asignan pesos a cada criterio. En el proceso metodológico de integración de los mapas, la UPRA emplea una primera matriz AHP para incorporar los componentes físicos y socioecosistémicos, denominada *integrado biofísico*; en la segunda matriz agrupa los criterios socioeconómicos en un solo mapa, denominado *integrado socioeconómico*. Posteriormente, se genera un árbol de decisión mediante una matriz de paso para obtener el mapa definitivo de la zonificación de aptitud.

El enfoque de productividad basa se basa en la evaluación de tierras, proceso que permite identificar y valorar los usos específicos que se adaptan a las condiciones de las tierras evaluadas (FAO, 2007), cuya finalidad consiste en proponer sistemas de uso apropiados y sostenibles a largo plazo. A pesar de que la FAO presenta limitaciones por centrarse en los aspecto físicos, plantea el procedimiento más utilizado en todo el mundo para hacer frente al ordenamiento territorial local, regional y nacional; las adaptaciones que han surgido en los últimos años ofrecen una alternativa de aplicación frente a nuevos retos agroambientales.

La FAO propone un conjunto de características usadas en el proceso de evaluación de tierras, denominadas, en esta metodología, *criterios* y *variables*, cuyo número, que es flexible, está determinado por los objetivos de aplicación, la escala de trabajo y los datos disponibles (FAO, 2007). Dentro de la zonificación, el proceso de evaluación de tierras se aborda multidisciplinariamente, pues brinda los elementos para el análisis de criterios relacionados con las dimensiones físicas, socioecosistémicas y socioeconómicas de la cadena productiva por evaluar, siempre sobre una base sostenible.

Desde el componente físico, por medio del análisis de sus elementos en un espacio territorial, se determina primero la aptitud o exclusión de un territorio para soportar un tipo de producción definido. De acuerdo con los estudios agronómicos realizados para la zonificación de aptitud de veinte especies forestales maderables, el componente ha precisado características que identifican criterios y variables agrupados en los subcomponentes climático y edáfico.

El enfoque socioecosistémico considera el patrimonio natural, entendido como la biodiversidad, la funcionalidad ecosistémica, los bienes y los servicios ecológicos vinculados con los sistemas sociales con los que cohabita. En estos sistemas complejos, el hombre, la sociedad y la cultura participan en el modelamiento de los ecosistemas y se adpaptan a los cambios en la naturaleza. De esta forma, los procesos socioecosistémicos que se dan en estos sistemas complejos han de buscar de forma permanente el ideal de la sostenibilidad (UPRA, 2016).

El propósito de una visión socioecosistémica consiste en plasmar en la producción estrategias de gestión que consideren la dinámica natural de los ecosistemas, las interacciones sociedad-naturaleza, el uso sostenible de bienes y servicios ecosistémicos y el mantenimiento de la integridad ecológica. Estos elementos aportantan a la productividad y la competitividad del sistema, en función del paradigma de conservación para el bienestar humano (MADS, 2012; Martín-López *et al*., 2009, como se citaron en UPRA, 2014).

Desde los criterios socioecosistémicos, la aptitud representa el potencial del territorio para el establecimiento y permanencia de una cadena productiva. En las áreas con mayor aptitud, la actividad productiva genera un menor impacto en los bienes y servicios que proveen los ecosistemas o contribuye a mejorarlos. Esta visión incorpora los fundamentos para mantener del capital natural, a saber: la biodiversidad, la integridad ecológica y los servicios ecosistémicos, con una distribución más equitativa de los beneficios, para lo cual incluye la sociedad, la economía y la cultura al crear nuevas actividades en busca de la armonización entre la producción, la conservación y la reducción de procesos de degradación del patrimonio natural.

Desde los criterios socioeconómicos, la competitividad se define por la productividad con la que un país utiliza sus recursos humanos, económicos y naturales para producir bienes y servicios de mayor calidad y menor precio que otros productores domésticos e internacionales (Porter, 1980). Esto constituye el factor determinante del modelo de crecimiento del sector agropecuario, ya que es la condición de viabilidad de los productos en el mercado que genera oportunidades sostenibles para todos los habitantes del campo (DNP, 2010).

En relación con la zonificación de una cadena productiva, la competitividad es la capacidad de una región de generar las condiciones de producción que promueven el desarrollo sostenido del sistema productivo. Con ello, es posible mejorar las condiciones de vida y bienestar de los habitantes de esa región, en particular, de los empresarios y familias dedicadas al negocio. De otro modo: la competitividad implica que un cultivo exija condiciones multidimensionales para desarrollarse.

A continuación, se sintetizan algunos de los lineamientos que Rossiter (2009) aborda en una evaluación de tierras y que representan el enfoque dado en la zonificación de aptitud de las cadenas productivas: para la zonificación de una cadena productivaconsidera un enfoque multidisciplinario y sectorial; usa un enfoque paralelo, en el que cada criterio se aborda conjuntamente y se obtiene una clasificación para cada cual; reconoce las funciones de la tierra, no sólo para la producción de alimentos o materias primas agroindustriales, sino también para la conservación del medio ambiente; reconoce los criterios asociados al uso de la tierra que integra características físicas, climáticas, fitosanitarias, ecosistémicas, institucionales, de transporte, mano de obra y población: fomenta la participación de los interesados en los procesos de zonificación de aptitud de tierras: define la sostenibilidad ampliamente para incluir la productividad, la equidad social y los aspectos medioambientales; valora la tierra, dentro del contexto ambiental, como un factor que provee bienes y servicios a la población.

3. Marco metodológico

3. Marco metodológico

La zonificación de aptitud para veinte especies forestales con fines comerciales en Colombia a escala 1:100.000 se basa en los principios del *Esquema de evaluación de tierras* (FAO, 1976), las directrices de la *Evaluación de tierras para la agricultura en regadío* (FAO, 1990) y el enfoque por etapas paralelas de integración y análisis de los componentes físico, socioeconómico y ecológico propuesto en el *Framework for Land Evaluation* (FAO, 2007). La evaluación de tierras consiste determinar el grado de satisfacción de los requerimientos de cada tipo de uso o actividad proporcionado por el suelo. El proceso central de este esquema compara las cualidades de cada unidad de tierra con los requerimientos de cada tipo de uso del suelo mediante diversos procedimientos descritos en publicaciones posteriores (FAO, 1976).

De acuerdo con el enfoque otorgado por la FAO (1976), en la presente zonificación de aptitud se llevó a cabo una adaptación que involucró técnicas empleadas para determinar el emplazamiento óptimo para una actividad, como los métodos de evaluación multicriterio, que permiten obtener los mapas de aptitud. La evaluación multicriterio es un método que se ha diseñado para cubrir un objetivo específico cuando se requiere evaluar varios criterios, para lo cual considera un criterio como la base para una decisión que puede medirse o evaluarse. Los criterios pueden ser de dos tipos: *factores* o *restricciones*. Un factor es un criterio que mejora o reduce la aptitud de una alternativa específica para la actividad en consideración; una restricción es un criterio que limita tales alternativas (Eastman *et al.*, 1995).

En la evaluación multicriterio, una de las técnicas más sencillas y frecuentemente aplicadas es la suma lineal ponderada. El objetivo de la evaluación multicriterio consiste en otorgar pautas para combinar la información de varios criterios para formar un índice único de evaluación. En el caso de los criterios restrictivos, se emplea la lógica *booleana*, es decir: *sí* o *no*, *existe* o *no* la restricción, por lo que sólo da lugar a una de esas calificaciones. En el caso de los factores, se usa la suma lineal ponderada, en la cual los factores son combinados aplicando un peso a cada uno, seguido de una sumatoria de los resultados para obtener el mapa de aptitud (Eastman *et al.*, 1995).

La metodología se fundamentó en el análisis de tres componentes: el físico, el socioecosistémico y el socioeconómico, los cuales fueron evaluados por criterios conformados por variables que los caracterizan. Un *criterio* es el atributo complejo —conjunto de variables— de las cualidades de la tierra que actúa independientemente sobre la aptitud para un tipo específico de uso (FAO, 1976); por su parte, una *variable* es un atributo de la tierra que puede medirse o estimarse y que es utilizadas como un medio para describir el criterio. Para efectos de la zonificación de aptitud en desarrollo, los criterios pueden ser de cuatro tipos :

Criterios de análisis jerárquico. Son factores para los que se definen los niveles de aptitud. Un factor es un criterio que mejora o reduce la aptitud para la producción forestal.

Criterios de exclusión técnica. Son zonas en las cuales, por condiciones técnicas físicas o socioecosistémicas, no es factible el establecimiento del cultivo forestal.

Criterios de exclusión legal. Se aplican cuando, independientemente de la categoría de aptitud, por consideraciones sociales, culturales, ambientales o de bioseguridad no es posible el desarrollo de la actividad productiva.

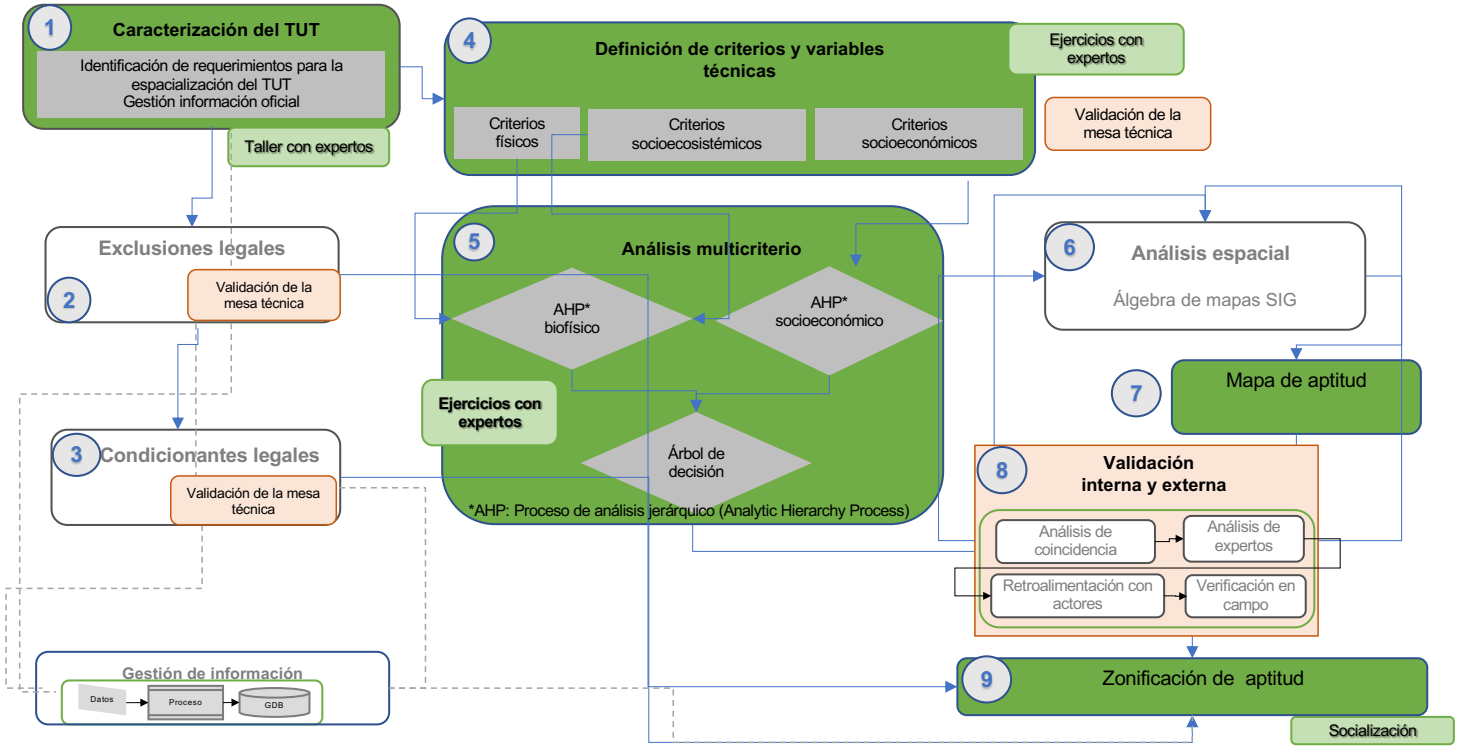
Criterios condicionantes. Son zonas que, independientemente de la categoría de aptitud, requieren de un análisis complementario social, cultural, ambiental o de bioseguridad para el desarrollo de actividades forestales con fines comerciales.

En la Figura 6 se muestra el tipo de criterios que se abordaron en el desarrollo de la zonificación de plantaciones forestales maderables y la manera cómo interactúan: mientras que en la Figura 7 se presentan los pasos que conforman el esquema metodológico de la zonificación.

Figura 6. Tipos de criterios usados en la zonificación de aptitud para plantaciones forestales en Colombia

Fuente: UPRA, 2014.

Figura 7. Esquema metodológico de la zonificación de veinte especies forestales maderables



Fuente: UPRA, 2019.

Durante todo el proceso, se contó con el acompañamiento tanto del sector maderero como de los expertos en la materia, quienes no sólo aportaron con la definición de los criterios y la variables, sino que también demostraron la importancia de éstos dentro de la zonificación de aptitud. A continuación, se presentan las definiciones de las fases de la zonificación:

Definición del tipo de utilización de la tierra (TUT). En esta fase se definió el tipo de uso de la tierra objeto de la evaluación con base en los requerimientos físicos, socioecosistémicos y socioeconómicos. Así mismo, se definieron los criterios y las variables objeto de la cartografía.

Identificación de exclusiones legales. Con base en la normativa vigente asociada al componente socioecosistémico, se establecieron las figuras que excluyeron la actividad productora.

Identificación de condicionantes legales. De acuerdo con la normativa vigente asociada al componente socioecosistémico, se establecieron las figuras que condicionaron la actividad productora.

Definición y selección de criterios y variables técnicas. Conforme al TUT planteado, se seleccionaron los criterios y variables para realizar la evaluación, listado concertado con expertos. Cabe recordar que un criterio es el conjunto de requisitos, parámetros o variables que definen decisiones de aptitud de uso específico de un territorio rural.

Análisis multicriterio. Es un método diseñado para evaluar la importancia de los criterios y ponderarlos dentro del modelo de zonificación de aptitud con matrices de proceso analítico jerárquico (método AHP). De este modo, la primera matriz correspondió al *componente biofísico*, compuesto por criterios físicos y socioecosistémicos; la segunda matriz, al componente socioeconómico. Una vez ponderados los criterios de cada matriz, se compararon a través de una matriz de paso o árbol de decisión.

Análisis espacial. Los análisis espaciales se estructuraron desde la consecución y organización de la información, la normalización y estandarización de los datos, hasta para la obtención de los mapas de variables y criterios. Además, se aplicó el método jerárquico para generar los mapas intermedios y el mapa final de aptitud para la producción de las veinte especies forestales seleccionadas.

Mapa de aptitud. Como resultado de la aplicación de la metodología propuesta, se presentaron las zonas aptas y no aptas para la producción de veinte especies forestales y los respectivos resultados términos nacionales, departamentales y municipales.

Validación de resultados. Se socializaron los resultados de las zonas aptas y no aptas para la producción de veinte especies forestales en términos nacionales, departamentales y municipales, luego de lo cual se validaron.

Resultados. Se obtuvo la representación cartográfica de las zonas aptas y no aptas para la producción de plantaciones de las veinte especies forestales maderables con sus respectivas estadísticas en términos nacionales, departamentales y municipales.

3.1 Definición del tipo de utilización de la tierra (TUT)

El tipo de utilización de la tierra (TUT) es un conjunto de especificaciones técnicas de manejo y producción dentro de un marco social, económico, ambiental y cultural específico para el desarrollo de un determinado de cultivo. Entre éstos se destacan el tipo de cultivo, los objetivos de la producción, el tipo de manejo, la intensidad de mecanización, el capital, la infraestructura requerida, el tamaño y la tenencia de la tierra (FAO, 2003).

El TUT es una descripción a un nivel apropiado de detalle del uso de la tierra e incluye las características del sistema de producción, los contextos socioeconómico y ecológico que les confieren rasgos diferenciadores a las plantaciones forestales maderables desde el punto de vista de la evaluación de tierras. En otras palabras: estos rasgos pueden ser expresados como requisitos de uso de la tierra con valores cualitativos-cuantitativos en el país o que sirven para delimitar las opciones de uso eficiente de la tierra.

El tipo de utilización de la tierra (TUT) evaluado en el presente documento correspondió a *Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia*. Las especies seleccionadas fueron las siguientes: la acacia (*Acacia mangium*); los eucaliptos (*Eucalyptus pellita*, *Eucalyptus tereticornis*; *Eucalyptus urograndis*, *Eucalyptus urophylla*); la melina (*Gmelina arborea*); el pino caribe (*Pinus caribaea*); la teca (*Tectona grandis*); la ceiba tolúa (*Bombacopsis quinata*); el roble, ocobo o flormorado (*Tabebuia rosea*); el balso (*Ochroma pyramidale*); el eucalipto rojo (*Eucalyptus camaldulensis*); los pinos (*Pinus tecunumanii*, *Pinus maximinoi, Pinus oocarpa*); el nogal cafetero (*Cordia alliodora*); el eucalipto rosado (*Eucalyptus grandis*); el ciprés (*Cupressus lusitanica*); el eucalipto blanco, común o azul (*Eucalyptus globulus*) y el pino pátula (*Pinus patula*). Para obtener el TUT de las veinte especies forestales con fines comerciales, se consideraron los componentes físico, socioecosistémico y socioeconómico, en conjunción con los criterios y las variables respectivas.

3.2 Criterios de análisis jerárquico

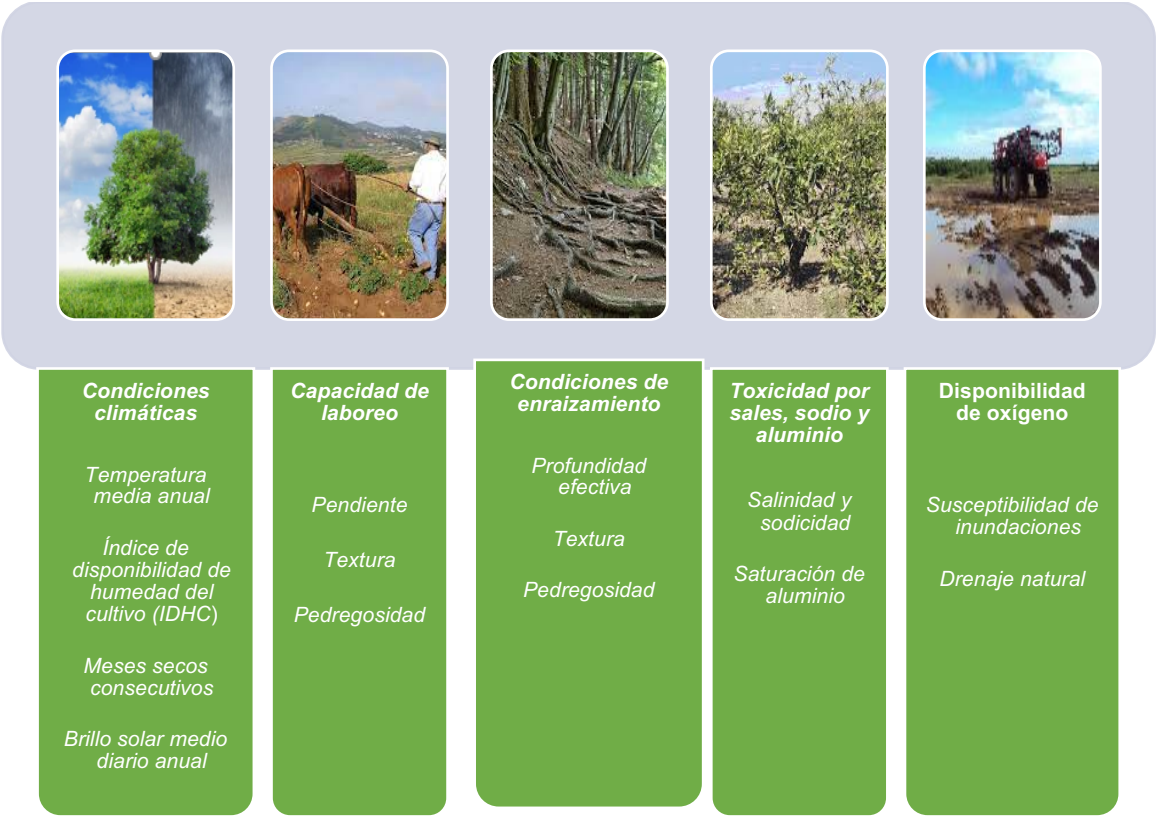
A continuación, se presentan los criterios y las variables de los componentes físico, socioecosistémico y socioeconómico que generaron la aptitud para veinte especies forestales con fines comerciales a escala 1:100.000 en Colombia. Esta información está descrita en mayor detalle en las fichas metodológicas de los criterios y las variables de análisis jerárquico que contienen información sobre la definición, la importancia, los rangos de

evaluación, las limitantes, la metodología utilizada para el procesamiento, la representación cartográfica y las fuentes de información, incluidas en el anexo al presente documento.

3.2.1 Criterios físicos

El componente físico, con el análisis de los elementos constitutivos en un espacio territorial, puede determinar el nivel de aptitud de un territorio para soportar un tipo de producción definido. Según los requerimientos agronómicos para las veinte especies forestales maderables seleccionadas, se han precisado algunas cualidades de la tierra que identifican criterios y variables que están agrupados en dos subcomponentes: el climático y el edáfico. En la Figura 8 se presentan los criterios y las variables del componente físico para la zonificación de aptitud de las veinte especies forestales enunciadas.

Figura 8. Criterios y variables del componente físico



Fuente: Elaboración propia.

Subcomponente climático. Para la zonificación de aptitud, según los estudios agroclimáticos realizados en las veinte especies forestales seleccionadas, se precisaron los elementos climáticos con mayor incidencia en las fases de desarrollo de las plantaciones. Las características se asocian a la temperatura media anual, al índice de disponibilidad de humedad, a la duración de los meses secos consecutivos y al brillo solar medio diario anual (ver Tabla 8).

Tabla 8. Definición de criterios y variables del subcomponente climático

Criterio	Variables
Condiciones climáticas: conjunto de propiedades del sistema climático, definidas como *variables*, que interactúan en las capas inferiores de la atmósfera, lo cual afecta directamente la fisiología de las plantas (UPRA, 2013; FAO, 1976).	***Temperatura media anual*:** medida del estado térmico del aire con respecto a la habilidad de transmitir calor alrededor. Depende de la latitud y la altitud, y se toma como un índice de balance calórico expresado en grados centígrados (Ideam, 2014).
	***Índice de disponibilidad de humedad para el cultivo (IDHC)*:** relación mensual entre la precipitación y la evapotranspiración actual del cultivo.
	***Brillo solar medio diario anual*:** cantidad de horas en la que los rayos del sol llegan directamente sobre la superficie terrestre. Se denomina *brillo solar* o *insolación* (Ideam, 2014).

Criterio	Variables
	Meses secos consecutivos: período del año en meses consecutivos cuando el suministro de humedad alimentado por la lluvia es menor que la mitad de la evapotranspiración del cultivo.

Fuente: Elaboración propia.

Subcomponente edáfico. Como cuerpo natural y complejo, el suelo es de vital importancia en el desarrollo de los cultivos, ya que de sus características depende en gran medida la supervivencia de las especies vegetales. Las plantaciones forestales requieren de condiciones edáficas óptimas para la siembra, el establecimiento, el crecimiento y la producción. Las principales cualidades se refieren a la disponibilidad de nutrientes, la capacidad de laboreo, las condiciones de enraizamiento, la toxicidad por sales, sodio y aluminio, la disponibilidad de humedad y a la disponibilidad de oxígeno (ver Tabla 9).

Tabla 9. Definición de criterios y variables del subcomponente edáfico

Criterio	Variables
***Disponibilidad de nutrientes*:** cualidad del suelo que le permite proporcionar compuestos en cantidades adecuadas y en un balance apropiado para el crecimiento de plantas, cuando otros factores de crecimiento, como la luz, la humedad, la temperatura y la condición física del suelo, son favorables (Klingebiel & Montgomery, 1961).	***Acidez (pH)*:** concentración de iones hidrógeno (H^+) y (OH^-) e iones hidróxido en la solución del suelo. Define el grado de acidez o alcalinidad de un suelo expresado como un valor que oscila entre los valores de 0 y 14 de pH (Soil Science Society of América [SSSA], 2018).
	***Saturación de bases*:** relación entre la cantidad de bases intercambiables y la capacidad de intercambio de cationes. El valor de la saturación de la base varía si la capacidad de intercambio catiónico incluye sólo la acidez extraíble de la sal o la acidez determinada a pH 7 u 8. A menudo, se expresa como un porcentaje (SSSA, 2018).
	***Carbono orgánico*:** principal componente de la materia orgánica del suelo (FAO, 2017). El carbono orgánico corresponde a los residuos de plantas, animales y microorganismos que se encuentran en el suelo como carbono elemental, es decir, como carbón vegetal, grafito o carbón.
	***Capacidad de intercambio catiónico (CIC)*:** de acuerdo con Chapman (Malagón y Montenegro, 1990), los cationes retenidos en la superficie de minerales del suelo y dentro del enrejado cristalino de algunos minerales y los que hacen parte de ciertos compuestos orgánicos pueden ser reversiblemente reemplazados por los de las soluciones salinas y ácidas. La suma de estos cationes se define como la capacidad de

Criterio	Variables
	intercambio catiónico y usualmente se expresa en miliequivalentes por 100 gramos de suelo, centimoles por kilogramo de suelo o milimoles de carga por kilogramo de suelo o del material edáfico al que se le determinó.
***Toxicidad por sales, sodio y aluminio*:** presencia de elementos en el suelo en concentraciones mayores a las requeridas, que son tóxicas para las especies forestales y restringen tanto el crecimiento de las plantas como la producción de madera. Además, produce efectos adversos sobre algunas propiedades de los suelos.	***Salinidad y sodicidad*:** contenido alto de sales solubles o sodio intercambiable en el suelo. El contenido de sales se determina normalmente en términos de conductividad eléctrica (CE), pero puede expresarse con cantidad o porcentaje de sales en el suelo o en cantidad de aniones en la fracción de cambio. El sodio se determina como el porcentaje de sodio intercambiable (PSI).
	***Saturación de aluminio*:** proporción de iones de aluminio (Al^{+++}) en el complejo de cambio y en la solución del suelo. Se debe a la mezcla de iones de aluminio y de hidrógeno (H^{+}) intercambiables (desplazables) con una sal neutra (KCl). También incluye pequeñas cantidades de hierro, manganeso y zinc intercambiables (Garavito, 1979).
***Condiciones de enraizamiento*:** conjunto de características físicas del suelo que permiten el buen desarrollo del sistema radicular de la especies forestales que lleva a la formación adecuada de los árboles.	***Profundidad efectiva*:** espacio en el que las raíces de las plantas pueden penetrar sin mayores restricciones para conseguir el agua y los nutrientes indispensables. También se define como el total de la profundidad del perfil del suelo que es favorable para el desarrollo de las raíces (Klingebiel & Montgomery, 1961).
	***Textura*:** proporciones relativas de las partículas o fracciones de arena, limo y arcilla en la *tierra fina* del suelo, es decir, en la tierra tamizada y con diámetro inferior a dos milímetros (Malagón y Montenegro, 1990). Se relaciona con la resistencia que se ejerce sobre el crecimiento de las raíces.
	***Pedregosidad*:** fragmentos de roca de dos o más milímetros de diámetro. Se reconocen, de acuerdo con su tamaño, como *grava*, *guijarro*, *piedra* y *bloques* (Forbes, Rossiter & Wambeke, 1987).
***Disponibilidad de oxígeno*:** cualidad que indica las condiciones de aireación del suelo. Cuando el suelo está libre de saturación de agua, los poros permiten la libre circulación del dióxido de carbonbo hacia la atmósfera y la entrada del oxígeno del exterior.	***Susceptibilidad de inundaciones*:** desbordamiento del agua fuera de los confines normales de un río o cualquier masa de agua. También se entiende como la acumulación de agua procedente de drenajes en zonas que normalmente no se encuentran anegadas (Organización Meteorológica Mundial [OMM] y Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [Unesco], 2012).
	***Drenaje natural*:** rapidez y grado de evacuación del agua del suelo por la escorrentía y el flujo a través de los espacios

Criterio	Variables
	subterráneos (Klingebiel & Montgomery, 1961). El drenaje natural combina los drenajes tanto internos como externos del suelo, de acuerdo con la relación que existe entre la pendiente, la escorrentía, la infiltración, las evidencias de procesos de óxido-reducción y los colores *gley*, de acuerdo con la profundidad a la cual aparece el nivel freático (Cortés y Malagón, 1984).
***Disponibilidad de humedad*:** capacidad que tienen los suelos, en condiciones naturales, de almacenar y suministrar agua para las plantas en cantidades suficientes para el desarrollo.	***Régimen de humedad*:** presencia o ausencia de un manto freático o agua retenida a una tensión inferior a 1500 kilopascales en el suelo o en horizontes específicos por periodos de un año. El agua retenida a una tensión de 1500 kilopascales o más no está disponible para mantener con vida la mayoría de las plantas mesófilas (Soil Survey Staff, 2014).
	***Textura*:** proporciones relativas de las partículas o fracciones de arena, limo y arcilla en la *tierra fina* del suelo, es decir, en la tierra tamizada y con diámetro inferior a dos milímetros (Malagón y Montenegro, 1990).
***Capacidad de laboreo*:** condiciones del terreno para preparar un sitio que permita establecer el cultivo para el posterior desarrollo, mantenimiento y producción. Las labores pueden efectuarse de forma manual, con tracción animal o mecanizada (FAO, 2022a).	***Pendiente*:** grado de inclinación de una superficie desde la horizontal, generalmente expresada en porcentaje o grados (SSSA, 2018).
	***Textura*:** proporciones relativas de las partículas o fracciones de arena, limo y arcilla en la *tierra fina* del suelo, es decir, en la tierra tamizada y con diámetro inferior a dos milímetros (Malagón y Montenegro, 1990). Se relaciona con la resistencia que ejerce el suelo en las labores del cultivo.
	***Pedregosidad*:** fragmentos de roca de dos o más milímetros de diámetro. Se reconocen, de acuerdo con su tamaño, como *grava*, *guijarro*, *piedra* y *bloques* (Forbes, Rossiter & Wambeke, 1987). Para fines prácticos de manejo de suelos, se toma la dimensión de fragmentos de roca mayores a 7,6 centímetros de diámetro, que incluyen guijarros, piedras y bloques.
***Susceptibilidad a la pérdida de suelos*:** grado de vulnerabilidad de las tierras a ser afectadas por los agentes erosivos. Aunque suele ser un proceso natural, puede incrementarse con el uso inadecuado del suelo, lo cual	***Fases por grado de erosión*:** desgaste actual de la superficie de la tierra por el desprendimiento y transporte del suelo y de los materiales de roca a través de la acción del agua en movimiento, viento u otros agentes geológicos (Klingebiel & Montgomery, 1961).
	***Degradación de suelos por erosión*:** pérdida de la capa superficial de la corteza terrestre por acción del agua o el viento, que es mediada por los seres humanos y trae

Criterio	Variables
origina una disminución de la productividad (FAO, 1976).	consecuencias ambientales, sociales, económicas y culturales (Ideam, 2015).
	Pendiente: grado de inclinación de una superficie desde la horizontal, generalmente expresada en porcentaje o grados (SSSA, 2018).
	***Amenaza por movimientos en masa*:** Peligro latente de movimientos en masa de origen natural, o inducidos por la acción humana de modo accidental, en función de probabilidad de ocurrencia espacial y temporal (Servicio Geológico Colombiano [SGC], 2023).

Fuente: Elaboración propia.

3.1.2. Criterios socioecosistémicos

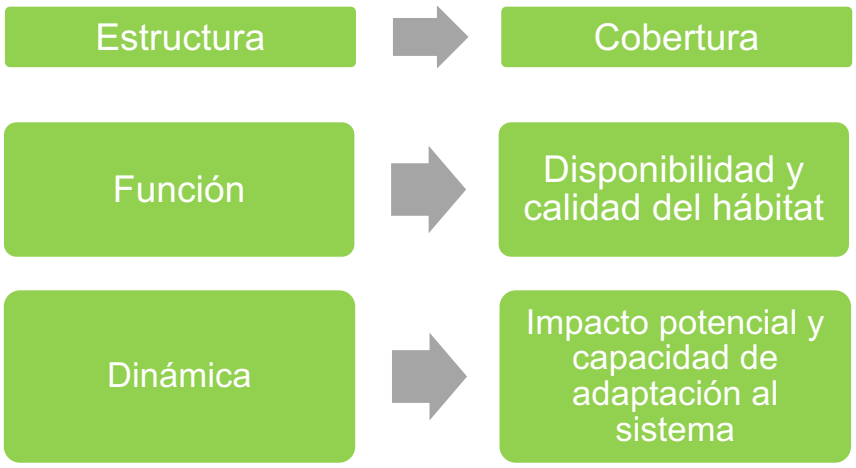
El enfoque socioecosistémico considera la biodiversidad, los bienes y los servicios ecológicos vinculados a los sistemas sociales, donde el hombre, la sociedad y la cultura, como componentes centrales de los ecosistemas, modelan y se adaptan a los cambios en la naturaleza. Es un enfoque cuyas estrategias de gestión deben considerar tanto la dinámica en las escalas de la organización biológica como en las interacciones entre los sistemas ecológicos y sociales. De esta manera, el objeto último del enfoque socioecosistémico es el uso sostenible de los bienes y servicios de los ecosistemas y el mantenimiento de la integridad ecológica como paradigma de conservación para el bienestar humano (MADS, 2012; Martín-López *et al*., 2009, como se citaron en UPRA, 2014).

En la zonificación de aptitud de las veinte especies forestales el enfoque genera estructura los componentes de análisis para el mantenimiento del capital natural —biodiversidad, integridad ecológica y prestación de bienes y servicios ambientales— de una forma equitativa-. Para ello, incluye la sociedad, la economía y la cultura, sin sesgar el desarrollo de nuevas actividades por una conservación a ultranza o por puntos de vista totalmente desarrollistas y utilitaristas. La aptitud de la tierra desde la visión socioecosistémica se entiende como la adaptabilidad de un territorio para una actividad dada, por lo que la zonificación de aptitud se establece en estrecha relación con el potencial de uso del establecimiento de plantaciones forestales, sin que esta actividad represente un generador de deterioro frente a los intereses de protección y conservación de la biodiversidad.

Para determinar este potencial, se identificaron algunos atributos ecosistémicos y paisajísticos a escala nacional 1:100.000, cuya simplicidad, alto valor predictivo y síntesis

permitieron obtener una interpretación desde una visión sistémica de la estructura, función y dinámica ecológica (ver Figura 9).

Figura 9. Relación entre los atributos y los criterios de la estructura, la función y la dinámica para la interpretación socioecosistémica



Fuente: UPRA, 2014.

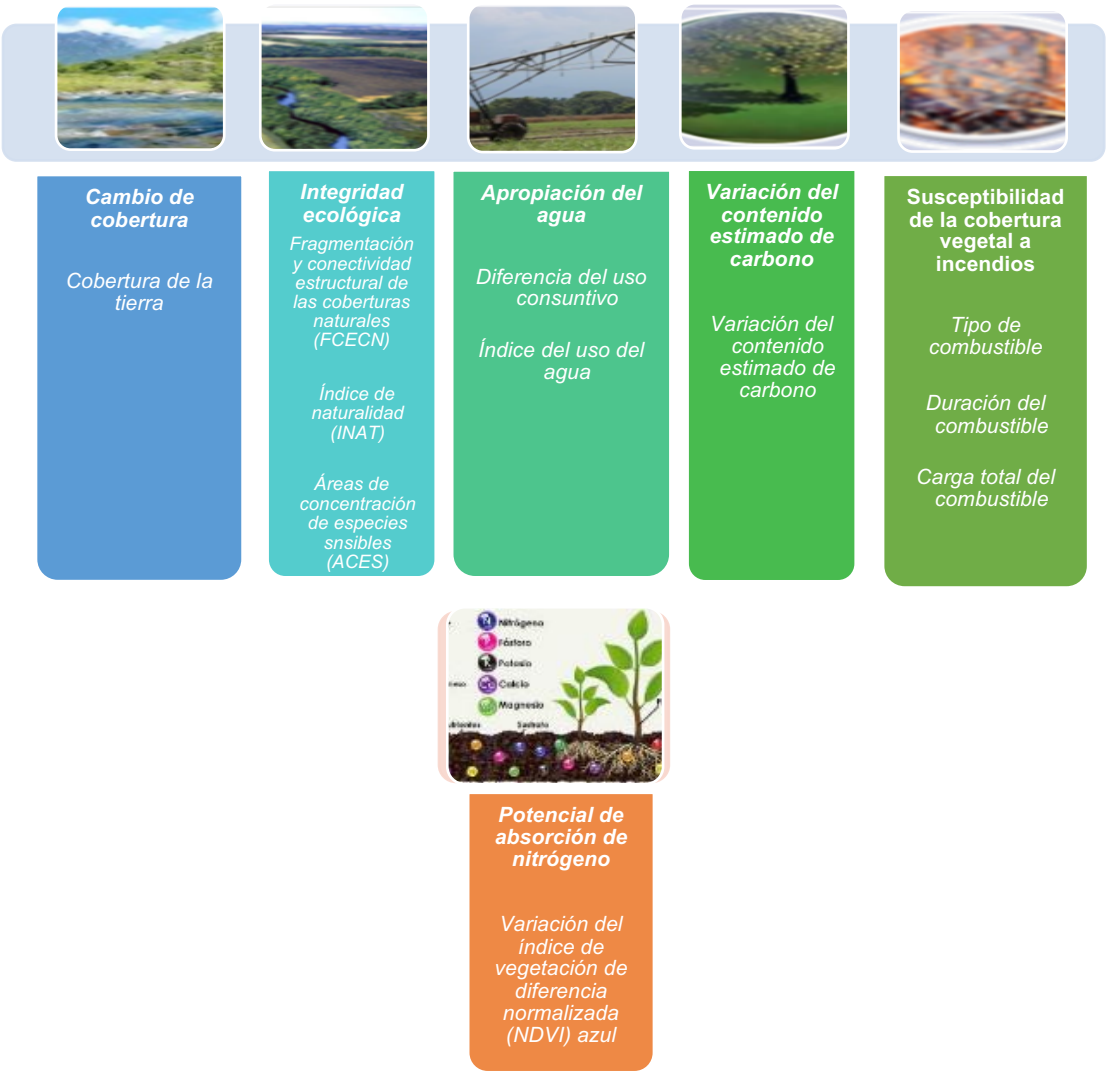
Los atributos se evaluaron a partir de los siguientes criterios: *cobertura de la tierra* (estructura); *integridad ecológica* (función); *apropiación del agua* (dinámica); *variación del contenido estimado de carbono* (dinámica); y *susceptibilidad de la cobertura vegetal a incendios*. Para las plantaciones comerciales de *Acacia mangium*, se consideró, además, el potencial de absorción de nitrógeno, por tratarse de una especie de la familia *fabaceae*.

Desde el componente socioecosistémico, la aptitud representó el potencial del territorio para desarrollar y mantener plantaciones forestales. En las áreas con mayor aptitud, la actividad productiva genera un menor impacto en los bienes y servicios que proveen los ecosistemas o contribuya a mejorarlos. De tal modo, este componente aportó a la zonificación de aptitud una mirada desde la estructura, función y dinámica ecológica de las coberturas introducidas en paisajes culturales y en áreas con mosaicos de transformación de sus coberturas naturales. Al igual que los criterios del componente físico, permitió definir si un territorio presentaba o no aptitud para el desarrollo de las especies forestales.

Este enfoque abordó tres grupos: el de criterios, denominados *factores*, que delimitaron áreas de aptitud; el que condiciona, por causas legales, el uso de un área para establecer plantaciones; y el que excluye, por causas legales, cualquier actividad forestal. Para este

componente, se identificaron cinco criterios y las respectivas variables aplicadas en la definición de la aptitud. Para *Acacia mangium*, se consideró un criterio adicional: *potencial de absorción de nitrógeno*, por tratarse de una fabácea (ver Figura 10 y Tabla 10).

Figura 10. Criterios y variables del componente socioecosistémico



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. Definición de criterios y variables del componente socioecosistémico

Criterio	Variables
***Integridad ecológica*:** capacidad del ecosistema de soportar y mantener su capital natural sin degradarse y de funcionar permanentemente de forma saludable o apropiada como condición indispensable para la prestación, la regulación y el flujo de servicios ecosistémicos requeridos para la sostenibilidad de los sistemas productivos y del territorio (Ciontescu, 2012). La integridad ecológica (IE) es un estimador de la calidad ambiental, útil en la planificación y toma de decisiones para la conservación. Se define como la «habilidad de un ecosistema para soportar y mantener una comunidad, balanceada y adaptada, de organismos con una composición de especies, diversidad y organización funcional comparable con aquella de los hábitats naturales en una región». Constituye una medida del funcionamiento permanente saludable o apropiado de los ecosistemas en un territorio y de la provisión continuada tanto de recursos naturales como de servicios ecosistémicos autogenerados y autosostenibles. Por lo tanto, vincula el bienestar humano actual y futuro con el cuidado de la tierra y de los ecosistemas como hábitat de las especies (Mackey, 2005; Ciontescu, 2012).	***Fragmentación y conectividad estructural de las coberturas naturales (FCECN)*:** heterogeneidad espacial del paisaje para determinar la existencia de barreras en el territorio que limiten o impriman mayor costo para el flujo de la biodiversidad y los bienes y servicios ecosistémicos. Por lo tanto, contribuye a estimar la sostenibilidad ambiental mediante la favorabilidad del hábitat para el desplazamiento de la biodiversidad y el mantenimiento tanto de poblaciones animales vegetales como de flujos viables. ***Índice de naturalidad (INAT)*:** proporción de la superficie ocupada en la unidad biogeográfica por las coberturas asociadas a procesos naturales, como coberturas vegetales silvestres, cuerpos de agua, áreas húmedas o superficies de recarga hídrica. Tales procesos garantizan no sólo el funcionamiento natural y sostenible de los procesos vitales del sistema, sino también el abastecimiento a procesos productivos. ***Áreas de concentración de especies sensibles (ACES)*:** lugares donde se concentran especies sensibles y se han establecido mediante indicadores, como la densidad, en polígonos definidos como áreas prioritarias para la conservación (APC) o la riqueza de especies migratorias en áreas críticas sobre agroecosistemas. Se integran las áreas de importancia para la conservación de aves silvestres (AICAS), de forma que cuanto mayor sea la concentración de estas especies, dada su sensibilidad, tanto más podría disminuir la aptitud de ciertas plantaciones forestales. En tal sentido, los procesos productivos presionan sobre los procesos que sostienen las poblaciones de interés. Por el contrario, en áreas donde la concentración de estos elementos de la biodiversidad es baja, la aptitud para el establecimiento y desarrollo de las plantaciones es mayor.

Criterio	Variables
***Apropiación del agua*:** cantidad de agua que es retenida del flujo de la cuenca para satisfacer la demanda de plantaciones forestales, tanto para el crecimiento como para la materia prima del sustento de la plantación. De esta agua captada por el cultivo, una parte queda contenida en la biomasa de la especie; otra retorna a la cuenca como excesos o menores rendimientos de aprovechamiento del agua; y otra se pierde en el balance hídrico de la cuenca, porque queda contenida en el producto que se exporta para el aprovechamiento vía evapotranspiración de las plantaciones.	***Diferencia del uso consuntivo***: requerimiento de agua neta para el establecimiento de un cultivo que partiendo del agua contenida en el suelo y que está disponible para la cobertura vegetal (Ideam, 2010). Es decir: para esta variable no se tiene en cuenta el agua que alimenta los acuíferos superficiales o subterráneos (UPRA, 2016). Este uso consuntivo abarca la totalidad de agua requerida por un cultivo determinado para realizar la evapotranspiración y la construcción celular, desde la siembra hasta la cosecha, en un régimen climático específico.
	Diferencia del uso del agua: cantidad de agua que es retenida del flujo de la cuenca para satisfacer la demanda de las plantaciones forestales, tanto para el crecimiento como para la materia prima del sustento de la plantación. De esta agua captada por la plantación, una parte queda contenida en la biomasa de la especie; otra retorna a la cuenca como excesos o menores rendimientos de aprovechamiento del agua; y otra se pierde en el balance hídrico de la cuenca, porque queda contenida en la producción de biomasa aérea o vía evapotranspiración del cultivo.
***Variación del contenido estimado de carbono*:** estimación del contenido de carbono calculado como balance resultante entre emisiones de dióxido de carbono y la captura de carbono, que se generarían por el desarrollo de plantaciones forestales en zonas con aptitud para implementarse en el país. Con base en esto, uno de los ejes de atención corresponde a los efectos ambientales de las actividades agropecuarias sobre la dinámica de captura y emisión de carbono.	***Variación del contenido estimado de carbono*:** determinación de la sostenibilidad ambiental de un territorio en términos de la prestación del servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono. De forma complementaria, esta estimación permite incorporar elementos de competitividad ambiental y económica, pues se puede articular a los esfuerzos nacionales e internacionales de reducción de gases de efecto invernadero que pretenden disminuir la huella de carbono.
***Cambio de cobertura*:** define la favorabilidad o no del cambio de la cobertura actual frente a la cobertura de la plantación forestal. La cobertura de la tierra puede definirse como el recubrimiento biofísico que se observa sobre la superficie de la tierra y describe la vegetación y elementos antrópicos existentes. La cobertura de la tierra y los cambios que ocurren enella son fundamentales para un gran número de procesos físicos del planeta. Este criterio es el resultado de la interacción de factores físicos, económicos, tecnológicos, institucionales y culturales que operan en escalas	

<table>
<tr><th>Criterio</th><th>Variables</th></tr>
<tr><td colspan="2">espacio-temporales y que se correlacionan con procesos en los ecosistemas y en las poblaciones biológicas. Cualquier tipo de cambio de cobertura que ocurra por las actividades humanas incide en cambios en la productividad primaria, la diversidad biótica, la sedimentación y los flujos de materia y energía en los ecosistemas, incluyendo las emisiones de gases de efecto de invernadero y el ciclo hidrológico. En otras palabras, las coberturas son el resultado de la asociación espacio-temporal de elementos naturales y sociales característicos.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Susceptibilidad de la cobertura vegetal a incendios: conjunto de características intrínsecas de la vegetación y los ecosistemas asociados a la carga de combustibles, a la disposición y a la combustibilidad que tienen cierto grado de probabilidad de incendiarse, así como de propagar y mantener el fuego. Se evalúa al identificar y valorar la condición pirogénica de la vegetación.</td><td>Condiciones de pirogenicidad de las coberturas: caracterización de la condición pirogénica de la vegetación, conocida como modelo de combustibles, que define qué tan probable es que un determinado tipo de cobertura vegetal pueda encenderse, dada su capacidad de ignición.</td></tr>
<tr><td>Influencia del fuego sobre los ecosistemas: diferenciación de los ecosistemas de acuerdo con los regímenes de fuegos. Los ecosistemas se pueden describir según los regímenes de fuego típicos, los cuales actúan en un rango deseado de variación de las características específicas de los regímenes de incendios.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Potencial de absorción de nitrógeno: comparación del aporte de nitrógeno de la cobertura actual frente a una plantación forestal, en este caso, de Acacia mangium. La producción de cultivos se encuentra fuertemente ligada al nitrógeno, debido a que la cantidad de este elemento en las hojas responde a la intensidad del proceso fotosintético (Salvagiotti et al., 2009). Por tanto, el nitrógeno es un limitante en el crecimiento y rendimiento de diversos agroecosistemas.</td></tr>
</table>

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3 Criterios socioeconómicos

La *competitividad* es la capacidad de producir bienes y servicios de mayor calidad y menor precio frente a otros productores domésticos e internacionales. Se define por la productividad con la que un país utiliza sus recursos humanos, económicos y naturales. Es decir: la productividad depende tanto del valor de los productos y servicios de un país —medido por los precios que se pagan por ellos en los mercados libres— como de la eficiencia con la que pueden producirse (Porter, 1980; 1985). La competitividad constituye el factor determinante del modelo de desarrollo del sector agropecuario, pues no sólo se configura como la condición de viabilidad de los productos en el mercado, sino que también genera oportunidades sostenibles para los habitantes del campo (DNP, 2010).

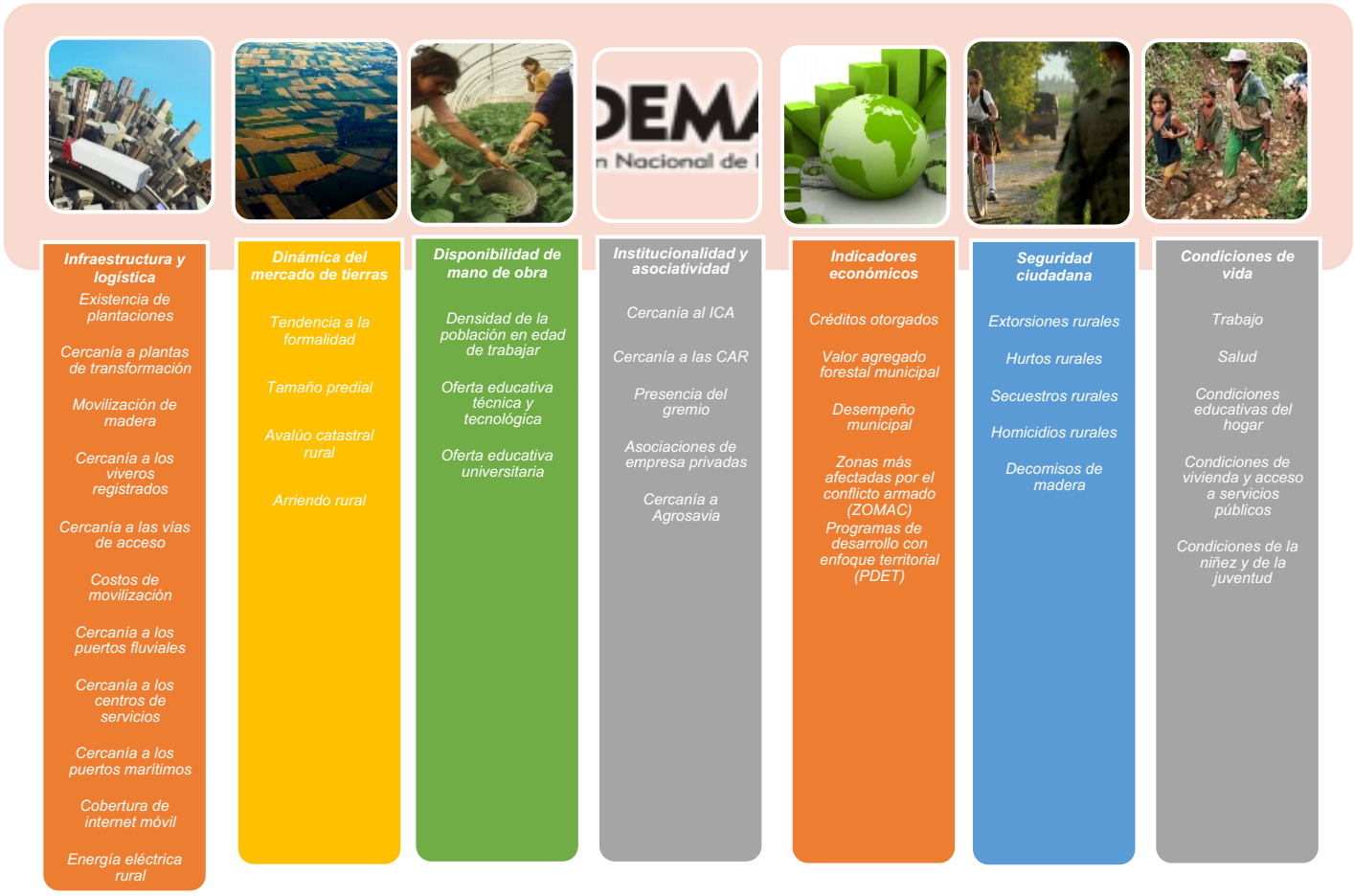
La sostenibilidad y el crecimiento de la competitividad dependen del uso eficiente de los factores de producción; de la consolidación de la innovación en los sistemas productivos; de

la diversificación y ampliación de los mercados; y de la articulación tanto de los mercados regionales como de la población rural para desarrollar el potencial productivo y elevar la calidad de vida. En relación con la zonificación de aptitud forestal, la competitividad se expresa como la capacidad de una región de generar las condiciones de producción que promuevan el desarrollo sostenido de la producción forestal. Con ello, es posible mejorar permanentemente las condiciones de vida y bienestar de los habitantes de esa región y, sobre todo, de los productores.

De acuerdo con la definición planteada, la competitividad de las plantaciones forestales implica un proceso que contempla los requerimientos y condiciones multidimensionales para desarrollar la producción de esta actividad, los cuales se conforman comocriterios y variables estructurales que conducen hacia la competitividad, cuyo logro se traduce en mejores condiciones de vida para las comunidades. Un mercado competitivo significa mejores vías terrestres; precios y condiciones favorables de la tierra; seguridad pública estable; mercado laboral disponible y con buena mano de obra calificada y no calificada; generación de riqueza y apalancamientos financieros. Estos beneficios redundarán tanto en el productor forestal como en las comunidades locales y representarán mejores condiciones de vida.

Al inversionista de plantaciones forestales puede serle indiferente si invierte en un sitio con mejores o peores condiciones de vida, pero su inversión sí beneficiará a la comunidad local. En consecuencia, el impacto socioeconómico causado por los proyectos de las plantaciones forestales en Colombia interesa a las agencias del Gobierno y a los productores con responsabilidad social. En la Figura 11 y en la Tabla 11 se muestran los criterios y las variables del componente socioeconómico.

Figura 11. Criterios y variables del componente socioeconómico



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. Criterios y variables del componente socioeconómico

Criterio	Variables
***Infraestructura y logística*:** conjunto de medios técnicos, bienes, servicios e instalaciones necesarios para el desarrollo de las actividades de producción,	***Existencia de plantaciones*:** predios georeferenciados con plantaciones forestales y el respectivo colindante. Este último es únicamente el predio de propiedad privada, no tiene exclusiones para el mercado de tierras y está destino económicamente a la actividad agropecuaria.

Criterio	Variables
comercialización y distribución forestal.	***Cercanía a las plantas de transformación*:** facilidad con la que se puede alcanzar las plantas transformadoras desde un punto del territorio, donde se obtiene el producto en rolliza, aserrado, aglomerado, en bioenergía y pulpa, papel y cartón.
	***Movilización de madera*:** cercanía del predio y del colindante a las vías primarias, secundarias y terciarias que hay en el país; y accesibilidad a las rutas terrestres para el movimiento de madera de un lugar a otro. Sintetiza la facilidad de desplazamiento del aparato productivo para el transporte de madera.
	Cercanía a los viveros registrados: facilidad con la que se puede alcanzar instalaciones que garanticen material vegetal certificado por entidades fitosanitarias de carácter nacional. Los viveros registrados corresponden al conjunto de instalaciones cuyo propósito es la producción de material vegetativo, lo cual constituye el mejor medio para seleccionar, producir y propagar plántulas sanas y de buena calidad.
	***Cercanía a las vías*:** estructura diseñada para el tráfico de vehículos, personas y animales para establecer la conexión entre poblados, comunidades urbanas y sitios de interés. Se clasifica en seis tipos de vía que cumplen con características de estado de superficie, número de carriles y accesibilidad.
	Costos de movilización: valor a pagar por el desplazamiento de una carga en un medio de transporte terrestre de un lugar a otro. El tipo de transporte que se tuvo en cuenta para la presente zonificación fue una tractomula de 40 toneladas, ideal para transportar mercancía pesada.
	***Cercanía a los puertos fluviales*:** facilidad con la que se puede alcanzar un puerto fluvial desde otros puntos en el territorio. Sintetiza la viabilidad de desplazamiento del aparato productivo, dado que ofrece al productor una opción de transporte adicional a la terrestre que puede incidir positivamente en los costos de transporte de carga.
	***Cercanía a los centros de servicios*:** facilidad con la que se puede alcanzar áreas con oferta de bienes y servicios para abastecer las necesidades de la producción forestal. El centro de servicios contiene poblaciones con más de 30.000 habitantes y sintetiza sus oportunidades de contacto e interacción.
	Cercanía a los puertos marítimos: facilidad con la que se puede acceder a un puerto marítimo desde otros puntos en el territorio. Evidencia las facilidades de desplazamiento del aparato productivo hasta los puertos marítimos para realizar operaciones de comercio internacional.

Criterio	Variables
	***Cobertura de internet móvil*:** cubrimiento del servicio de internet móvil en Colombia. La cobertura se obtuvo a partir de los datos del inventario de infraestructura de antenas de servicio móvil de la Agencia Nacional de Espectro (ANE) y el tipo de tecnología de los centros poblados emitido por el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.
	***Energía eléctrica rural*:** condiciones en las que se presta el servicio público de energía eléctrica a nivel municipal. El servicio público de energía eléctrica consiste en la generación, comercialización, interconexión, transmisión y transporte desde redes regionales de transmisión hasta el domicilio del usuario final, incluida la conexión y la medición.
***Dinámica del mercado de tierras*:** situación y comportamiento de los municipios en torno a la dinámica de la tierra a partir de cuatro variables que permiten comprender la capacidad y los limitantes del acceso a la tierra para la producción agropecuaria. Muestra el impacto del tamaño, la formalidad, el arriendo y el precio de los predios a través del avalúo catastral como un *proxi* de su tendencia con el fin de focalizar las posibles inversiones en favor del acceso a la tierra para la producción forestal.	***Tendencia a la formalidad*:** conjunto de situaciones inmobiliarias, técnicas y jurídicas sobre la propiedad de los predios tanto públicos como privados que proporciona seguridad jurídica según el principio constitucional del derecho a la propiedad privada.
	***Tamaño predial rural*:** superficie de terreno en rangos de tamaños definidos de acuerdo con el comportamiento medio de la plantación forestal y las dimensiones consideradas óptimas para una productividad competitiva.
	***Avalúo catastral rural*:** determinación, por entidad pública competente, del valor de los predios obtenido mediante investigación y análisis estadístico del mercado inmobiliario. Se determina por la adición de los avalúos parciales practicados independientemente para los terrenos y las edificaciones en él comprendidos (Resolución 0070 de 2011, Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]).
	***Arriendo rural*:** valor del pago en dinero, establecido de manera conjunta por el propietario, quien concede el goce de un predio por un tiempo determinado, y el arrendatario, quien paga por este goce un precio definido.
***Institucionalidad y asociatividad*:** presencia institucional del Estado, de los gremios o de las organizaciones de base de la cadena productiva forestal, cuyo apoyo conduce a la competitividad de una región. Identifica condiciones internas y externas	***Cercanía al ICA*:** facilidad con la que se puede alcanzar, desde otros puntos en el territorio, una sede del ICA. La función de esta entidad oficial consiste en elevar el estatus sanitario para mejorar las condiciones de inocuidad de la producción agroalimentaria nacional y aumentar la competitividad de las actividades agropecuarias y forestales.
	***Cercanía a las CAR*:** facilidad con la que se puede alcanzar, desde otros puntos en el territorio, una oficina de la autoridad ambiental regional. El productor forestal debe contar con la concesión de agua,

Criterio	Variables
a la cadena cuanto a la oferta institucional y al fortalecimiento y a la consolidación del sector forestal.	superficial o subterránea, y con las autorizaciones, que son competencia de las CAR de acuerdo con la Ley 99 de 1993.
	***Presencia del gremio*:** facilidad con la que se puede alcanzar, desde otros puntos del territorio, una sede de Fedemaderas y los puntos de atención en las zonas con plantaciones forestales. Es la presencia e influencia de organizaciones gremiales o de base del sector.
	***Asociaciones de empresas privadas*:** mecanismo de vinculación de capital privado para llevar a cabo investigaciones en temas forestales, principalmente, fitosanitarios.
	***Cercanía a Agrosavia*:** facilidad con la que se puede alcanzar, desde otros puntos en el terriorio, un centro de Agrosavia. La función de esta entidad consiste en desarrollar y ejecutar actividades de investigación, tecnología y transferencia de procesos de innovación tecnológica en el sector agropecuario.
***Disponibilidad de mano de obra*:** condiciones que afectan la disponibilidad de mano de obra con base en la densidad poblacional a nivel municipal. Tiene en cuenta el nivel de cualificación y las posibilidades de acceso a programas de formación académica, de acuerdo con las necesidades de los productores forestales.	***Densidad de la población en edad de trabajar*:** número de personas de las zonas rurales de los municipios en edad de trabajar por kilómetro cuadrado frente a las necesidades técnicas del cultivo.
	***Oferta educativa técnica y tecnológica*:** cercanía a los programas de educación técnica y tecnológica relacionados con la producción agrícola y forestal.
	***Oferta educativa universitaria*:** cercanía a los programas de pregrado relacionados con la producción forestal.
***Indicadores económicos*:** grado de endeudamiento e incentivos tributarios de las zonas más afectadas por el conflicto armado y la contribución de este renglón tanto a la generación del valor agregado como al apalancamiento económico en los municipios.	***Valor agregado forestal municipal*:** aproximación al valor generado por actividades forestales en un municipio en función de la importancia relativa en el departamento.
	***Créditos otorgados*:** valor, a precios de 2021, de los créditos otorgados desde el año 2017 a nivel municipal para el desarrollo y mejora de la producción forestal. Están dirigidos a personas naturales o jurídicas para construir o mejorar los procesos de producción o de comercialización, colocados en condiciones preferenciales por Finagro, a través de la banca comercial con presencia en los territorios. Se utilizan para apalancar el capital de trabajo y los proyectos de inversión. Las líneas especiales Finagro están subsidiadas en tasa de interés y respaldadas por el Fondo Agropecuario de Garantías (FAG).
	***Zonas más afectadas por el conflicto armado (ZOMAC)*:** estímulo tributario que se aplica a las zonas más afectadas por el conflicto

Criterio	Variables
	armado, las cuales están constituidas por 344 municipios considerados como los más afectados por la violencia.
	***Programas de desarrollo con enfoque territorial (PDET)*:** instrumento especial de planificación y gestión a 15 años, a partir del 2017, cuyo objetivo consiste en estabilizar y transformar territorios más afectados por la violencia, la pobreza, las economías ilícitas y la debilidad institucional para lograr el desarrollo rural que requieren los 170 municipios identificados.
	***Desempeño municipal*:** medición y comparación del desempeño municipal de las entidades territoriales. Se entiende como la capacidad de gestión y resultados de desarrollo —el aumento de la calidad de vida de la población— que considera las capacidades iniciales para incentivar una mejor gestión, la calidad del gasto y la inversión orientada a resultados.
***Seguridad ciudadana*:** busca mostrar dónde las personas pueden vivir libres de la violencia y el delito; dónde ocurre el peligro o las afectaciones a la integridad física; y dónde hay riesgo de la pérdida de la libertad y del patrimonio por acciones fuera de la ley.	***Extorsiones rurales*:** consiste en obligar a una persona, con el uso de violencia o intimidación, a realizar u omitir un acto o negocio jurídicos con ánimo de lucro y con la intención de producir un perjuicio patrimonial. La persona que realiza estas actividades delictivas está definida en el Código Penal como «El que constriña a otro a hacer, tolerar u omitir alguna cosa, con el propósito de obtener provecho o cualquier utilidad o beneficio ilícito, para sí o para un tercero».
	***Hurtos rurales*:** consiste en apoderarse de una cosa mueble ajena con el propósito de obtener provecho para sí o para otro. Se estima que existe *hurto calificado* en la medida en que se realice con violencia sobre las cosas; dejando la víctima en condiciones de indefensión o inferioridad; o aprovechándose de estas condiciones. Es *hurto rural* si se comete a través de la penetración o permanencia arbitraria, engañosa o clandestina en un lugar habitado o en las dependencias inmediatas, aunque no se encuentren los moradores; o con escalamiento, con llave sustraída o falsa, ganzúa o cualquier otro instrumento similar; o al violar o superar la seguridad electrónica o semejantes.
	***Secuestros rurales*:** consiste en detener ilegalmente a una o más personas en contra de su voluntad, mediante el empleo de la fuerza, las amenazas, el engaño o el incentivo con el propósito de exigir una ganancia ilícita o económica a cambio de la liberación de la persona secuestrada; o para obligar a alguien a hacer o a no hacer algo (Ley 599 de 2000).

Criterio	Variables
	***Homicidios rurales*:** La palabra *homicidio* deriva del vocablo latino *homicidium*, y que refiere a la muerte de un ser humano causada por otra persona. El término, por lo tanto, puede utilizarse como sinónimo de asesinato o crimen. El homicidio se define como «supresión por conducta del agente (agresor), de una vida humana (tipicidad), sin justificación jurídicamente atendible (antijuridicidad), en forma intencional o dolosa, o con culpa o preterintencional (culpabilidad)».
	***Decomisos de madera comercial*:** privación de manera definitiva de la tenencia o la propiedad de bienes muebles no sujetos a registro, utilizados por una persona en comportamientos contrarios a las normas de convivencia mediante acto motivado (Ley 1801 de 2016). Los bienes decomisados podrán ser donados o rematados de conformidad con la reglamentación legal.
***Condiciones de vida*:** grado de privación de los hogares rurales en las dimensiones que abarcan la medición de la pobreza multidimensional. Usa indicadores a nivel municipal que permiten determinar la naturaleza de la privación, su intensidad y profundidad. Este índice permite observar patrones de privaciones distintos a los medidos por la pobreza monetaria (DNP, 2014). Se considera que el hogar es pobre multidimensionalmente si presenta privaciones en al menos el 33 % de las diez variables.	***Trabajo*:** promedio de los porcentajes de hogares de los centros poblados y rurales dispersos de municipios con privaciones combinadas en los indicadores *trabajo informal* y *tasa de dependencia*.
	***Salud*:** limitaciones de salud en las zonas rurales manifestadas en las barreras de acceso a este servicio y a las zonas sin aseguramiento en salud.
	***Condiciones educativas del hogar*:** porcentaje de hogares de los centros poblados y rurales dispersos con privaciones combinadas en las variables *analfabetismo* y *bajo logro educativo*.
	***Condiciones de vivienda y acceso a servicios públicos*:** condiciones habitacionales de los pobladores en las zonas rurales, para lo cual se entrelaza la información de los indicadores *hacinamiento crítico*, *eliminación de excretas*, *paredes y pisos inadecuados* y *limitación al acceso de agua mejorada*.
	***Condiciones de la niñez y de la juventud*:** porcentaje de hogares de las zonas rurales con privaciones combinadas en las variables *barreras de acceso a servicios para cuidado de la primera infancia*, *trabajo infantil*, *inasistencia* y *rezago escolar*.

Fuente: Elaboración propia.

A partir del componente socioeconómico, las variables se clasificaron solamente en tres categorías de aptitud: *alta* (A1), *media* (A2) y *baja* (A3). Ninguna de ellas se clasificó como *no apto* (N1), dado que la mayoría de las variables analizadas fueron índices sintéticos cuya variación responde a factores exógenos.

3.3. Rangos de aptitud y exclusiones técnicas

Para efectos de la zonificación de aptitud de veinte especies forestales con fines comerciales en Colombia a escala 1:100.000, se tomaron como referencia las categorías que la UPRA ha empleado en los ejercicios de zonificación desarrollados hasta el año 2020. Éstas corresponden a las categorías *aptitud alta* (A1), *aptitud media* (A2), *aptitud baja* (A3) y *no apto* (N1), además de tener en cuenta las categorías de exclusiones legales y condicionantes legales (ver Tabla 12).

Tabla 12. Categorías para la zonificación de aptitud de cultivos comerciales

Clase		Definición de la zona
Apto	Alta (A1)	Zona con las mejores condiciones desde los puntos de vista físico, socioecosistémico y socioeconómico.
	Media (A2)	Zona con limitaciones moderadas de tipo físico, socioecosistémico o socioeconómico.
	Baja (A3)	Zona con fuertes limitaciones de tipo físico, socioecosistémico o socioeconómico, las cuales podrían adecuarse con grandes inversiones o el desarrollo de nuevas tecnologías.
No apto (N1)		Zona con restricciones físicas y socioecosistémicos que imposibilitan el desarrollo de la actividad.
Exclusión legal (N2)		Zona que, por mandato legal, no se permite el desarrollo de la actividad productiva.
Condicionante legal		Zona en la que, independientemente de la categoría de aptitud, se requiere de un análisis complementario de tipo social, cultural o ambiental para el desarrollo de la actividad productiva.

Fuente: UPRA, 2016.

3.3.1 Criterios y variables del componente físico

Desde el componente físico, se definieron no sólo las áreas de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3), sino también las de exclusión técnica (N1), cuyos requerimientos específicos para las plantaciones forestales, en cuanto al clima y a los suelos, presentaron restricciones que imposibilitan el desarrollo de la actividad. A continuación, se enuncian los rangos de aptitud para calificar el componente físico y las respectiva exclusiones técnicas (N1) para los subcomponentes climático (ver Tabla 13) y edáfico (ver tablas 14 a 20). Estos rangos permiten diferenciar las veinte especies forestales seleccionadas, a saber: *Acacia mangium*; *Eucalyptus pellita*; *Eucalyptus tereticornis*; *Eucalyptus urograndis*; *Eucalyptus urophylla*;

Gmelina arborea; *Pinus caribaea*; *Tectona grandis*; *Bombacopsis quinata*; *Tabebuia rosea*; *Ochroma pyramidale*; *Eucalyptus camaldulensis*; *Pinus tecunumanii*; *Cordia alliodora*; *Pinus maximinoi*; *Eucalyptus grandis*; *Pinus oocarpa*; *Cupressus lusitanica*; *Eucalyptus globulus*; y *Pinus patula*.

Tabla 13. Rangos de aptitud para el criterio *condiciones climáticas*

Criterio *condiciones climáticas*																
Variable (especie)	*Temperatura media anual* (°C)				*Índice de disponibilidad de humedad del cultivo* (IDHC)				*Brillo solar medio diario anual* (horas sol/día)				*Meses secos consecutivos* (número de meses)			
	Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	No apta (N1)	Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	No apta (N1)	Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	No apta (N1)	Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	No apta (N1)
1. Acacia (*Acacia mangium*)	>25	23-25	22-3	<22									<3	3-4	>4	
2. Eucalipto (*Eucalyptus pellita*)	>24	22-24	19-2	<19									<3	3-4	>4	
3. Eucalipto (*Eucalyptus tereticornis*)	>24	20-24	17-20	<17									<3	3-4	>4	
4. Eucalipto (*Eucalyptus urograndis*)	>24	19-24	17-19	<17									<3	3-4	>4	
5. Eucalipto (*Eucalyptus urophylla*)	>24	21-24	19-21	<19									<3	3-4	>4	
6. Melina (*Gmelina arborea*)	>24	22-24	20-22	<20									<3	3-4	>4	
7. Pino caribe (*Pinus caribaea*)	>26	22-26	20-22	<20									3-4	3-5	>5	
8. Teca (*Tectona grandis*)	>26	22-26	18-22	<18									3-4	3-5	>5	
9. Ceiba tolúa (*Bombacopsis quinata*)	>27	22-27	—	<22									3-4	3-5	>5	
10. Roble, ocobo o flormorado (*Tabebuia rosea*)	>26	22-26	18-22	<18	>0,77	0,705-0,77	0,4-0,705	<0,4	>4	3-4	<3	—	<3	3-4	>4	—
11. Balso (*Ochroma pyramidale*)	>24	22-24	20-22	<20									<3	3-4	>4	
12. Eucalipto rojo (*Eucalyptus camaldulensis*)	20-24	17-20	5-17 y 24-27	<15 y >27									<3	3-4	>4	
13. Pino (*Pinus tecunumanii*)	19-21	16-19 y 21-23	4-16 y 23-26	<14 y >26									<3	3-4	>4	
14. Nogal cafetero (*Cordia alliodora*)	18-25	25-26	17-18	<17 y >26									<3	3-4	>4	
15. Pino (*Pinus maximinoi*)	18-22	16-18	12-16 y >22	<12									<3	3-4	>4	
16. Eucalipto rosado (*Eucalyptus grandis*)	22-25	18-22	15-18	<15 y >25									<3	3-4	>4	
17. Pino (*Pinus oocarpa*)	18-23	16-18	4-16 y 23-24	<14 y >24									<3	3-4	>4	

18. Ciprés (*Cupressus lusitanica*)	14-16	10-14 y 16-18	8-10 y 18-22	<8 y >22									<3	3-4	>4	
19. Eucalipto blanco, común o azul (*Eucalyptus globulus*)	14-16	12-14	0-12 y 16-19	<10 y >19									<3	3-4	>4	
20. Pino pátula (*Pinus patula*)	14-16	12-14	0-12 y 16-19	<10 y >19									<3	3-4	>4	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. Rangos de aptitud para el criterio *disponibilidad de nutrientes*

Variable (especie)	*Acidez (pH)*				*Saturación de bases (%)*			*Carbono orgánico*				*Capacidad de intercambio catiónico (CIC)*		
	Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	No apta (N1)	Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	No apta (N1)	Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)
1. Acacia (*Acacia mangium*)	5,0-7,3	4,5-4,9 y 7,3-7,8	<4,5 y >7,8	—	>20	10-20	<10	>0,5	0,2-0,5	<0,2	Histosoles	>20	10-20	<10
2. Eucalipto (*Eucalyptus pellita*)	5,0-7,3	4,4-4,9 y 7,3-7,8	<4,4 y >7,8	—	>20	10-20	<10	>0,5	0,2-0,5	<0,2	Histosoles	>20	10-20	<10
3. Eucalipto (*Eucalyptus tereticornis*)	5,0-7,3	4,5-4,9 y 7,3-7,8	<4,5 y >7,8	—	>20	10-20	<10	>0,5	0,2-0,5	<0,2	Histosoles	>20	10-20	<10
4. Eucalipto (*Eucalyptus urograndis*)	5,0-7,3	4,5-4,9 y 7,3-7,8	<4,5 y >7,8	—	>20	10-20	<10	>0,5	0,2-0,5	<0,2	Histosoles	>20	10-20	<10
5. Eucalipto (*Eucalyptus urophylla*)	5,0-7,3	4,5-4,9 y 7,3-7,8	<4,5 y >7,8	—	>20	10-20	<10	>0,5	0,2-0,5	<0,2	Histosoles	>20	10-20	<10
6. Melina (*Gmelina arborea*)	5,6-≤7,3	7,3-7,8	<5,6 y > 7,8	—	>75	50-75	<50	>0,5	0,2-0,5	<0,2	Histosoles	>20	10-20	<10
7. Pino caribe (*Pinus caribaea*)	5,0-7,3	4,4-4,9 y 7,3-7,8	<4,4 y >7,8	—	>20	10-20	<10	>0,5	0,2-0,5	<0,2	Histosoles	>20	10-20	<10
8. Teca (*Tectona grandis*)	5,6-≤7,3	7,3-7,8	<5,6 y > 7,8	—	>75	50-75	<50	>0,5	0,2-0,5	<0,2	Histosoles	>20	10-20	<10
9. Ceiba tolúa (*Bombacopsis quinata*)	5,6-≤7,3	7,3-7,8	<5,6 y >7,8	—	>75	50-75	<50	>0,5	0,2-0,5	<0,2	Histosoles	>20	10-20	<10
10. Roble, ocobo o flormorado (*Tabebuia rosea*)	5,6-6,5	7,3-7,8	≤5,6 y >7,8	—	>75	50-75	<50	>0,5	0,2-0,5	<0,2	Histosoles	>20	10-20	<10

11. Balso (*Ochroma pyramidale*)	5,0-7,3	4,5-4,9 y 7,3-7,8	<4,5 y >7,8	—	>20	10-20	<10	>0,5	0,2-0,5	<0,2	Histosoles	>20	10-20	<10
12. Eucalipto rojo (*Eucalyptus camaldulensis*)	5,0-7,3	4,5-4,9 y 7,3-7,8	<4,5 y >7,8	—	>20	10-20	<10	1,7-7,6; andisoles ≤15	0,5-1,7; >7,6; andisoles >15	< 0,5	Histosoles	>20	10-20	<10
13. Pino (*Pinus tecunumanii*)	5,0-7,3	4,5-4,9 y 7,3-7,8	<4,5 y >7,8	—	>20	10-20	<10	1,7-7,6; andisoles ≤15	0,5-1,7; >7,6; andisoles >15	<0,5	Histosoles	>20	10-20	<10
14. Nogal cafetero (*Cordia alliodora*)	5,0-7,3	4,5-4,9 y 7,3-7,8	<4,5 y >7,8	—	>20	10-20	<10	1,7-7,6; andisoles ≤15	0,5-1,7; >7,6; andisoles >15	<0,5	Histosoles	>20	10-20	<10
15. Pino (*Pinus maximinoi*)	5,0-7,3	4,5-4,9 y 7,3-7,8	<4,5 y >7,8	—	>20	10-20	<10	> 2,6-10; andisoles ≤15	1,4-2,6; >7,6; andisoles >15	<1,4	Histosoles	>20	10-20	<10
16. Eucalipto rosado (*Eucalyptus grandis*)	5,0-7,3	4,5-4,9 y 7,3-7,8	<4,5 y >7,8	—	>20	10-20	<10	1,7-7,6; andisoles ≤15	0,5-1,7; >7,6; andisoles >15	<0,5	Histosoles	>20	10-20	<10
17. Pino (*Pinus oocarpa*)	5,0-7,3	4,5-4,9 y 7,3-7,8	<4,5 y >7,8	—	>20	10-20	<10	1,7-7,6; andisoles ≤15	0,5-1,7; >7,6; andisoles >15	<0,5	Histosoles	>20	10-20	<10
18. Ciprés (*Cupressus lusitanica*)	5,0-7,3	4,5-4,9 y 7,3-7,8	<4,5 y >7,8	—	>20	10-20	<10	2,6-10; andisoles ≤15	1,4-2,6; >10; andisoles >15	<1,4	Histosoles	>20	10-20	<10
19. Eucalipto blanco, común o azul (*Eucalyptus globulus*)	5,0-7,3	4,5-4,9 y 7,3-7,8	<4,5 y >7,8	—	>20	10-20	<10	2,6-10; andisoles ≤15	1,4-2,6; >10; andisoles >15	<1,4	Histosoles	>20	10-20	<10
20. Pino pátula (*Pinus patula*)	5,0-7,3	4,5-4,9 y 7,3-7,8	<4,5 y >7,8	—	>20	10-20	<10	2,6-10; andisoles ≤15	1,4-2,6; >10; andisoles >15	<1,4	Histosoles	>20	10-20	<10

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15. Rangos de aptitud para el criterio *toxicidad por sales, sodio y aluminio*

Variable (especie)	*Saturación de aluminio* (%)				*Salinidad* (dS/m)				*Sodicidad* (%)			
	Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	No apta (N1)	Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	No apta (N1)	Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	No apta (N1)
1. Acacia (*Acacia mangium*)	≤30	30-60	>60	—	≤4	4-8	8-12	>12	<15	—	—	>15

2. Eucalipto (*Eucalyptus pellita*)	≤60	60-90	>90	—	≤4	4-8	8-12	>12	<15	—	—	>15
3. Eucalipto (*Eucalyptus tereticornis*)	≤30	30-60	>60	—	≤4	4-8	8-12	>12	<15	—	—	>15
4. Eucalipto (*Eucalyptus urograndis*)	≤60	60-90	>90	—	≤4	4-8	8-12	>12	<15	—	—	>15
5. Eucalipto (*Eucalyptus urophylla*)	≤30	30-60	>60	—	≤4	4-8	8-12	>12	<15	—	—	>15
6. Melina (*Gmelina arborea*	≤15	15-30	30-60	>60	≤4	4-8	8-12	>12	<15	—	—	>15
7. Pino caribe (*Pinus caribaea*)	≤60	60-90	>90	—	≤4	4-8	8-12	>12	<15	—	—	>15
8. Teca (*Tectona grandis*)	≤15	15-30	30-60	>60	≤4	4-8	8-12	>12	<15	—	—	>15
9. Ceiba tolúa (*Bombacopsis quinata*)	≤15	15-30	30-60	>60	≤4	4-8	8-12	>12	<15	—	—	>15
10. Roble, ocobo o flormorado (*Tabebuia rosea*)	≤15	15-30	30-60	>60	≤4	4-8	8-12	>12	<15	—	—	>15
11. Balso (*Ochroma pyramidale*)	≤30	30-60	>60	—	≤4	4-8	8-12	>12	<15	—	—	>15
12. Eucalipto rojo (*Eucalyptus camaldulensis*)	≤30	30-60	>60	—	≤4	4-8	8-12	>12	<15	—	—	>15
13. Pino (*Pinus tecunumanii*)	≤30	30-60	>60	—	≤4	4-8	8-12	>12	<15	—	—	>15
14. Nogal cafetero (*Cordia alliodora*)	≤30	30-60	>60	—	≤4	4-8	8-12	>12	<15	—	—	>15
15. Pino (*Pinus maximinoi*)	≤30	30-60	>60	—	≤4	4-8	8-12	>12	<15	—	—	>15

16. Eucalipto rosado (*Eucalyptus grandis*)	≤30	30-60	>60	—	≤4	4-8	8-12	>12	<15	—	—	>15
17. Pino (*Pinus oocarpa*)	≤30	30-60	>60	—	≤4	4-8	8-12	>12	<15	—	—	>15
18. Ciprés (*Cupressus lusitanica*)	≤30	30-60	>60	—	≤4	4-8	8-12	>12	<15	—	—	>15
19. Eucalipto blanco, común o azul (*Eucalyptus globulus*)	≤30	30-60	>60	—	≤4	4-8	8-12	>12	<15	—	—	>15
20. Pino pátula (*Pinus patula*)	≤30	30-60	>60	—	≤4	4-8	8-12	>12	<15	—	—	>15

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. Rangos de aptitud para el criterio *condiciones de enraizamiento*

Variables (especie)	*Profundidad efectiva* (cm)				*Textura* (clase textural)				*Pedregosidad* (fase de pedregosidad)			
	Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	No apta (N1)	Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	No apta (N1)	Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	No apta (N1)
1. Acacia (*Acacia mangium*)	>60	30-60	<30	*Lithic, petrocalcic, petroferric, petrogypsic*	F, FL, FA, FArA, L, FArL, FAr	A, AF, ArA, Ar, ArL	Vertisoles	—	No pedregoso	—	Pedregoso	—
2. Eucalipto (*Eucalyptus pellita*)	>60	30-60	<30	*Lithic, petrocalcic, petroferric, petrogypsic*	F, FL, FA, FArA, L, FArL, FAr	A, AF, ArA, Ar, ArL	Vertisoles	—	No pedregoso		Pedregoso	—
3. Eucalipto (*Eucalyptus tereticornis*)	>60	30-60	<30	*Lithic, petrocalcic, petroferric, petrogypsic*	F, FL, FA, FArA, L, FArL, FAr	A, AF, ArA, Ar, ArL	Vertisoles	—	No pedregoso	—	Pedregoso	—
4. Eucalipto (*Eucalyptus urograndis*)	>60	30-60	<30	*Lithic, petrocalcic, petroferric, petrogypsic*	F, FL, FA, FArA, L, FArL, FAr	A, AF, ArA, Ar, ArL	Vertisoles	—	No pedregoso	—	Pedregoso	—
5. Eucalipto (*Eucalyptus urophylla*)	>60	30-60	<30	*Lithic, petrocalcic, petroferric, petrogypsic*	F, FL, FA, FArA, L, FArL, FAr	A, AF, ArA, Ar, ArL	Vertisoles	—	No pedregoso	—	Pedregoso	—

6. Melina (*Gmelina arborea*)	>60	30-60	<30	*Lithic, petrocalcic, petroferric, petrogypsic*	F, FL, FA, FArA, L, FArL, FAr	A, AF, ArA, Ar, ArL	Vertisoles	—	No pedregoso	—	Pedregoso	—
7. Pino caribe (*Pinus caribaea*)	>60	30-60	<30	*Lithic, petrocalcic, petroferric, petrogypsic*	F, FL, FA, FArA, L, FArL, FAr	A, AF, ArA, Ar, ArL	Vertisoles	—	No pedregoso	—	Pedregoso	—
8. Teca (*Tectona grandis*)	>60	30-60	<30	*Lithic, petrocalcic, petroferric, petrogypsic*	F, FL, FA, FArA, L, FArL, FAr	A, AF, ArA, Ar, ArL	Vertisoles	—	No pedregoso	—	Pedregoso	—
9. Ceiba tolúa (*Bombacopsis quinata*)	>60	30-60	<30	*Lithic, petrocalcic, petroferric, petrogypsic*	F, FL, FA, FArA, L, FArL, FAr	A, AF, ArA, Ar, ArL	Vertisoles	—	No pedregoso	—	Pedregoso	—
10. Roble, ocobo o flormorado (*Tabebuia rosea*)	>60	30-60	<30	*Lithic, petrocalcic, petroferric, petrogypsic*	F, FL, FA, FArA, L, FArL, FAr	A, AF, ArA, Ar, ArL	Vertisoles	—	No pedregoso	—	Pedregoso	—
11. Balso (*Ochroma pyramidale*)	>60	30-60	<30	*Lithic, petrocalcic, petroferric, petrogypsic*	F, FL, FA, FArA, L, FArL, FAr	A, AF, ArA, Ar, ArL	Vertisoles	—	No pedregoso	—	Pedregoso	—
12. Eucalipto rojo (*Eucalyptus camaldulensis*)	>60	30-60	<30	*Lithic, petrocalcic, petroferric, petrogypsic*	F, FL, FA, FArA, L, FArL, FAr	A, AF, ArA, Ar, ArL	Vertisoles	—	No pedregoso	—	Pedregoso	—
13. Pino (*Pinus tecunumanii*	>60	30-60	<30	*Lithic, petrocalcic, petroferric, petrogypsic*	F, FL, FA, FArA, L, FArL, FAr	A, AF, ArA, Ar, ArL	Vertisoles	—	No pedregoso	—	Pedregoso	—
14. Nogal cafetero (*Cordia alliodora*)	>60	30-60	<30	*Lithic, petrocalcic, petroferric, petrogypsic*	F, FL, FA, FArA, L, FArL, FAr	A, AF, ArA, Ar, ArL	Vertisoles	—	No pedregoso	—	Pedregoso	—
15. Pino (*Pinus maximinoi*)	>60	30-60	<30	*Lithic, petrocalcic, petroferric, petrogypsic*	F, FL, FA, FArA, L, FArL, FAr	A, AF, ArA, Ar, ArL	Vertisoles	—	No pedregoso	—	Pedregoso	—

16. Eucalipto rosado (*Eucalyptus grandis*)	>60	30-60	<30	*Lithic, petrocalcic, petroferric, petrogypsic*	F, FL, FA, FArA, L, FArL, FAr	A, AF, ArA, Ar, ArL	Vertisoles	—	No pedregoso	—	Pedregoso	—
17. Pino (*Pinus oocarpa*)	>60	30-60	<30	*Lithic*, petrocalcic, *petroferric, petrogypsic*	F, FL, FA, FArA, L, FArL, FAr	A, AF, ArA, Ar, ArL	Vertisoles	—	No pedregoso	—	Pedregoso	—
18. Ciprés (*Cupressus lusitanica*)	>60	30-60	<30	*Lithic, petrocalcic, petroferric, petrogypsic*	F, FL, FA, FArA, L, FArL, FAr	A, AF, ArA, Ar, ArL	Vertisoles	—	No pedregoso	—	Pedregoso	—
19. Eucalipto blanco, común o azul (*Eucalyptus globulus*)	>60	30-60	<30	*Lithic, petrocalcic, petroferric, petrogypsic*	F, FL, FA, FArA, L, FArL, FAr	A, AF, ArA, Ar, ArL	Vertisoles	—	No pedregoso	—	Pedregoso	—
20. Pino pátula (*Pinus patula*)	>60	30-60	<30	*Lithic, petrocalcic*, petroferric, *petrogypsic*	F, FL, FA, FArA, L, FArL, FAr	A, AF, ArA, Ar, ArL	Vertisoles	—	No pedregoso	—	Pedregoso	—

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17. Rangos de aptitud para el criterio *disponibilidad de oxígeno*

Variable (especie)	*Drenaje natural*				*Susceptibilidad de inundaciones* (duración)			
	Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	No apta (N1)	Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	No apta (N1)
1. Acacia (*Acacia mangium*)	Bueno	Moderado, excesivo, moderadamente excesivo	Imperfecto, pobre	Muy pobre	—	Cortas	Largas	Muy largas
2. Eucalipto (*Eucalyptus pellita*)	Bueno	Moderado, excesivo, moderadamente excesivo	Imperfecto, pobre	Muy pobre	—	Cortas	Largas	Muy largas
3. Eucalipto (*Eucalyptus tereticornis*)	Bueno	Moderado, excesivo, moderadamente excesivo	Imperfecto, pobre	Muy pobre	—	Cortas	Largas	Muy largas

4. Eucalipto (*Eucalyptus urograndis*	Bueno	Moderado, excesivo, moderadamente excesivo	Imperfecto, pobre	Muy pobre	—	Cortas	Largas	Muy largas
5. Eucalipto (*Eucalyptus urophylla*)	Bueno	Moderado, excesivo, moderadamente excesivo	Imperfecto, pobre	Muy pobre	—	Cortas	Largas	Muy largas
6. Melina (*Gmelina arborea*)	Bueno	Moderado, excesivo, moderadamente excesivo	Imperfecto, pobre	Muy pobre	—	Cortas	Largas	Muy largas
7. Pino caribe (*Pinus caribaea*)	Bueno	Moderado, excesivo, moderadamente excesivo	Imperfecto, pobre	Muy pobre	—	Cortas	Largas	Muy largas
8. Teca (*Tectona grandis*)	Bueno	Moderado, excesivo, moderadamente excesivo	Imperfecto, pobre	Muy pobre	—	Cortas	Largas	Muy largas
9. Ceiba tolúa (*Bombacopsis quinata*)	Bueno, moderado	Imperfecto, excesivo, moderadamente excesivo	Pobre, muy pobre	—	Cortas	Largas	Muy largas	—
10. Roble, ocobo o flormorado (*Tabebuia rosea*)	Bueno, moderado	Imperfecto, excesivo, moderadamente excesivo	Pobre, muy pobre	—	Cortas	Largas	Muy largas	—
11. Balso (*Ochroma pyramidale*)	Bueno	Moderado, excesivo, moderadamente excesivo	Imperfecto, pobre	Muy pobre	—	Cortas	Largas	Muy largas
12. Eucalipto rojo (*Eucalyptus camaldulensis*)	Bueno	Moderado, excesivo, moderadamente excesivo	Imperfecto, pobre	Muy pobre	—	Cortas	Largas	Muy largas
13. Pino (*Pinus tecunumanii*)	Bueno	Moderado, excesivo, moderadamente excesivo	Imperfecto, pobre	Muy pobre	—	Cortas	Largas	Muy largas

14. Nogal cafetero (*Cordia alliodora*)	Bueno	Moderado, excesivo, moderadamente excesivo	Imperfecto, pobre	Muy pobre	—	Cortas	Largas	Muy largas
15. Pino (*Pinus maximinoi*)	Bueno	Moderado, excesivo, moderadamente excesivo	Imperfecto, pobre	Muy pobre	—	Cortas	Largas	Muy largas
16. Eucalipto rosado (*Eucalyptus grandis*)	Bueno	Moderado, excesivo, moderadamente excesivo	Imperfecto, pobre	Muy pobre	—	Cortas	Largas	Muy largas
17. Pino (*Pinus oocarpa*)	Bueno	Moderado, excesivo, moderadamente excesivo	Imperfecto, pobre	Muy pobre	—	Cortas	Largas	Muy largas
18. Ciprés (*Cupressus lusitanica*)	Bueno	Moderado, excesivo, moderadamente excesivo	Imperfecto, pobre	Muy pobre	—	Cortas	Largas	Muy largas
19. Eucalipto blanco, común o azul (*Eucalyptus globulus*)	Bueno	Moderado, excesivo, moderadamente excesivo	Imperfecto, pobre	Muy pobre	—	Cortas	Largas	Muy largas
20. Pino pátula (*Pinus patula*)	Bueno	Moderado, excesivo, moderadamente excesivo	Imperfecto, pobre	Muy pobre	—	Cortas	Largas	Muy largas

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18. Rangos de aptitud para el criterio *disponibilidad de humedad*

Variable (especie)	*Régimen de humedad*				*Textura* (clase textural)			
	Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	No apta (N1)	Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	No apta (N1)
1. Acacia (*Acacia mangium*)	Údico	Ústico	Ácuico	Perácuico, arídico	Ar, ArA, ArL, FAr, FArA, FArL, F, FL	FA, L	A, AF	—
2. Eucalipto (*Eucalyptus pellita*)	Údico	Ústico	Ácuico	Perácuico, arídico	Ar, ArA, ArL, FAr, FArA, FArL, F, FL	FA, L	A, AF	—
3. Eucalipto (*Eucalyptus tereticornis*)	Údico	Ústico	Ácuico	Perácuico, arídico	Ar, ArA, ArL, FAr, FArA, FArL, F, FL	FA, L	A, AF	—
4. Eucalipto (*Eucalyptus urograndis*)	Údico	Ústico	Ácuico	Perácuico, arídico	Ar, ArA, ArL, FAr, FArA, FArL, F, FL	FA, L	A, AF	—
5. Eucalipto (*Eucalyptus urophylla*)	Údico	Ústico	Ácuico	Perácuico, arídico	Ar, ArA, ArL, FAr, FArA, FArL, F, FL	FA, L	A, AF	—
6. Melina (*Gmelina arborea*)	Údico	Ústico	Ácuico	Perácuico, arídico	Ar, ArA, ArL, FAr, FArA, FArL, F, FL	FA, L	A, AF	—
7. Pino caribe (*Pinus caribaea*)	Údico	Ústico	Ácuico	Perácuico, arídico	Ar, ArA, ArL, FAr, FArA, FArL, F, FL	FA, L	A, AF	—
8. Teca (*Tectona grandis*)	Ústico	Údico	Ácuico	Perácuico, arídico	Ar, ArA, ArL, FAr, FArA, FArL, F, FL	FA, L	A, AF	—
9. Ceiba tolúa (*Bombacopsis quinata*)	Ústico	Údico	Ácuico	Perácuico, arídico	Ar, ArA, ArL, FAr, FArA, FArL, F, FL	FA, L	A, AF	—

10. Roble, ocobo o flormorado (*Tabebuia rosea*)	Ústico	Údico	Ácuico	Perácuico, arídico	Ar, ArA, ArL, FAr, FArA, FArL, F, FL	FA, L	A, AF	—
11. Balso (*Ochroma pyramidale*)	Údico	Ústico	Ácuico	Perácuico, arídico	Ar, ArA, ArL, FAr, FArA, FArL, F, FL	FA, L	A, AF	—
12. Eucalipto rojo (*Eucalyptus camaldulensis*)	Údico	Ústico	Ácuico	Perácuico, arídico	Ar, ArA, ArL, FAr, FArA, FArL, F, FL	FA, L	A, AF	—
13. Pino (*Pinus tecunumanii*)	Údico	Ústico	Ácuico	Perácuico, arídico	Ar, ArA, ArL, FAr, FArA, FArL, F, FL	FA, L	A, AF	—
14. Nogal cafetero (*Cordia alliodora*)	Údico	Ústico	Ácuico	Perácuico, arídico	Ar, ArA, ArL, FAr, FArA, FArL, F, FL	FA, L	A, AF	—
15. Pino (*Pinus maximinoi*)	Údico	Ústico	Ácuico	Perácuico, arídico	Ar, ArA, ArL, FAr, FArA, FArL, F, FL	FA, L	A, AF	—
16. Eucalipto rosado (*Eucalyptus grandis*)	Údico	Ústico	Ácuico	Perácuico, arídico	Ar, ArA, ArL, FAr, FArA, FArL, F, FL	FA, L	A, AF	—
17. Pino (*Pinus oocarpa*)	Údico	Ústico	Ácuico	Perácuico, arídico	Ar, ArA, ArL, FAr, FArA, FArL, F, FL	FA, L	A, AF	—
18. Ciprés (*Cupressus lusitanica*)	Údico	Ústico	Ácuico	Perácuico, arídico	Ar, ArA, ArL, FAr, FArA, FArL, F, FL	FA, L	A, AF	—
19. Eucalipto blanco, común o azul (*Eucalyptus globulus*)	Údico	Ústico	Ácuico	Perácuico, arídico	Ar, ArA, ArL, FAr, FArA, FArL, F, FL	FA, L	A, AF	—

20. Pino pátula (*Pinus patula*)	Údico	Ústico	Ácuico	Perácuico, arídico	Ar, ArA, ArL, FAr, FArA, FArL, F, FL	FA, L	A, AF	—

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19. Rangos de aptitud para el criterio *capacidad de laboreo*

Variables (especie)	*Pendiente* (%)				*Textura* (clase textural)				*Pedregosidad* (fase de pedregosidad)			
	Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	No apta (N1)	Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	No apta (N1)	Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	No apta (N1)
1. Acacia (*Acacia mangium*)	<25	25-75	>75	—	F, FL, FA, FArA, FArL	ArA, ArL, L, Ar	A, AF, vertisoles	—	No pedregoso	—	Pedregoso	—
2. Eucalipto (*Eucalyptus pellita*)	<12	12-50	>50	—	F, FL, FA, FArA, FArL	ArA, ArL, L, Ar	A, AF, vertisoles	—	No pedregoso	—	Pedregoso	—
3. Eucalipto (*Eucalyptus tereticornis*)	<12	12-50	>50	—	F, FL, FA, FArA, FArL	ArA, ArL, L, Ar	A, AF, vertisoles	—	No pedregoso	—	Pedregoso	—
4. Eucalipto (*Eucalyptus urograndis*)	<25	25-75	>75	—	F, FL, FA, FArA, FArL	ArA, ArL, L, Ar	A, AF, vertisoles	—	No pedregoso	—	Pedregoso	—
5. Eucalipto (*Eucalyptus urophylla*)	<12	12-50	>50	—	F, FL, FA, FArA, FArL	ArA, ArL, L, Ar	A, AF, vertisoles	—	No pedregoso	—	Pedregoso	—
6. Melina (*Gmelina arborea*)	<12	12-50	>50	—	F, FL, FA, FArA, FArL	ArA, ArL, L, Ar	A, AF, vertisoles	—	No pedregoso	—	Pedregoso	—
7. Pino caribe (*Pinus caribaea*)	<25	25-75	>75	—	F, FL, FA, FArA, FArL	ArA, ArL, L, Ar	A, AF, vertisoles	—	No pedregoso	—	Pedregoso	—
8. Teca (*Tectona grandis*)	<12	12-50	>50	—	F, FL, FA, FArA, FArL	ArA, ArL, L, Ar	A, AF, vertisoles	—	No pedregoso	—	Pedregoso	—
9. Ceiba tolúa (*Bombacopsis quinata*)	<12	12-50	>50	—	F, FL, FA, FArA, FArL	ArA, ArL, L, Ar	A, AF, vertisoles	—	No pedregoso	—	Pedregoso	—
10. Roble, ocobo o flormorado (*Tabebuia rosea*)	<25	25-75	>75	—	F, FL, FA, FArA, FArL	ArA, ArL, L, Ar	A, AF, vertisoles	—	No pedregoso	—	Pedregoso	—

11. Balso (*Ochroma pyramidale*)	<25	25-75	>75	—	F, FL, FA, FArA, FArL	ArA, ArL, L, Ar	A, AF, vertisoles	—	No pedregoso	—	Pedregoso	—
12. Eucalipto rojo (*Eucalyptus camaldulensis*)	<25	25-75	>75	—	F, FL, FA, FArA, FArL	ArA, ArL, L, Ar	A, AF, vertisoles	—	No pedregoso	—	Pedregoso	—
13. Pino (*Pinus tecunumanii*)	<25	25-75	>75	—	F, FL, FA, FArA, FArL	ArA, ArL, L, Ar	A, AF, vertisoles	—	No pedregoso	—	Pedregoso	—
14. Nogal cafetero (*Cordia alliodora*)	<25	25-75	>75	—	F, FL, FA, FArA, FArL	ArA, ArL, L, Ar	A, AF, vertisoles	—	No pedregoso	—	Pedregoso	—
15. Pino (*Pinus maximinoi*)	<25	25-75	>75	—	F, FL, FA, FArA, FArL	ArA, ArL, L, Ar	A, AF, vertisoles	—	No pedregoso	—	Pedregoso	—
16. Eucalipto rosado (*Eucalyptus grandis*)	<25	25-75	>75	—	F, FL, FA, FArA, FArL	ArA, ArL, L, Ar	A, AF, vertisoles	—	No pedregoso	—	Pedregoso	—
17. Pino (*Pinus oocarpa*)	<25	25-75	>75	—	F, FL, FA, FArA, FArL	ArA, ArL, L, Ar	A, AF, vertisoles	—	No pedregoso	—	Pedregoso	—
18. Ciprés (*Cupressus lusitanica*)	<25	25-75	>75	—	F, FL, FA, FArA, FArL	ArA, ArL, L, Ar	A, AF, vertisoles	—	No pedregoso	—	Pedregoso	—
19. Eucalipto blanco, común o azul (*Eucalyptus globulus*)	<25	25-75	>75	—	F, FL, FA, FArA, FArL	ArA, ArL, L, Ar	A, AF, vertisoles	—	No pedregoso	—	Pedregoso	—
20. Pino pátula (*Pinus patula*)	<25	25-75	>75	—	F, FL, FA, FArA, FArL	ArA, ArL, L, Ar	A, AF, vertisoles	—	No pedregoso	—	Pedregoso	—

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20. Rangos de aptitud para el criterio *susceptibilidad a la pérdida de suelos*

Especie	Variables	Unidad de medida	Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	No apta (N1)
1-20	*Fases por grado de erosión* *Degradación de suelos por erosión* *Pendiente* *Amenaza por movimientos en masa*	Producto de combinación de fases de erosión; degradación de suelos por erosión; pendiente; y amenaza por movimientos en masa.	Baja susceptibilidad de la pérdida de suelos para la producción de especies forestales.	Condiciones que presentan moderada susceptibilidad de la pérdida de suelos para la producción de especies forestales.	Condiciones que presentan fuerte susceptibilidad de la pérdida de suelos para la producción de especies forestales.	Restricciones por susceptibilidad de la pérdida de suelos, que imposibilitan la producción de especies forestales.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 Criterios y variables del componente socioecosistémico

Desde el componente socioecosistémico, se definieron las áreas de exclusión técnica (N1), las cuales están referidas a las siguientes tres categorías: la primera se refiere al criterio *cambio de cobertura*, cuyas áreas de exclusión identificadas por sus características naturales o por algún valor de identidad sociocultural reconocido deben ser protegidas y su cobertura actual. mantenida, por que no puede establecerse ninguna plantacion forestal. La segunda, que se refiere al criterio *ecosistemas estratégicos*, considera los manglares y los bosques secos como zonas de importancia ambiental que se han priorizado para su protección y conservación, debido a su potencial ecosistémico o su nivel de amenaza. La tercera, que se refiere a exclusiones adicionales, se define desde las coberturas que integran los biomas que no son aptos para la distribución de una especie específica. En la Tabla 21 se registran los rangos de aptitud para la calificación de variables del componente socioecosistémico.

Tabla 21. Rangos de variables del componente socioecosistémico

Criterio	Variable	Aptitud			
		Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	No apta (N1)
Integridad ecológica	***Fragmentación y conectividad estructural de las coberturas naturales (FCECN)***: la heterogeneidad espacial del paisaje se analiza a partir de la conectividad y la fragmentación. Requiere establecer la continuidad y determinar la existencia de barreras (como resistencias o contrastes) en el territorio que limiten o impriman	Conectividad baja: >17.500 Menor número de parches Mayor tamaño medio de parches	Conectividad media: 0-17.500 Moderado número de parches Moderado tamaño medio de parches	Conectividad alta: 0 Mayor número de parches Menor tamaño medio de los parches	—

Criterio	Variable	Aptitud			
		Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	No apta (N1)
	mayor costo para el flujo de la biodiversidad y los bienes y servicios ecosistémicos, fundamentales para el desarrollo de los sistemas productivos y la sostenibilidad del territorio. También requiere determinar el grado de estabilidad geométrica y espacial que permita la permanencia de cada parche y corredor contenidos en las matrices del paisaje.	Dimensión fractal media del parche 1 Parches cortos con menor complejidad de forma	Dimensión fractal media del parche 2 Parches medios con moderada complejidad de forma	Dimensión fractal media del parche 3 Parches largos con mayor complejidad de forma	
	Índice de naturalidad (INAT): se refiere a las coberturas naturales en las cuales se desarrollan los procesos ecológicos esenciales, que son necesarios para sustentar la vida.	Naturalidad muy baja-vital: 0-5 % Naturalidad baja-estratégica: 5-30 % Naturalidad moderada: 30-50 %	Naturalidad media-alta: 50-75 %	Naturalidad alta-protección 75-100 %	—
	***Áreas de concentración de especies sensibles (ACES)*:** establece lugares con concentración de especies sensibles a través de indicadores, por ejemplo: la *densidad en polígonos definidos* como áreas prioritarias para la conservación (APC) o la riqueza de especies migratorias en áreas críticas sobre agroecosistemas (AC). De igual forma, se integran las áreas de importancia para la conservación de aves silvestres (AICAS).	Zonas con muy baja densidad de especies sensibles: >2,75 Baja presencia de APC y especies sensibles Ausencia de AICAS Áreas sin importancia para especies migratorias: > 2,9	Zonas con baja densidad de especies sensibles: 1,25-2,75 Alta presencia de APC y especies sensibles Presencia de AICAS Áreas de importancia moderada o alta para espécies migratorias: 2,66-2,9	Zonas de moderada, alta y muy alta densidad de especies: <1,25 Áreas asociadas a coberturas naturales, en las cuales se asume una muy alta densidad de especies Presencia de AICAS Áreas de importancia muy alta para especies migratorias: <2,66	—
Apropiación de agua	***Diferencia del uso consuntivo*:** de acuerdo con el Ideam (2010), el uso consuntivo corresponde al requerimiento de agua neta para el establecimiento de un cultivo, partiendo del agua contenida en el suelo que está disponible para la cobertura vegetal. Es decir: para esta variable, no se tuvo en cuenta el agua que alimenta los acuíferos superficiales o subterráneos (UPRA, 2016). Este uso consuntivo abarca la totalidad del agua requerida por un cultivo determinado para realizar la evapotranspiración y la construcción celular, desde la siembra hasta la cosecha, en un régimen climático específico.	El cultivo evapotranspira menos que la cobertura actual Uso consuntivo menor Rango ETo: >800 mm/año	La evapotranspiración del cultivo es similar al de la cobertura actual Uso consuntivo moderado Rango ETo: 300-800 mm/año	La cobertura actual evapotranspira menos que el cultivo Uso consuntivo alto y muy alto Rango ETo: <300 mm/año	—

Criterio	Variable	Aptitud			
		Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	No apta (N1)
	Diferencia del uso del agua: representa la cantidad de agua que es retenida del flujo de la cuenca para satisfacer la demanda de las plantaciones forestales para su crecimiento, desarrollo y producción. De esta agua captada por la plantación, una parte queda contenida en la biomasa de la especie; otra retorna a la cuenca como excesos o menores rendimientos de aprovechamiento del agua; otra se pierde en el balance hídrico de la cuenca, porque queda contenida en la producción de biomasa área o vía evapotranspiración desde el cultivo. La demanda de agua de la plantación, que se basa en el índice de eficiencia del uso del agua como la producción de biomasa por unidad de agua, es siempre una relación entre la ganancia de carbono y la pérdida de agua.	La subzona hidrográfica se encuentra en superávit hídrico mayor La oferta hídrica es muy superior en comparación con la demanda hídrica sectorial total incluida la de la plantación forestal: >4.000 Mm^3	La subzona hidrográfica se encuentra en superávit hídrico moderado. La disponibilidad hídrica real (DHR) es moderadamente superior en comparación con la demanda hídrica sectorial total incluida la de la plantación forestal: 0-4.000 Mm^3	La subzona hidrográfica se encuentra en déficit hídrico o la disponibilidad hídrica real (DHR) es menor o ligeramente superior en comparación con la demanda hídrica sectorial total incluida la de la plantación forestal: <0 Mm^3	—
Variación del contenido estimado de carbono		Balance de carbono: >2,33 El cultivo es sumidero de carbono	Balance de carbono: 1,66-2,33 El cultivo está en equilibrio entre emisión y captura de carbono	Balance de carbono: <1,66 El cultivo es fuente de emisión de carbono	—
Cambio de cobertura		**Coberturas de plantaciones forestales latifoliadas**			
		Zonas de alta favorabilidad para establecer plantaciones forestales, donde predominan las áreas de pastos (limpios, enmalezados y arbolados); los cultivos transitorios dedicados a la producción de alimentos como arroz, maíz, hortalizas o papa; y cultivos dedicados a la producción industrial como caña, algodón, palma, zonas quemadas, plantaciones forestales y cultivos agroforestales	Zonas de moderada favorabilidad para establecer plantaciones forestales, donde predominan mosaicos de cultivos; mosaicos de pastos con espacios naturales; mosaicos de cultivos; pastos y espacios naturales; café; cultivos permanentes arbóreos y arbustivos; y zonas seminaturales de herbazales densos no arbolados	Zonas con favorabilidad baja para establecer plantaciones forestales, donde predominan los cultivos de ciclo corto o permanentes arbóreos, arbustivos o herbáceos; algunos mosaicos dedicados a la producción de alimentos humanos; algunas unidades de coberturas naturales y seminaturales que pueden ser marginalmente aptas (herbazales densos de tierra firme y vegetación secundaria baja); y tierras desnudas y degradadas	Zonas no favorables para establecer plantaciones, que se refieren a las coberturas naturales y seminaturales; áreas húmedas; superficies de agua; territorios artificializados; cultivos transitorios, permanentes herbáceos, arbóreos y arbustivos; zonas de pastos, mosaicos y plantaciones que por el bioma en donde se localiza no favorecen el establecimiento de la plantación
		Coberturas plantaciones forestales de coníferas			

Criterio	Variable	Aptitud			
		Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	No apta (N1)
		Zonas de alta favorabilidad para establecer plantaciones forestales, donde predominan las áreas de pastos (limpios, enmalezados y arbolados); los cultivos transitorios dedicados para la producción de alimentos como arroz, maíz, hortalizas o papa; cultivos dedicados a la producción industrial como caña, algodón, palma; zonas quemadas; plantaciones forestales; y cultivos agroforestales	Zonas de moderada favorabilidad para establecer plantaciones forestales, donde predominan cultivos permanentes arbóreos y arbustivos; café; viñedos; y árboles plantados.	Zonas con favorabilidad baja para establecer plantaciones forestales, donde predominan los cultivos de ciclo corto o permanentes arbóreos, arbustivos o herbáceos; mosaicos de cultivos; mosaicos de pastos y cultivos; mosaicos que involucran espacios naturales, dedicados a la producción de alimentos humanos; algunas unidades de coberturas naturales y seminaturales que pueden ser marginalmente aptas, como herbazales densos de tierra firme y vegetación secundaria baja; y tierras desnudas y degradadas. Las coníferas distribuidas con altitudes más altas no incluyen estas coberturas seminaturales	Zonas no favorables para establecer plantaciones que se refieren a las coberturas naturales y seminaturales; las áreas húmedas; las superficies de agua y los territorios artificializados; zonas de cultivos transitorios, permanentes herbáceos, arbóreos y arbustivos; zonas de pastos; y mosaicos y plantaciones que por el bioma en donde se localiza no favorecen el establecimiento de la plantación
Susceptibilidad de incendios	***Condiciones de pirogenicidad de las coberturas***: la caracterización de la condición pirogénica de la vegetación es conocido como *modelo de combustibles*. Define qué tan probable es que un determinado tipo de cobertura vegetal pueda encenderse, dada su capacidad de ignición	Susceptibilidad baja de la cobertura vegetal de incendios por condiciones bajas de pirogenicidad Susceptibilidad: 0,3-2,35	Susceptibilidad media de la cobertura vegetal de incendios por condiciones moderadas de pirogenicidad Susceptibilidad: 2,35-2,6	Susceptibilidad alta de la cobertura vegetal de incendios por condiciones altas de pirogenicidad Susceptibilidad: >2,6	—
	Influencia del fuego sobre los ecosistemas: corresponde a la diferenciación de los ecosistemas de acuerdo con los regímenes de fuegos	Ecosistemas no influidos por el fuego o no combustibles, como áreas con predominancia alta de humedad o muy altas y desprovistas de vegetación; y ecosistemas sensibles al fuego, como bosques, matorrales, herbazales y pastizales presentes en los pisos subandino y andino	Ecosistemas independientes, como los bastante fríos y húmedos o demasiado secos; vegetación xerofítica, de páramo y altoandina; y algunos ecosistemas independientes y sensibles	Ecosistemas dependientes, como las sabanas de la Orinoquia, conformadas por coberturas de pastizal y herbazal; ecosistemas dependientes; influidos, como agroecosistemas asociados a prácticas culturales de tala y quema o roza y quema; y algunos ecosistemas dependientes, independientes, influidos y sensibles	—
Potencial de absorción de nitrógeno		El cultivo tiene mayor potencial de aporte de nitrógeno Diferencia de NDVI azul: >0	El cultivo está en equilibrio con el potencial de aporte de nitrógeno de la cobertura actual	El cultivo presenta un menor potencial de aporte de nitrógeno en relación con la cobertura actual.	—

Criterio	Variable	Aptitud			
		Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	No apta (N1)
			Diferencia de NDVI azul: de –0,325 a 0	Diferencia de NDVI azul: menor a –0,325	

Fuente: elaboración propia.

3.3.3 Criterios y variables del componente socioeconómico

A partir del componente socioeconómico, la clasificación solamente presentó las categorías de aptitud *alta* (A1), *media* (A2) y *baja* (A3). Ninguna variable se clasificó como no apta (N1), dado que fueron analizadas mediante índices sintéticos cuya variación respondió a factores exógenos. En la Tabla 22 se muestran los rangos de aptitud para la calificación de variables del componente socioeconómico.

Tabla 22. Rangos de variables del componente socioeconómico

Criterio	Variables	Especies	Unidad de medida	Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)
Infraestructura y logística	***Existencia de plantaciones***	Todas	Predios	Con plantaciones	El colindante al predio con plantaciones	Resto
	Cercanía a las plantas de transformación	Todas	Tiempo de desplazamiento (h)	<1	1-2	>2
	Movilización de madera	Todas	Predios y volumen de madera (m^3)	Predio y colindante a la ruta que transportan más de 20 m^3	Predio y colindante a la ruta que transportan menos de 20 m^3	Resto
	Cercanía a los viveros los registrados	Transversal	Tiempo de desplazamiento (h)	<1	1-3	>3
	Cercanía a las vías	Transversal	Distancia (m)	Vías tipo 1-4 con *buffer* de 500 m a las vías	Vías tipo 1-5 con buffer de 1.000 m a las vías	Resto

	Costos de movilización	Transversal	Pesos (COP)	<1.500.000	1.500.000-2.500.000	>2.500.000
	Cercanía a los puertos fluviales	Transversal	Tiempo de desplazamiento (h)	<1	1-3	>3
	Cercanía a los centros de servicios	Transversal	Tiempo de desplazamiento (h)	<½	½-2	>2
	Cercanía a los puertos marítimos	Transversal	Tiempo de desplazamiento (h)	<3	3-6	>6
	Cobertura de internet móvil	Transversal	Tecnología y número de antenas/10 km^2	HSPA y LTE >2 antenas	Tecnología 3G <2 antenas	Sin cobertura
	Energía eléctrica rural	Transversal	Favorabilidad en el acceso (unidades)	>7	5-7	<5
Dinámica del mercado de tierras	***Tendencia a la formalidad***	Transversal	Predios	Con matrícula inmobiliaria sin presunción de informalidad	—	Predios con mejoras; predios sin interrelación catastro-registro; predios con falsa tradición; predios con presunción de baldíos; predios con presunción de informalidad; predios con resolución de inscripción en el registro 1 de la ley de tierras despojadas y abandonadas forzosamente; y predios con inscripción en el RUPTA

	Tamaño predial rural	Acacia	Área de los predios (ha)	>741	266-741	<266
		Nogal		>857	123-857	<123
		Balso		>580	61-580	<61
		Eucaliptos		>586	108-586	<108
		Melina, ceiba roja, ciprés y roble		>750	113-750	<113
		Pinos		>741	169-741	<169
		Teca		>1200	106-1200	<106
	Avalúo catastral rural	Transversal	Pesos (COP/ha)	<2 millones	2 millones-8 millones	>8 millones y predios en propiedad horizontal (PH y condominio) y con destinos económicos industriales, comerciales y recreativos
	Arriendo rural	Transversal	Pesos (COP/ha)	<200.000	200.000-600.000	>600.000
Institucionalidad y asociatividad	***Cercanía al ICA***	Transversal	Tiempo de desplazamiento (h)	<1	1-2	>2
	Cercanía a las CAR	Transversal	Tiempo de desplazamiento (h)	<1	1-2	>2
	Presencia del gremio	Transversal	Distancia de los predios forestales al gremio (km)	<50	50-100	100-200
	Asociaciones de empresas privadas	Transversal	Distancia de los predios a las asociaciones (km)	<50	50-100	100-200
	Cercanía a Agrosavia	Transversal	Tiempo de desplazamiento (h)	<1	1-2	>2

Disponibilidad de mano de obra	***Densidad de la población en edad de trabajar***	Transversal	Número de habitantes rurales por km^2	>7,07	3,39-7,07	<3,39
	Oferta educativa técnica y tecnológica	Transversal	Tiempo de desplazamiento (h)	<1	1-2	>2
	Oferta educativa universitaria	Transversal	Tiempo de desplazamiento (h)	<1	1-2	>2
Indicadores económicos	***Valor agregado forestal municipal***	Transversal	Miles de millones de pesos (COP)	>1,78	0,77-1,78	<0,77
	Créditos otorgados	Transversal	Miles de millones de pesos (COP)	>2,280	<2,280	Sin créditos
	Programas de desarrollo con enfoque territorial (PDET)	Transversal	Municipios	Declarados PDET	Resto	—
	Zonas más afectadas por el conflicto armado (ZOMAC)	Transversal	Municipios	Declarados ZOMAC	Resto	—
	Desempeño municipal	Transversal	Indicador *desempeño municipal* (MDM) del DNP (puntaje)	>55	45-55	<45
Seguridad ciudadana	***Extorsiones rurales***	Transversal	Tasa de extorsiones rurales por cada 1.000 habitantes	Sin ocurrencia del delito	≤0,2245	>0,2245
	Hurtos rurales	Transversal	Tasa de hurtos rurales por cada 1.000 habitantes	Sin ocurrencia del delito	≤7,3112	>7,3112
	Secuestros rurales	Transversal	Tasa de secuestros rurales por cada 1.000 habitantes	Sin ocurrencia del delito	≤0,0550	>0,0550
	Homicidios rurales	Transversal	Tasa de homicidios rurales por cada 1.000 habitantes	Sin ocurrencia del delito	≤0,6281	>0,6281

	Decomisos de madera comercial		Transversal	Decomisos por municipio (m^3)	Sin reporte de decomiso	≤15,2	>15,2
Condiciones de vida	***Trabajo***	*Trabajo informal*	Transversal	% de hogares con privaciones	85,3	92,6	94,7
		Tasa de dependencia		% de hogares con privaciones	30,3	45,3	69,1
	Salud	*Barreras de acceso a servicios*	Transversal	% de hogares con privaciones	3,3	13,5	6,6
		Sin aseguramiento en salud		% de hogares con privaciones	12,7	13,4	33,0
	Condiciones educativas del hogar	*Analfabetismo*	Transversal	% de hogares con privaciones	12,2	18,5	33,75
		Bajo logro educativo		% de hogares con privaciones	59,89	81,61	82,9
	Condiciones de vivienda y acceso a servicios públicos	*Hacinamiento crítico*	Transversal	% de hogares con privaciones	6,7	9,0	16,7
		Inadecuada eliminación de excretas		% de hogares con privaciones	16,3	41,0	46,3
		Inadecuado material de paredes exteriores		% de hogares con privaciones	2,8	3,0	8,8
		Inadecuado material de pisos		% de hogares con privaciones	13,7	14,7	58,3
		Sin acceso a fuentes de agua mejorada		% de hogares con privaciones	22,7	67,4	51,2
	Condiciones de la niñez y de la juventud	*Barreras de acceso al cuidado*	Transversal	% de hogares con privaciones	1,7	3,3	13,0
		Trabajo infantil		% de hogares con privaciones	1,7	3,2	3,5
		Inasistencia escolar		% de hogares con privaciones	4,2	8,0	16,4
		Rezago escolar		% de hogares con privaciones	15,7	26.3	42,5

Fuente: Elaboración propia.

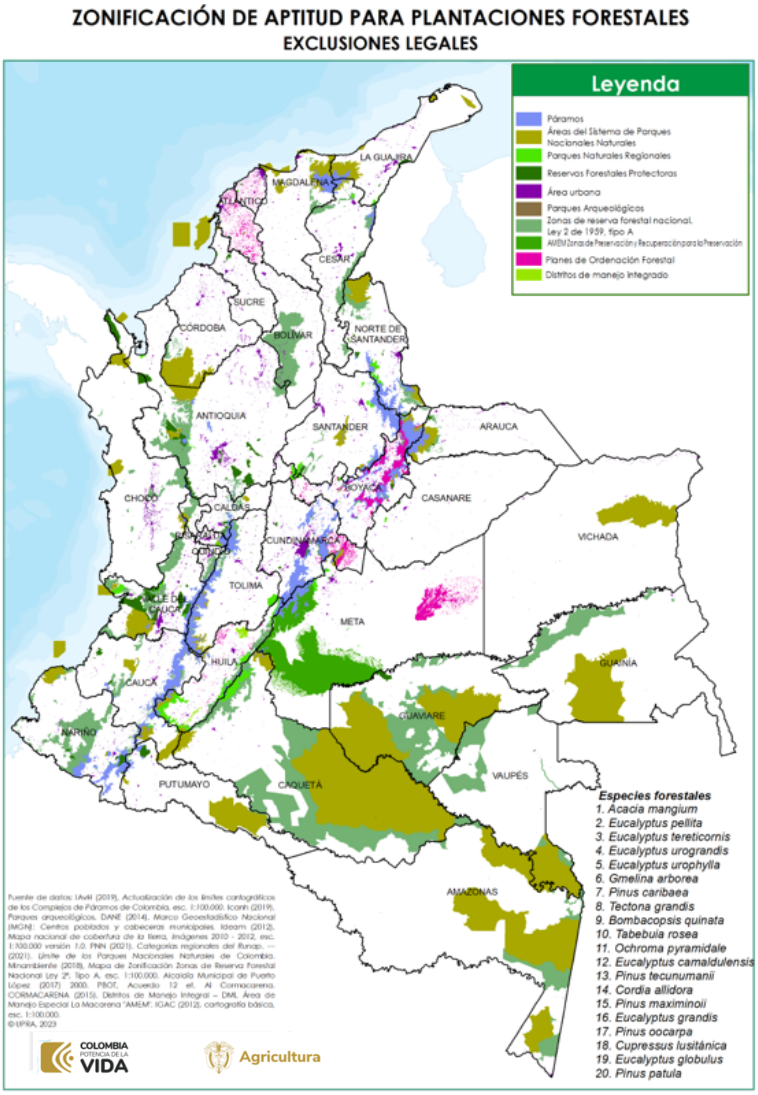
3.4. Exclusiones legales y condicionantes legales

En esta fase de la metodología, se identificó la normativa que regula las actividades productivas agrícolas, en este caso, las plantaciones forestales comerciales, tanto de forma excluyente como condicionante. Los lineamientos orientan o excluyen un uso determinado del territorio rural, lo que implica restricciones legales o condicionantes legales para el uso. El carácter excluyente se refiere a las áreas sobre las cuales está prohibida la realización de proyectos productivos; mientras que los condicionantes legales se refieren a impedimentos relacionados con la normativa que limita el uso del suelo por interés ambiental, cultural y social.

Los condicionantes legales agrupan los factores ecológicos o sociales, según los cuales se supediten o puedan modificar algunos elementos de la producción comercial sin que represente una restricción al uso o a la reducción de la aptitud del territorio para la implementación. Por este motivo, se requieren detalles adicionales que deben ser estudiados con las autoridades ambientales competentes o con las comunidades establecidas en tales zonas. Es decir: las áreas bajo condicionantes legales podrán ser reclasificadas en la zonificación de aptitud, dependiendo del nivel de conocimiento que se tenga en el futuro o de las solicitudes de autoridades de ciertas áreas —como territorios indígenas y afrocolombianos— o de aclaración de determinantes legales que puedan ser incluidos en la evaluación.

Desde las perspectivas socioecosistémica y socioeconómica, en las áreas definidas por la importancia biológica la producción agrícola ha de proceder con mecanismos de consulta que determinen la legislación ambiental colombiana. Este principio se aplica en función del compromiso internacional adquirido y ratificado por Colombia para la protección y la conservación de la biodiversidad, además de considerar la preexistencia de comunidades humanas que representan un patrimonio étnico de interés para el país, cuyos principios de vida, cultura y relacionamiento con el entorno natural han de respetarse para no ponerse en riesgo. La Tabla 23 presenta las exclusiones legales y la Figura 12, el respectivo mapa; la Tabla 24 presenta los condicionantes legales definidos para la zonificación de aptitud de las especies forestales comerciales seleccionadas y la Figura 13, el respectivo mapa.

Figura 12. Mapa de exclusiones legales



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23. Exclusiones legales

Variable	Áreas de exclusión legal
Ecosistemas estratégicos (páramos)	**Páramos:** El Consejo de Estado indica, en la Providencia del 9 de marzo de 2015, que están absolutamente prohibidas las concesiones mineras, títulos mineros y las actividades agropecuarias en los páramos colombianos. Así mismo, facultó al Gobierno colombiano para clausurar las actividades de explotación minera y agropecuaria que se desarrollan en estos ecosistemas y que pueden perjudicarlos. Al respecto, el ente judicial señala lo siguiente: «El objetivo central de las normas ambientales es subordinar el interés privado, que representa la actividad económica, al interés público o social, que exige la preservación del ambiente». La providencia explicó que los ministerios de Ambiente, Agricultura y Minas están obligados a iniciar programas de sustitución y capacitación ambiental o de reconversión para las actividades agropecuarias que se desarrollaban en los páramos antes de la entrada en vigor de la Ley 1450 del 2011. Sin embargo, si alguna de las labores pone en riesgo el ecosistema, el Estado podrá expropiar el predio para buscar la restauración y conservación ambiental. En los ecosistemas de páramos no se podrán adelantar actividades agropecuarias ni de exploración o explotación de hidrocarburos y minerales. Para esto, se considera como referencia la cartografía contenida en el *Atlas de páramos de Colombia* del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH) hasta que se cuente con la cartografía a una escala más detallada (Ley 1450 de 2011). La Sentencia C-035 de 2016, proferida por la Corte Constitucional establece que, ante la vulnerabilidad, la fragilidad y la dificultad para recuperar los ecosistemas de páramos, el Estado tiene la obligación de brindar una protección más amplia y especial, dirigida a preservar este tipo de ecosistemas. La razón de esta norma se debe no sólo a que es un tipo de bioma poco común en el mundo, sino también a los importantes servicios ambientales que presta y a que en la actualidad es un ecosistema sometido a intervenciones negativas o disturbios que afectan su pervivencia. De acuerdo con la Resolución 0886 de 2018, se ha avanzado en la zonificación de los páramos delimitados en relación con las actividades agropecuarias que se venían desarrollando allí con anterioridad al 16 de junio de 2011. De tal forma, se han diseñado programas de sustitución y reconversión de las actividades agropecuarias, y la puesta en marcha de estos programas a cargo del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural mediante la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA), la Agencia Nacional de Desarrollo Rural (ADR), la Agencia Nacional de Tierras (ANT) y otras entidades adscritas.
Áreas protegidas	***Áreas del sistema de parques nacionales naturales*:** forman parte del sistema nacional de áreas protegidas (Sinap) y están integradas por los tipos de áreas estipulados en el Decreto 2811 de 1974 y el Decreto 2372 de 2010, compendiado en el Decreto 1076 de 2015, único del sector ambiental, que reglamenta el Sinap. El Sinap incluye las

	figuras de los parques nacionales naturales; el área natural única; las reservas naturales; los santuarios de fauna; los santuarios de fauna y flora; y la vía parque. De conformidad con el Decreto 622 de 1977, compendiado en el Decreto 1076 de 2015, único del sector ambiental, esta categoría es totalmente incompatible con las actividades agropecuarias e industriales.
	***Parques naturales regionales*:** de acuerdo con el Decreto 2372 de 2010, compendiado en el Decreto 1076 de 2015, único del sector ambiental, los parques nacionales regionales se consideran espacios geográficos cuyos ecosistemas de bosque mantienen la función, aunque la estructura y composición hayan sido modificadas y los valores naturales asociados se hayan puesto al alcance de la población humana para destinarlos a la preservación, uso sostenible, restauración, conocimiento y disfrute. Esta zona de propiedad pública o privada se reserva para destinarla establecer o mantener y usar sosteniblemente los bosques y demás coberturas vegetales naturales.
	***Reservas forestales protectoras*:** de acuerdo con el Decreto 2372 de 2010, compendiado en el Decreto 1076 de 2015, único del sector ambiental, las reservas forestales protectoras se consideran espacios geográficos cuyos ecosistemas de bosque mantienen la función, aunque la estructura y composición hayan sido modificadas y los valores naturales asociados se hayan puesto al alcance de la población humana para destinarlos a la preservación, uso sostenible, restauración, conocimiento y disfrute. Esta zona de propiedad pública o privada se reserva para destinarla a establecer o mantener y usar sosteniblemente los bosques y demás coberturas vegetales naturales.
	***Zonas de preservación y recuperación para la preservación del AMEM*:** de conformidad con el Decreto 1989 del 1989, «por el cual se declara Área de Manejo Especial La Macarena, la Reserva Sierra de la Macarena, se clasifica y zonifica su territorio y se fijan sus límites reales», en la respectiva zonificación de estas áreas se definieron zonas para la preservación y recuperación para la preservación en los distritos de manejo integrado (DMI) que hacen parte del AMEM. Las zonas identificadas como exclusiones son las siguientes: a) recuperación para la preservación sur; b) recuperación para la preservación norte; c) vertiente oriental; y d) recuperación para la preservación sur. Además, se detallan los siguientes polígonos de zonificaciones: para el distrito de manejo integrado (DMI) Macarena Norte, la zona de recuperación para la producción, es decir, las áreas de uso de preservación; y la zona de recuperación para la preservación, es decir, las áreas de uso de preservación y las áreas de uso de restauración. Para el distrito de manejo integrado (DMI) Losada-Perdido, la zona de recuperación para la producción, es decir, las áreas de uso de preservación.

	Distritos de manejo integrado: están definidos por el Decreto 2372 de 2010, compendiado en el Decreto 1076 de 2015, único del sector ambiental, como espacios geográficos cuyos paisajes y ecosistemas mantienen la composición y la función, aunque la estructura haya sido modificada, y cuyos valores naturales y culturales asociados se hayan puesto al alcance de la población humana para destinarlos al uso sostenible, a la preservación, a la restauración, al conocimiento y al disfrute. De esta categoría hacen parte las zonas de los distritos regionales de manejo integrado (DRMI) La Tatacoa, localizada en los municipios de Villavieja y Baraya en el Huila, y la serranía de Peñas Blancas. Estas zonas están identificadas en la presente zonificación como áreas para la preservación, restauración para la preservación y uso público —subzonas para la recreación y alta densidad de uso—, descritas en los planes de manejo elaborados por la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM) con la caracterización biofísica del área protegida, la caracterización socioeconómica, la descripción paisajística, las características culturales, la planificación del territorio, la caracterización de los sistemas productivos y la zonificación del área, los usos y las normas asociadas. Estos distritos están adaptados por el Acuerdo 012 de 2015 (Plan de Manejo del Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) La Tatacoa) y el Acuerdo 015 de 2020 (Plan de manejo ambiental del Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) serranía de Peñas Blancas).

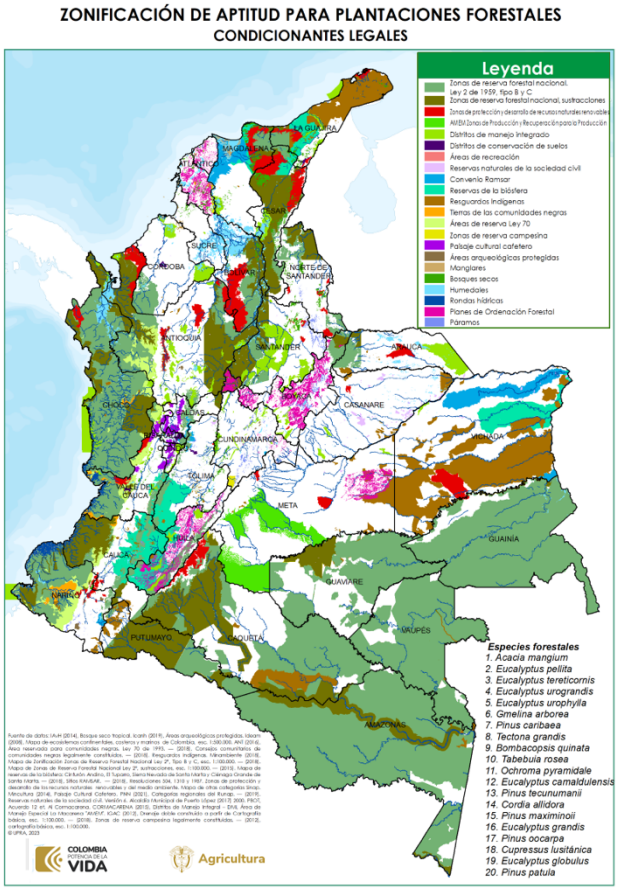
Planes de ordenación forestal	***Planes de ordenación forestal*:** según el Decreto 1076 de 2015, el plan de ordenación forestal (POF) se define como un documento desarrollado por las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) con base en las características bióticas, abióticas, sociales y económicas de la zona, lo que permite ordenar las áreas forestales que se encuentran en el territorio. Los POF se proponen usar los recursos forestales de manera planificada; asegurar la sostenibilidad en el aprovechamiento; manejar integral y sosteniblemente el recurso forestal; y estructurar el conocimiento, análisis, interpretación y evaluación integral de los componentes biofísicos principales, como el ecológico y el silvicultural, los suelos, la hidro-climatología y los componentes socio-económicos y legales. Actualmente, el Decreto 1076 de 2015 recopila lo establecido en el Decreto 1791 de 1996 el cual dictamina que las Corporaciones Autónomas Regionales deben contar con un plan de ordenación forestal, en el cual se definan las áreas boscosas pertenecientes a su jurisdicción y su respectivo manejo. Por lo tanto, de acuerdo con los criterios técnicos y legales, referentes de uso y manejo para las áreas de ordenación forestal definidas por la corporación autónoma regional del alto magdalena (CAM), Corporación autónoma regional del canal del Dique (Cardique), Corporación para el desarrollo sostenible del área de manejo especial la Macarena (Cormacarena), para las cuenca del río Planas y del río Tillavá en el municipio de Puerto Gaitán, departamento del Meta, Corporación autónoma regional de Boyacá (Corpoboyacá),Corporación autónoma regional del Guavio (Corpoguavio) y Corporación autónoma regional del Atlántico (CRA), Corporación Autónoma Regional de Sucre (Carsucre), Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), Corporación Autónoma Regional del Sur de Bolívar (CSB), Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge (CVS) y Corporación Autónoma Regional de Santander (CAS), se presentan exclusiones legales relacionadas con los usos prohibidos de las áreas forestales protectoras, áreas para la preservación, áreas forestales de protección para la preservación y restauración, áreas de protección para la conservación de la biodiversidad, suelos y recurso hídrico, macrounidades de manejo forestal para la conservación de cuerpos de agua, restauración ecológica de rondas y para la conservación.
Parques arqueológicos	***Parques arqueológicos***: son áreas arqueológicas protegidas, declarados mediante una resolución, los cuales han sido adaptados para recibir visitantes y que se encuentran bajo tutela del Icanh, ello permite realizar labores de conservación e investigación. La declaratoria de un polígono como área arqueológica protegida genera un marco de protección sobre el área marcada y el encargado de ejecutar el plan de Manejo Arqueológico cuenta con el apoyo de entidades estatales para asegurar la conservación de estos espacios patrimoniales (Icanh, 2018). ***Plan de manejo arqueológico***: concepto técnico de obligatoria atención emitido por la autoridad competente respecto a contextos arqueológicos, bienes muebles e inmuebles integrantes del patrimonio o zonas de influencia arqueológica. El plan de manejo

	establece oficiosamente o a solicitud de sus tenedores los niveles permitidos de intervención, las condiciones de manejo y los planes de divulgación (Decreto 833 de 2002).
Zonas de reserva forestal nacional, Ley 2 de 1959, tipo A	Las zonas de reserva forestal nacional fueron creadas para el desarrollo de la economía forestal y protección de los suelos, las aguas y la vida silvestre, mediante la Ley 2 de 1959. Se compone de siete reservas forestales nacionales (ZRFN): ZRFN del Pacífico; ZRFN central, ZRFN del río Magdalena; ZRFN de la Sierra Nevada de Santa Marta; ZRFN de la serranía de los Motilones; ZRFN del Cocuy; y ZRFN de la Amazonia. La zonificación adelantada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) en las zonas de reserva forestal nacional definió tres zonas tipo, denominadas A, B y C, según lo cual se establece que las zonas tipo A son «las zonas que garantizan el mantenimiento de los procesos ecológicos básicos necesarios para asegurar la oferta de servicios ecosistémicos, relacionados principalmente con la regulación hídrica y climática; la asimilación de contaminantes del aire y del agua; la formación y protección del suelo; la protección de paisajes singulares y de patrimonio cultural; y el soporte a la diversidad biológica». El MADS adoptó la zonificación y el ordenamiento de las reservas forestales nacionales mediante las siguientes resoluciones: a. Resolución 1922 de 2013, que adopta la zonificación y el ordenamiento de la reserva forestal central, establecida en la Ley 2 de 1959 (MADS, 2013a). b. Resolución 1923 de 2013, que adopta la zonificación y el ordenamiento de la reserva forestal de la serranía de los Motilones, establecida en la Ley 2 de 1959 (MADS, 2013b). c. Resolución 1924 de 2013, que adopta la zonificación y el ordenamiento de la reserva forestal del río Magdalena, establecida en la Ley 2 de 1959 (MADS, 2013c). d. Resolución 1925 de 2013, que adopta la zonificación y el ordenamiento de la reserva forestal de la Amazonia, establecida en la Ley 2 de 1959, en los departamentos de Caquetá, Guaviare y Huila (MADS, 2013d). e. Resolución 1926 de 2013, que adopta la zonificación y el ordenamiento de la reserva forestal del Pacífico, establecida en la Ley 2 de 1959 (MADS, 2013e). f. Resolución 1275 de 2014, que adopta la zonificación y el ordenamiento de la reserva forestal del Cocuy, establecida en la ley 2 de 1959 (MADS, 2014a). g. Resolución 1276 de 2014, que adopta la zonificación y el ordenamiento de la reserva forestal de la Sierra Nevada de Santa Marta, establecida en la Ley 2 de 1959 (MADS, 2014b).

	h. Resolución 1277 de 2014, que adopta la zonificación y el ordenamiento de la reserva forestal de la Amazonia, establecida en la Ley 2 de 1959, en los departamentos de Amazonas, Cauca, Guainía, Putumayo y Vaupés (MADS, 2014c).

Fuente: Elaboración propia.

Figura 13. Mapa de condicionantes legales



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 24 se presentan los condicionantes legales contemplados en la zonificación de aptitud para veinte especies forestales, con fines comerciales en Colombia a escala 1:100.000.

Tabla 24. Condicionantes legales

Condicionante	Descripción
Áreas protegidas	***Distritos de manejo integrado (DMI)***: de conformidad con el artículo 14 del Decreto 2372 de 2010, compendiado en el Decreto 1076 de 2015, único del sector ambiental, son espacios geográficos en los que los paisajes y ecosistemas mantienen su composición y función, aunque su estructura haya sido modificada, y cuyos valores naturales y culturales asociados se ponen al alcance de la población humana para destinarlos a su uso sostenible, preservación, restauración, conocimiento y disfrute.
	Zonas de producción y recuperación para la producción del AMEM: de acuerdo con el Decreto 1989 de 1989 «Por el cual se declara Área de Manejo Especial La Macarena, la Reserva Sierra de la Macarena, se clasifica y zonifica su territorio y se fijan sus límites reales», entre su zonificación se definen las zonas a) recuperación para la producción occidente, b) preservación vertiente oriental, c) producción Ariari-Guayabero, d) recuperación para la preservación sur y e) recuperación para la producción sur. Se consideran condicionantes: DMI Macarena norte, zona de recuperación para la producción: áreas de uso de restauración y áreas de uso sostenible (áreas de uso para el desarrollo y áreas de uso para el aprovechamiento sostenible); DMI Losada-perdido, zona de recuperación para la producción: áreas de uso de restauración para la preservación, áreas de uso de restauración para recuperación – rehabilitación y áreas de uso sostenible
	Distritos de conservación de suelos (DCS): el Decreto 2372 de 2010, compilado por el Decreto 1076 de 2015 define que son espacios geográficos cuyos ecosistemas estratégicos, en la escala regional, mantienen su función, aunque su estructura y composición hayan sido modificadas; aportan esencialmente a la generación de bienes y servicios ambientales, cuyos valores naturales y culturales asociados se ponen al alcance de la población humana para destinarlos a su restauración, uso sostenible, preservación, conocimiento y disfrute, por las restricciones debidas a su orientación de manejo para la recuperación de suelos alterados o degradados o la prevención de fenómenos que causen alteración o degradación en áreas especialmente vulnerables por sus condiciones físicas o climáticas o por la clase de utilidad que en ellas se desarrolla.
	Áreas de recreación: conforme al artículo 15 del Decreto 2372 de 2010, compendiado en el Decreto 1076 de 2015, único del sector ambiental, son espacios geográficos en los que los paisajes y ecosistemas estratégicos en la escala regional mantienen la función, aunque su estructura y composición hayan sido modificadas, con un potencial significativo de recuperación, y cuyos valores naturales y culturales asociados se ponen al alcance de la población humana para destinarlos a su restauración, uso sostenible, conocimiento y disfrute; por esa

	razón, esta categoría impone restricciones similares a las de los distritos de manejo integrado.
	Reservas naturales de la sociedad civil (RNSC): totalidad o una parte del área de un inmueble que conserve una muestra de un ecosistema natural y sea manejado bajo los principios de sustentabilidad en el uso de los recursos naturales y que, por la voluntad de su propietario, se destina para su uso sostenible, preservación o restauración con vocación de largo plazo (Decreto 2372 de 2010). Estas RNSC tienen una zonificación y un plan de manejo que deben ser previamente consultados, si se pretende desarrollar algún proyecto productivo dentro de esta zona
	Zonas de protección y desarrollo de los recursos naturales renovables y del medioambiente: por medio de las resoluciones 1987 y 1310 de 2018 del MADS, se declara una medida de precaución que protege temporalmente los sitios en los cuales se adelantan procesos de declaratoria de áreas protegidas nacionales y regionales. Esta es una acción estratégica que pretende aumentar la representatividad ecológica del sistema, la creación de áreas protegidas en los sitios definidos por los procesos técnicos a diferentes escalas, para la identificación de vacíos de conservación y definición de prioridades; con base en dichos estudios.
Planes de ordenación forestal	***Planes de ordenación forestal***: según el Decreto 1076 de 2015, el Plan de ordenación forestal (POF) se define como un documento desarrollado por las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR), estructurado a partir de las características bióticas, abióticas, sociales y económicas de la zona, permitiendo ordenar las áreas forestales que se encuentran en el territorio. Los POF tienen como objetivo lograr el uso de los recursos forestales de manera planificada y asegurando la sostenibilidad en su aprovechamiento. Los POF son considerados como el proceso e instrumento de planificación que tienen por objeto el ordenamiento, uso y manejo integral y sostenible del recurso forestal, de las tierras forestales, estructurado en el conocimiento, análisis, interpretación y evaluación integral de sus componentes biofísicos principales resaltando en estos el ecológico y silvicultural, suelos e hidroclimatología y de sus componentes socioeconómicos y legales; con fines de alcanzar objetivos de conservación, protección y manejo integral y sustentable del recurso forestal, de las tierras forestales y de la biodiversidad y servicios ecosistémicos asociados a los diferentes departamentos. Actualmente, el Decreto 1076 de 2015, recopila lo establecido en el Decreto 1791 de 1996, el cual dictamina que las Corporaciones Autónomas Regionales deben contar con un plan de ordenación forestal en el que se definan las áreas boscosas pertenecientes a su jurisdicción y el respectivo manejo. De acuerdo con los criterios técnicos y legales, se presentan condicionantes legales para el manejo de las áreas de ordenación forestal definidas por la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM); la Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique (Cardique); la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena (Cormacarena) para las Cuenca del río Planas y del río Tillavá

	en Puerto Gaitán, Meta; la Corporación Autónoma Regional de Boyacá (Corpoboyacá); la Corporación Autónoma Regional del Guavio (Corpoguavio); la Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA); la Corporación Autónoma Regional de Sucre (Carsucre); la Corporación Autónoma Regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga (CDMB); la Corporación Autónoma Regional del Sur de Bolívar (CSB); la Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge (CVS); y la Corporación Autónoma Regional de Santander (CAS). Éstas se relacionan con las áreas forestales protectoras; las áreas protectoras para la regulación; las áreas de restauración del bosque seco tropical (Bs-T); las áreas forestales para la conservación; las áreas misceláneas o de producción mixta; las áreas críticas por erosión severa en suelos arenosos y vegetación herbácea; las áreas críticas por salinización en usos agrícolas intensivos; las áreas forestales de producción directa; las áreas forestales de protección para el uso sostenible; y las zonas para la restauración, las plantaciones de carácter protector, el aprovechamiento artesanal de productos maderables y no maderables, las macrounidades de manejo forestal para la producción de maderas finas, ordinarias y productos forestales no maderables, los servicios ambientales de conectividad biológica y la restauración ecológica.
Ecosistemas estratégicos	***Rondas hídricas***: el Decreto 1449 de 1977, compendiado en el Decreto 1076 de 2015, único del sector Ambiental, establece que los propietarios de los predios rurales deben mantener en cobertura boscosa dentro del inmueble respectivo las áreas forestales protectoras. Éstas se definen como «una faja no inferior a 30 m de ancha, paralela a las líneas de marea máximas, a cada lado de los cauces de los ríos, quebradas y arroyos, sean permanentes o no, y alrededor de los lagos o depósitos de agua». La ronda, de conformidad con la Ley 388 de 1997, es un determinante ambiental que debe considerarse como norma de superior jerarquía por los municipios y distritos (Consulta No. 4120-E1-11525 del 7 de febrero de 2007, MADS). El Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, Decreto 2811 de 1974, establece una regulación de propiedad la en relación con las zonas paralelas a los cauces permanentes. La norma consagra que la faja paralela a las líneas de mareas máximas o al cauce permanente de ríos y lagos de hasta 30 metros es un bien inembargable e imprescriptible del Estado, excepto si existen derechos adquiridos. En este sentido, el Decreto 3600 de 2007, que regula sobre los determinantes para el ordenamiento del suelo rural, señala que las rondas hidráulicas hacen parte de la categoría de áreas de conservación y protección ambiental al ser áreas de especial importancia ecosistémica
	Manglares: se definen como ecosistemas de zonas costeras en los que se relacionan especies arbóreas de diversas familias denominadas *mangle* con otras plantas; con animales que allí habitan permanentemente o durante algunas fases de su vida; y con las aguas, los suelos y otros componentes del ambiente

	(Resolución 1602 de 1995, MMA). Para que los manglares sean conservados, el Ministerio del Medio Ambiente de la época desarrolló el Programa nacional para el uso sostenible, manejo y conservación de los ecosistemas de manglar en el año 2002. En estos ecosistemas, se prohíbe cualquier obra, industria o actividad que se localice dentro del área y que destruya su cobertura forestal o altere los procesos ecológicos del ecosistema. Se exceptúan las labores comunitarias de acuicultura artesanal que no causen detrimento al manglar y que sean debidamente aprobadas por las entidades administrativas de los recursos naturales competentes (Resolución 1602 de 1995, MMA).
	Humedales: son ecosistemas estratégicos de gran importancia ecológica, ya que ofrecen una gran variedad de bienes y servicios a las comunidades aledañas. Estos ecosistemas han ido desapareciendo debido a muchos factores que alteran las características físicas, biológicas y químicas, lo cual afecta la flora y la fauna allí presente. Por su arte, el Decreto 1640 de 2012 considera los ecosistemas de importancia estratégica para la conservación de recursos hídricos, puesto que garantizan la oferta de servicios ecosistémicos relacionados con el ciclo hidrológico y con los procesos de regulación disponibilidad del recurso hídrico en un área determinada.
	Bosques secos: son parte de las zonas secas donde dominan especies con características morfofisiológicas con notable adaptación a la sequía. En estas zonas, las sequías son pronunciadas, por la baja humedad atmosférica, y la evapotranspiración potencial es alta, lo cual se asocia con la escasez de nutrientes en el suelo. Estas zonas están sufriendo una rápida pérdida, fragmentación y degradación de sus ecosistemas, por lo que el Ministerio del Medio Ambiente de la época desarrolló un plan de acción nacional de lucha contra la desertificación y la Sequía (PAN) en el año 2005. Con ello, se busca adelantar acciones para el manejo sostenible de los ecosistemas de las zonas secas y la aplicación de medidas no sólo que permitan prevenir, detener y revertir procesos degradativos, sino también contribuir al desarrollo sostenible de las zonas afectadas.
Distinciones internacionales	***Distinciones internacionales*:** agrupa los lugares que, por factores ecológicos, motivan el reconocimiento internacional y nacional mediante la adscripción a tratados. El soporte legal de los bosques secos implica que se supediten o puedan modificar algunos elementos de la producción comercial sin que represente una restricción al uso o la reducción de la aptitud del territorio para la implementación. Por este motivo, requieren detalles adicionales que deben ser estudiados con las autoridades ambientales competentes. Las áreas son definidas por su importancia biológica y de acuerdo con el compromiso internacional adquirido y ratificado por el país para la protección y conservación de la biodiversidad. En el ejercicio de la presente zonificación de aptitud, se consideraton las siguientes distinciones internacionales: ***Convenio Ramsar***: este convenio se refiere a la protección de humedales. En el convenio se define una *zona húmeda* o *humedal* como «cualquier extensión de

	marisma, pantano o turbera, o superficie cubierta de aguas, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de aguas marinas cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros» (Unesco, 1971). Al respecto, cabe resaltar que la Ley 1450 de 2011 indica que en los ecosistemas de humedales se podrán restringir parcial o totalmente actividades agropecuarias, de explotación de alto impacto y explotación de hidrocarburos y minerales con base en estudios técnicos, económicos y sociales y ambientales adoptados por el Ministerio de Ambiente o quien haga sus veces. La norma destaca que en los humedales designados dentro de la lista de importancia internacional del Convenio Ramsar no se podrán adelantar esas actividades, aunque las limitaciones de las áreas deben obedecer al respectivo plan de manejo en el que se definen las zonas de conservación, preservación y uso. ***Reservas de la biósfera***: son áreas geográficas representativas de la diversidad de hábitats del planeta. Como ecosistemas terrestres o marítimos, se caracterizan porque no son exclusivamente protegidos, sino que pueden albergar a comunidades humanas que vivan de actividades económicas sustentables sin poner en peligro el valor ecológico del sitio. Una vez designado el nombramiento, la reserva queda reconocida internacionalmente, pero bajo soberanía de los respectivos Estados, que deben asegurar el cumplimiento y mantenimiento de las características excepcionales que hicieron posible la nominación. En Colombia, las distinciones internacionales abarcan las siguientes áreas: el cinturón andino; El Tuparro, la Sierra Nevada de Santa Marta; la ciénaga grande de Santa Marta; el Seaflower; y la serranía de Chiribiquete y la Lindosa. ***Áreas de importancia para la conservación de las aves silvestre y la biodiversidad (AICAS)***: son áreas identificadas como sitios críticos para la conservación de aves y biodiversidad potencialmente vulnerable. La identificación de estas áreas es una iniciativa global liderada por el BirdLife Internacional, una federación que agrupa instituciones ornitológicas del mundo entero. Los criterios técnicos para la identificación de las AICAS se basan en la presencia de aves prioritarias para la conservación, por lo que se tienen en cuenta las especies globalmente amenazadas (criterio A1); las especies de distribución restringida (criterio A2); el conjunto de especies restringidas a los biomas (criterio A3); y las congregaciones de especies (criterio A4).
Áreas de interés cultural y social	Comprende las zonas delimitadas por el Estado para el reconocimiento, protección y desarrollo de la diversidad étnica y la identidad cultural de las comunidades que las habitan o por ser un patrimonio arqueológico nacional. Por disposiciones legales, estas áreas cuentan con regímenes especiales para el acceso y aprovechamiento de los recursos disponibles en sus territorios.

	Tierras de las comunidades negras: son las titulaciones colectivas de las comunidades negras. De acuerdo con Ley 70 de 1993, si se espera asumir la propiedad colectiva como un bien adjudicable, las comunidades negras deberán establecer un consejo comunitario a la manera de una administración propia y los requerimientos se formularán según la normativa del Gobierno. ***Áreas de reserva Ley 70 de 1993***: son las tierras baldías en las zonas rurales ribereñas de los ríos de la Cuenca del Pacífico, reconocidas a las comunidades negras, que han venido ocupando de acuerdo con sus prácticas tradicionales de producción, como propiedad colectiva. Esto con el fin de proteger la identidad cultural y de los derechos de las comunidades negras de Colombia como grupo étnico, y el fomento de su desarrollo económico y social, con el fin de garantizar que estas comunidades obtengan condiciones reales de igualdad de oportunidades frente al resto de la sociedad colombiana (Ley 70 de 1993). ***Zonas de reserva campesina***: son tierras baldías de la nación adjudicadas a los campesinos de escasos recursos con el fin de fomentar la pequeña propiedad rural. Sin embargo, se deben sujetar tanto a las políticas de conservación del área, medio ambiente y recursos naturales renovables, como a los criterios de ordenamiento territorial y de la propiedad rural que se señalen (Ley 160 de 1994). En las zonas de reserva campesina, la acción del Estado considerará las reglas y criterios sobre el ordenamiento ambiental territorial; la efectividad de los derechos sociales, económicos y culturales de los campesinos; la participación de éstos en las instancias de planificación; las decisiones regionales; y las características de las modalidades de producción. ***Paisaje cultural cafetero*:** área en cuyo paisaje cultural productivo se combinan elementos naturales, económicos y culturales con un extraordinario grado de homogeneidad en la forma de las plantaciones de café. Este paisaje fue reconocido como patrimonio cultural de la nación y como bien inscrito en la lista de patrimonio mundial de la Unesco. Consiste en un territorio compuesto por zonas de especial interés arqueológico, histórico y cultural (Resolución 2079 de 2011, Mincultura). ***Áreas de resguardos indígenas***: los resguardos indígenas son una institución legal y sociopolítica de carácter especial conformada por una o más comunidades indígenas. Con un título de propiedad colectiva, estas zonas gozan de las garantías de la propiedad privada, poseen su territorio y se rigen para su manejo y vida interna por una organización autónoma amparada por el fuero indígena y su sistema normativo (Decreto 2164 de 1995). Conforme a los artículos 63 y 329 de la Constitución Política, estas áreas presentan un carácter de inalienables, imprescriptibles e inembargables, cuyo condicionante se fundamenta, además, en lo establecido por la Ley 21 de 1991 y el Convenio OIT 169 (2014).

	Áreas arqueológicas protegidas (APP): conforman un polígono o zona delimitada que, por sus evidencias arqueológicas, requiere de una especial protección y conservación, con el fin de posibilitar la investigación, la divulgación y el turismo responsable (Instituto Colombiano de Antropología e Historia [Icanh], 2019). Estas áreas siguen un plan de manejo arqueológico definido por el Icanh, según se le permite realizar labores de agricultura tradicional y restringe el desarrollo de agricultura mecanizada en las áreas de potencial muy alto. ***Áreas de reserva especial minera (ARE)*:** son áreas declaradas por la Agencia Nacional de Minería (ANM) en favor de una comunidad minera con explotaciones tradicionales de minería informal. La concesión solamente se otorgará a la comunidad que haya ejercido la actividad minera tradicional sin perjuicio de los títulos mineros vigentes (Ley 685 de 2001, modificada por el Decreto 019 de 2012).
Zonas de reserva forestal nacional, Ley 2 de 1959, tipos B y C	***Zonas de reserva forestal nacional, Ley 2 de 1959, tipo B y C***: las zonas de reserva forestal nacional fueron creadas para el desarrollo de la economía forestal y protección de los suelos, las aguas y la vida silvestre mediante la Ley 2 de 1959. Se compone de siete reservas forestales nacionales (ZRFN): ZRFN del Pacífico; ZRFN central; ZRFN del Río Magdalena; ZRFN de la Sierra Nevada de Santa Marta; ZRFN de la serranía de los Motilones; ZRFN del Cocuy; y ZRFN de la Amazonia. ***Zona tipo B***: zonas que se caracterizan por tener coberturas favorables para un manejo sostenible del recurso forestal mediante un enfoque de ordenación forestal integral y la gestión integral de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (Resolución 1922 de 2013, MADS, que corresponde a la adopción de la zonificación de la zona de reserva forestal central). ***Zona tipo C***: zonas que por sus características biofísicas ofrecen condiciones para desarrollar actividades productivas agroforestales, silvopastoriles y otras compatibles con los objetivos de la reserva forestal. Ésas deben incorporar el componente forestal y no implicar la reducción de las áreas de bosque natural presentes en los diferentes estados sucesionales (Resolución 1922 de 2013, MADS, que corresponde a la adopción de la zonificación de la zona de reserva forestal central).
	Sustracciones de las reservas forestales, Ley 2 de 1959: de acuerdo con la Ley 99 de 1993, en concordancia con el Decreto-Ley 3570 de 2011, facultó al hoy Ministerio de Agricultura y Desarrollo Social a reservar, alinderar y sustraer las reservas forestales nacionales. La sustracción se evalúa y luego se otorga exclusivamente para la actividad que fue solicitada su sustracción. Para la presesten zonificación se establecieron como condicionante, dado que las sustracciones se realizan para una actividad determinada con la cual fueron solicitadas y no se puede realizar otro uso.

Agricultura de bajo impacto	Agrupan áreas en páramos delimitados donde se desarrollan actividades de bajo impacto y ambientalmente sostenibles, en las cuales, de acuerdo con la Ley 1930 de 2018, se podrá permitir la continuación de este tipo de actividades agropecuarias de bajo impacto haciendo uso de buenas prácticas que cumplan con estándares ambientales en defensa de los páramos. De acuerdo con la Resolución 1294 de 2021, corresponden a actividades agropecuarias de bajo impacto las «actividades agrícolas, pecuaria, forestal, acuícola o pesquera, cuyos sistemas de producción, además de satisfacer las necesidades básicas de los habitantes tradicionales del páramo y generar ingresos económicos, no ponen en riesgo la funcionalidad del ecosistema de páramo, ni la prestación de los servicios ecosistémicos donde se desarrollan».
Gestión de riesgo	De acuerdo con la Ley 1523 de 2012, en el que se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, la gestión del riesgo se define como el «proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia del mismo, para impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastre, así como para la posterior recuperación, entiéndase: rehabilitación y reconstrucción. Estas acciones tienen el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar y calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible». Entre las variables de gestión de riesgo se incorporan las siguientes: ***Amenaza por remoción en masa***: comprende el desplazamiento desde la ladera debajo de material litológico, suelo, roca o cobertura vegetal por acción de la fuerza de la gravedad, la influencia de la pendiente del terreno y la cohesión o características del material. Esta amenaza se considera como un peligro latente relacionado con un fenómeno físico de origen natural que puede producir efectos adversos en las personas, los bienes o el medio ambiente. ***Amenaza volcánica*:** comprende cualquier evento volcánico potencialmente destructivo que puede afectar un área determinada. Esta amenaza no considera la presencia o no de población o bienes alrededor del volcán e incide en el arrasamiento o destrucción de la vegetación, de cultivos y de las estructuras existentes a lo largo de área. ***Áreas inundables*:** zonas con desbordamiento del agua fuera de los limites normales de un río o cualquier cuerpo de agua o acumulación de agua en zonas de drenajes que normalmente no se encuentran anegadas (OMM y Unesco, 2012). La inundación involucra la sumersión temporal de terrenos que normalmente se

	encuentran secos debido a aportes inusuales o repetinos de una cantidad de agua superior a la habitual en la zona determinada.

Fuente: Elaboración propia.

3.5. Análisis multicriterio

Método diseñado para alcanzar un objetivo específico mediante la valoración, de manera estructurada, de varios criterios. Un *criterio* es la base para una decisión que puede medirse o evaluarse. En la presente zonificación, el análisis multicriterio se empleó en la definición de opciones estratégicas de tipo físico, socioecosistémico y socioeconómico para identificar los sitios donde es más adecuado establecer una plantación forestal comercial. Los criterios pueden ser de dos tipos: *factores* —donde se definen los niveles de aptitud— o *restricciones* —de carácter técnico, normativo, o técnico-normativo. De este modo, un factor es un criterio que mejora o reduce la aptitud de una alternativa específica para el sector productivo en consideración y una restricción es un criterio que limita, condiciona o excluye esas alternativas (Eastman *et al.*, 1995).

3.5.1. Proceso analítico jerárquico

Dentro de la evaluación multicriterio, una de las técnicas más usadas es el proceso analítico jerárquico (AHP), desarrollado por el matemático Thomas Saaty, que consiste en formalizar la comprensión intuitiva de problemas complejos mediante la construcción de un modelo jerárquico. El propósito del método consiste en permitir que los agente decisores (expertos consultados) puedan estructurar un problema multicriterio en forma visual mediante la construcción de un modelo jerárquico.

El AHP se basa en la estructuración jerárquica y comparación de pares de alternativas y permite, con la estructuración de una matriz de doble entrada —también conocida como *matriz de comparación pareada*—, generar la calificación del grado de incidencia que un factor tiene sobre los otros, comparándolos por pares. Así mismo, con la generación de los vectores propios de estas relaciones, se estima el grado de consistencia de las calificaciones como un valor de significancia estadística para crear el valor de la ponderación y poder realizar la suma lineal ponderada en la siguiente fase de análisis.

Una vez construido el modelo jerárquico, se realizan comparaciones entre pares de tales elementos (*criterios*) y se atribuyen valores numéricos a las preferencias señaladas por las personas, de lo cual surge una síntesis mediante la agregación de esos juicios parciales. El fundamento del proceso de Saaty se basa en otorgar valores numéricos a los juicios emitidos por las personas para medir cómo contribuye cada elemento de la jerarquía al nivel

inmediatamente superior del cual se desprende. Para estas comparaciones, se utilizan escalas de razón en términos de preferencia, importancia o probabilidad, sobre la base de una escala numérica propuesta por Saaty (ver Tabla 25).

Tabla 25. Escala de preferencia o importancia dentro del proceso analítico jerárquico

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Sumamente	Muy fuertemente	Fuertemente	Moderadamente	Igualmente	Moderadamente	Fuertemente	Muy fuertemente	Sumamente
Menos importante				Igual importancia	Más importante			

Fuente: UPRA, 2014.

3.5.2. Matriz del proceso analítico jerárquico

Siguiendo el procedimiento planteado, se realizó la comparación por pares de criterios para calificar cada uno de acuerdo con la importancia relativa de un criterio respecto a otro, lo cual se aplicó a todos los criterios definidos para el análisis en un taller donde se calificaron por pares los criterios y con una escala de importancia. En la Tabla 26 se muestra que *A* es una matriz de comparaciones pareadas de *n* criterios; a_{ij} es la medida de la preferencia del criterio en el renglón *i* cuando se le compara con el criterio de la columna *j*. Cuando $i = j$, el valor de a_{ij} es igual a 1, pues se estaba comparando el criterio consigo mismo. La posición transpuesta de la medida de la preferencia a_{ij} automáticamente fue el valor recíproco de a_{ij}, es decir $1/a_{ij}$.

Tabla 26. Esquema de la matriz de comparación a nivel de criterio

A =

	Criterio 1	**Criterio 2**	**...**	**Criterio *n***
Criterio 1	1	a_{12}	...	a_{1n}
Criterio 2	$1/a_{12}$	1	...	a_{2n}
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
Criterio *n*	$1/a_{1n}$	$1/a_{2n}$	.	1

Fuente: UPRA, 2014.

A partir de la matriz de comparaciones obtenida para plantaciones comerciales de 20 especies forestales, se calcularon las ponderaciones de los criterios y el análisis de consistencia estadística utilizando el *software* Priority Estimation Tool, PriEsT (Siraj *et al.*, 2013). La entrada de datos en esta herramienta fue la matriz de comparación de pares de criterios, la cual se normalizó por columna, es decir: se dividió el valor de cada casilla de la matriz entre el total de la sumatoria de la columna a la cual pertenecía dicho valor. A partir de la matriz normalizada, se obtuvo el llamado *vector de prioridad asociado*, que representó los pesos de cada uno de los criterios considerados.

De esta manera, que el vector de prioridades de cada criterio vinculado a la zonificación de aptitud se definió de la siguiente manera:

$$(\mathrm{P}_1 * \mathrm{criterio}_1) + (\mathrm{P}_2 * \mathrm{criterio}_2) + \cdots + (\mathrm{P}_\mathrm{n} * \mathrm{criterio}_\mathrm{n})$$

Donde:

n = número de criterios;

P_i = grado de incidencia que un criterio tiene sobre los otros.

La Tabla 27 presenta la matriz de integración biofísica (componentes físicos y ecosistémicos) para la zonificación de aptitud de plantaciones forestales de veinte especies comerciales y la Tabla 28 muestra la matriz de evaluación multicriterio para el componente socioeconómico.

Tabla 27. Matriz de evaluación multicriterio de los componentes físicos y socioecosistémicos de la zonificación de aptitud para plantaciones de veinte especies forestales

Criterios	*Disponibilidad de nutrientes*	*Condiciones climáticas*	*Integridad ecológica*	*Condiciones de enraizamiento*	*Apropiación del agua*	*Toxicidad por sales, sodio y aluminio*	*Variación del contenido estimado de carbono*	*Disponibilidad de oxígeno*	*Disponibilidad de humedad*	*Capacidad de laboreo*	*Cambio de cobertura*	*Susceptibilidad de la pérdida de suelos*	*Susceptibilidad de incendios*	**Peso ponderado (%)**
Disponibilidad de nutrientes	1													**22,8**
Condiciones climáticas	1/3	1												**16,6**
Integridad ecológica	1/3	1/3	1											**13,1**
Toxicidad por sales, sodio y aluminio	1/3	1/3	1/3	1										**10,6**
Apropiación del agua	1/3	1/3	1/3	1/3	1									**8,6**
Condiciones de enraizamiento	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1								**6,7**
Variación del contenido estimado de carbono	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1							**5,5**
Disponibilidad de oxígeno	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1						**4,3**
Disponibilidad de humedad	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1					**3,5**
Capacidad de laboreo	1/5	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1				**2,8**
Cambio de cobertura	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1			**2,2**
Susceptibilidad de la pérdida de suelos	1/7	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1		**1,8**
Susceptibilidad de incendios	1/9	1/7	1/7	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1	**1,5**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28. Matriz de evaluación multicriterio del componente socioeconómico de la zonificación de aptitud para plantaciones de veinte especies forestales

Criterios	*Infraestructura y logística*	*Dinámica del mercado de tierras*	*Indicadores económicos*	*Disponibilidad de mano de obra*	*Institucionalidad y asociatividad*	*Seguridad ciudadana*	*Condiciones de vida*	Peso ponderado (%)
Infraestructura y logística	1							**37,1**
Dinámica del mercado de tierras	1/3	1						**23,9**
Indicadores económicos	1/3	1/3	1					**15,4**
Disponibilidad de mano de obra	1/5	1/3	1/3	1				**10,7**
Institucionalidad y asociatividad	1/5	1/5	1/3	1/3	1			**6,6**
Seguridad ciudadana	1/7	1/5	1/5	1/3	1/3	1		**3,7**
Condiciones de vida	1/9	1/7	1/5	1/5	1/5	1/3	1	**2,5**

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 29 se expone la matriz de paso mediante la cual se cruzaron tanto los criterios físico-socioecosistémicos (biofísicos) como los criterios para generar el mapa integrado de la zonificación de aptitud de las plantaciones forestales de veinte especies en Colombia a escala 1:100.000.

Tabla 29. Matriz de paso para el cruce de los componentes biofísicos y socioeconómicos de la zonificación de aptitud para plantaciones de veinte especies forestales

Componentes	Socioeconómico			
Biofísico	Aptitud	A1	A2	A3
	A1	A1	A1	A2
	A2	A1	A2	A3
	A3	A2	A3	A3

Fuente: Elaboración propia.

Acto seguido, se combinó la información de los criterios considerados en la zonificación de aptitud mediante una suma lineal ponderada. A los criterios se les aplicaron los pesos calculados para cada uno y se obtuvieron los mapas preliminares de la zonificación de aptitud para veinte especies forestales, los cuales fueron validados con expertos de la cadena, a partir de la siguiente ecuación:

$$S = \sum W_i * X_i$$

Donde:

S = mapa con categorías de aptitud;

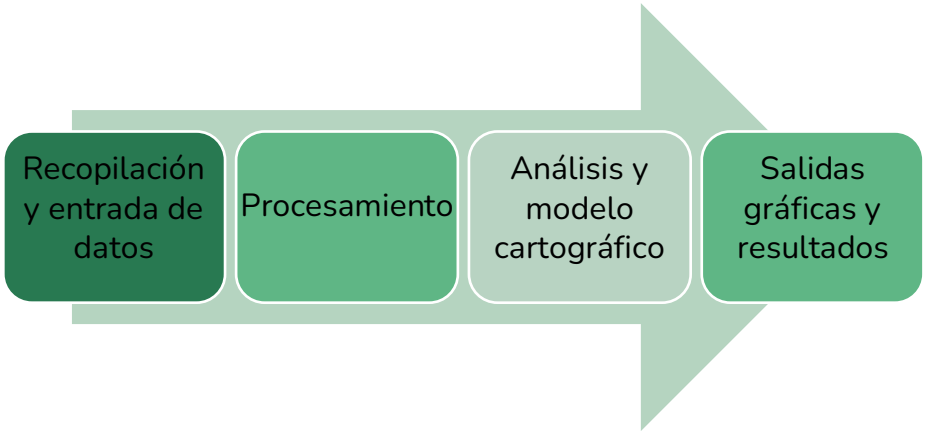
W_i = peso del criterio i;

X_i = valor del criterio i (valores 1, 2 o 3 correspondientes a la categoría de aptitud).

3.6. Análisis espacial y modelo cartográfico integral

El análisis espacial es una herramienta ampliamente utilizada por la mayoría de las ciencias, pues permite efectuar una aproximación cuantitativa para detectar, mostrar y explicar los patrones espaciales más importantes que se encuentran en un grupo de datos localizados en el espacio para lograr un fin determinado. Una parte importante de esta fase la componen las técnicas de análisis espacial, que incluyen un conjunto de operadores o algoritmos que se ejecutan sobre una o varias capas de información (*raster*) con el propósito de producir una nueva capa de salida. Esta fase soporta muchos de los productos intermedios de tipo espacial para la obtención del mapa de aptitud de plantaciones para veinte especies forestales. Los pasos usados por la Oficina de Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC) de la UPRA se presentan en la Figura 14.

Figura 14. Proceso de análisis de información espacial para la obtención del mapa de zonificación de aptitud



Fuente: UPRA, 2014.

Recopilación de información: consistió en la búsqueda, solicitud y evaluación de la información (espacial y alfanumérica) usada por los los componentes. Esta información provino de entidades oficiales.

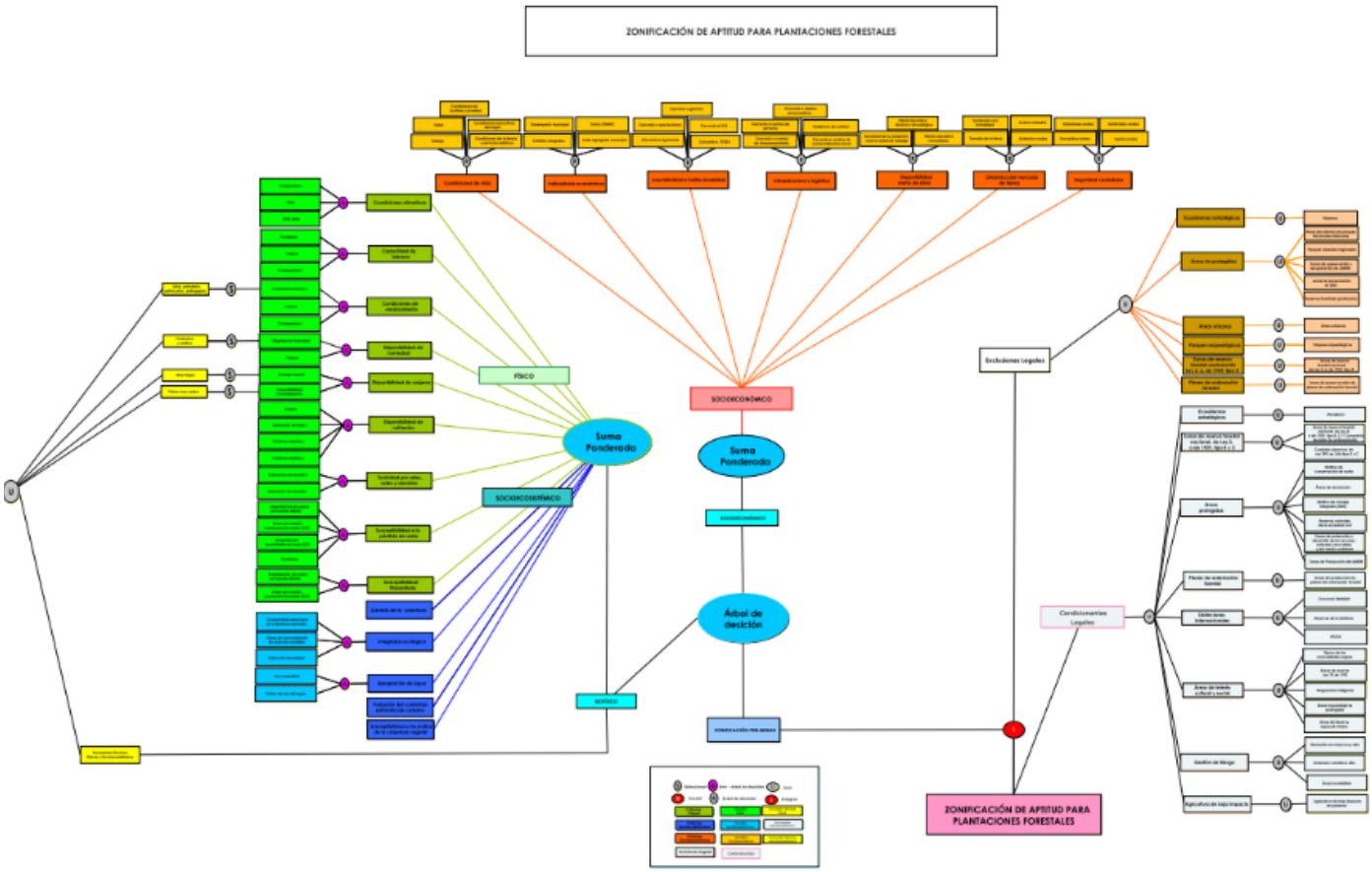
Procesamiento de la información: abarcó la puesta en marcha de procedimientos para que la información se encontrara en la forma adecuada para ser analizada. Una de las operaciones más comunes fueron los procesos de reclasificación y generalización temática, los cuales se emplearon para estandarizar las variables, criterios y lineamientos definidos en cada componente para ser espacializadas dentro del modelo cartográfico definido para la zonificación de aptitud.

Análisis de la información: generó y evaluó las salidas gráficas de cada criterio de acuerdo con los rangos de calificación establecidos por el grupo de expertos. Los criterios se estandarizaron en rangos que oscilaron entre 0 y 3, los cuales indicaban la transición entre lo *no apto* (0) y lo *muy apto* (3). En caso de que los criterios no estuvieran conformados por variables continuas, el análisis se realizó mediante estadísticas de la variable, para lo cual se asignó directamente la calificación de la categoría de aptitud. Esta etapa del proceso también abarcó el modelo cartográfico, una forma de representación de los procesos espaciales involucrados para la zonificación de aptitud.

Los insumos de entrada para el modelo abordaron no sólo los mapas de cada variable y criterio generados por cada componente, sino también tanto la integración de las capas que ponderaron el valor de acuerdo con los resultados del análisis multicriterio como la integración de las exclusiones legales y condicionantes legales. Uno de los procedimientos de mayor uso en esta fase fue el *álgebra de mapas*, procedimiento que, operando sobre una o varias capas de información —en este caso, los mapas generados de cada criterio—, permitieron obtener la información derivada cuyo resultado fue el mapa de aptitud.

Salidas gráficas y resultados: presentación, a manera de mapas y estadísticas por departamento y municipio, de las zonas aptas y no aptas para las veinte especies forestales maderables. Estas salidas fueron soportadas dentro de la geodatabase (GDB) del proyecto. La Figura 15 describe el modelo cartográfico integral para la zonificación de aptitud para veinte especies forestales con fines comerciales en Colombia a escala 1:100.000.

Figura 15. Modelo cartográfico integral para la zonificación de aptitud para veinte especies forestales con fines comerciales en Colombia a escala 1:100.000



Fuente: UPRA, 2023.

3.7. Proceso de validación de los mapas

En la Figura 16 se puede observar la estrategia planteada para la socialización y validación de la zonificación de aptitud para veinte especies forestales con fines comerciales a escala 1:100.000 en Colombia.

Figura 16. Estrategia de socialización y validación de la zonificación de aptitud

Fuente: Elaboración propia.

3.7.1. Socialización y visitas de campo

En agosto del 2022 se visitaron varios núcleos productores de madera de los principales centros productivos forestales, ubicados en los departamentos del Meta, Antioquia, Caldas, Risaralda, Córdoba y Bolívar. Las visitas realizaron en plantaciones comerciales, aserradoras, viveros y plantas trasformadoras, como se describe a continuación.

Caribe: se llevó a cabo la socialización con representantes de la Reforestadora del Sinú en el municipio de Valencia y el recorrido por plantaciones comerciales de las empresas 3F Bosques del Futuro (Kanguroid) en Tierralta, Córdoba; Forestal Monterrey Colombia en Zambrano Bolívar; y Tekia en Tolú Viejo y San Onofre, Sucre (ver figuras 17 y 18).

Figura 17. Recorrido de validación en una plantación de melina (*Gmelina arborea*), Forestal Monterrey Colombia

Fuente: Elaboración propia.

Figura 18. Recorrido por las instalaciones de la empresa maderera Tekia

Fuente: Elaboración propia.

Llanos Orientales: se visitó la planta transformadora El Vergel, en la finca Altamira y la finca Cabo de Hacha en Puerto Gaitá. En Puerto López, se recorrieron las plantaciones La Playa, finca La Serranía y finca La Alegría; y se visitaron los viveros Enmanuel y Reforiente (ver Figura 19).

Figura 19. Visita al vivero Reforiente

Fuente: Elaboración propia.

Eje Cafetero: se recorrieron plantaciones de silvicultura en Manizales y se efectuó la socialización en Agroindustrias La Florida en Villamaría (ver Figura 20). Además se hizo un recorrido por los núcleos de Riosucio y de Santa Rosa de Cabal de Smurfit-Kappa.

Figura 20. Socialización y validación de la zonificación de aptitud con Agroindustrias La Florida, municipio de Villamaría, Caldas

Fuente: Elaboración propia.

Antioquia: en Medellín, se sostuvo una reunión con los representantes de Fedemaderas (ver Figura 21). En Barbosa, se visitó la planta procesadora de Dexco; en San José del Nus (ver Figura 22), las plantaciones forestales de Compañía Agrícola de La Sierra (CAS), Silvotecnia en Angostura; y en San Antonio de Prado, las plantaciones de Ciprés de Colombia.

Figura 21. Socialización y validación de la zonificación de aptitud con Fedemaderas

Fuente: Elaboración propia.

Figura 22. Validación de la zonificación de aptitud en San José del Nus, Antioquia

Fuente: Elaboración propia.

Se realizaron presentaciones pertinentes de la zonificación y de las metodologías propuestas con todos los actores del sector. Así mismo, se expusieron los criterios y variables y se intercambiaron opiniones para verificar los rangos de las variables de los componentes físico, socioecosistémico y socioeconómico. Como resultado de la retroalimentación con los productores en esas zonas, se verificaron y se ajustaron los rangos propuestos para las variables y la consolidación de los criterios.

De las visitas de socialización efectuadas se concluyó que los productores desarrollan su producción en terrenos propios, por lo que no se acostumbra tomar tierras en arriendo para actividades forestales. No obstante, en el Eje Cafetero se hace uso de la figura de la *asociación por participación*, que consiste en sembrar en terrenos de un tercero al cual se le reconoce como socio en porcentajes que pueden llegar al 30 %.

Los recursos de capital son privados, pero algunos productores —los más pequeños— han accedido a recursos del certificado de incentivo forestal (CIF). Todos tienen certificaciones del Forest Stewardship Council (FSC) y se benefician de bonos de carbono. La mano de obra la realizan, en un 95 %, personas de las zonas productoras, la actividad que demanda el acompañamiento de técnicos y profesionales forestales. Las empresas grandes (como Smurfit) tienen centros de capacitación forestal para entrenar al personal que contratan.

3.7.2. Validación de mapas integrados

En el mes de noviembre de 2022, se produjo una segunda visita a las principales zonas de producción forestal para socializar y validar los mapas de aptitud de las veinte especies seleccionadas. En ella, se contó con la presencia de representantes regionales de la cadena y se adelantó la corroboración de los resultados obtenidos en plantaciones comerciales de algunas de las especies maderables priorizadas.

Caribe: se hizo un recorrido por Córdoba, Sucre y Bolívar (ver Figura 23); se presentaron los resultados de la región Caribe a la Reforestadora del Sinú; y se retroalimentó el proceso.

Figura 23. Validación del mapa de aptitud de la ceiba en Montería, Córdoba

Fuente: Elaboración propia.

Llanos Orientales: se trazó un recorrido por Villavicencio, Puerto López y Puerto Gaitán, en el Meta. Se socializaron los resultados en la planta de Maderas El Vergel (ver Figura 24) y se visitó el vivero de Reforiente en Puerto López.

Figura 24. Socialización y validación de la zonificación de aptitud con la empresa Maderas El Vergel

Fuente: Elaboración propia.

Eje Cafetero: se socializaron los resultados en las instalaciones de Smurfit-Kappa (Cartón de Colombia) en Armenia, Quindío (ver Figura 25). Igualmente, se efectuó un recorrido por Riosucio para la corroboración de resultados de la zonificación de aptitud en plantaciones de las especies *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus camaldulensis* y *Pinus maximinoi*.

Figura 25. Socialización y validación de la zonificación de aptitud con el equipo técnico de Smurfit Kappa en Armenia, Quindío

Fuente: Elaboración propia.

Antioquia: se realizó un recorrido por Santa Rosa de Osos; Llanos de Cuivá, Yarumal, Angostura; San José del Nus, San Roque; la vereda Cascarón, Caracolí; y San Antonio de Prado, Medellín (ver Figura 26). Se socializaron los mapas integrados de la zonificación forestal y se validaron con la ubicación de plantaciones forestales en Angostura, propiedad de la Reforestadora El Guásimo; además, se visitó la Reforestadora Compañía Agrícola de la Sierra (CAS) en Caracolí. Por último, se socializaron los mapas integrados en la sede de Núcleos de Madera, con presencia de Fedemaderas, representantes y personal técnico de las empresas reforestadoras como El Guásimo, Cipreses de Colombia, Silvotecnia y Dexco (ver figuras 26 y 27).

Figura 26. Recorrido para la validación de la zonificación de aptitud por Antioquia

Fuente: Elaboración propia.

Figura 27. Socialización y validación de resultados de la zonificación de aptitud con Fedemaderas y empresas reforestadoras

Fuente: Elaboración propia.

4. Resultados

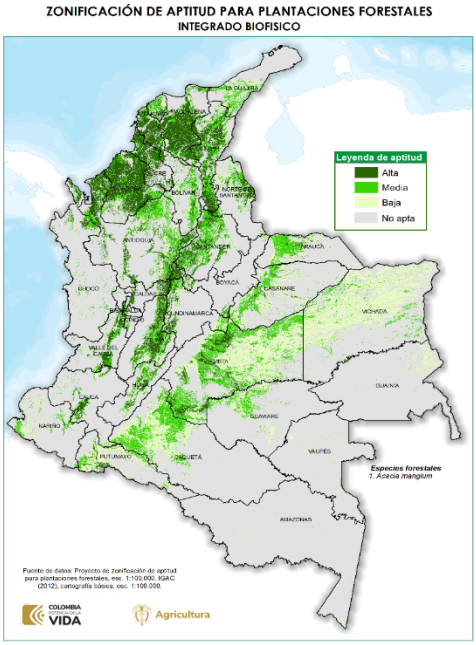
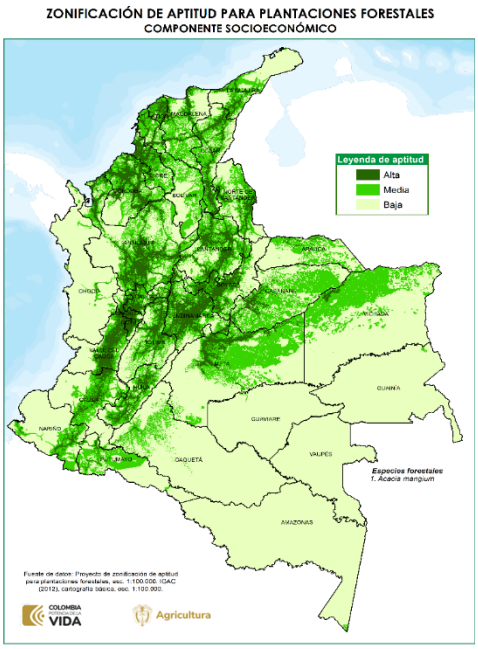
4. Resultados

A continuación, se presentan los resultados de la zonificación de aptitud para veinte especies forestales con fines comerciales en Colombia a escala 1:100.000. Para cada especie se exponen no sólo los mapas intermedios biofísico (físico y socioecosistémico) y socioeconómico, sino también el mapa integrado generalizado a escala general. Igualmente, se relacionan los resultados de las áreas con aptitud total y por categorías *alta* (A1), *media* (A2) y *baja* (A3), tanto para los primeros diez departamentos como para los primeros diez municipios.

4.1. Acacia (*Acacia mangium*)

El mapa biofísico que integra los criterios físicos y socioecosistémicos muestra una mayor área de aptitud alta (A1) en la costa Atlántica, en los departamentos de Magdalena, Córdoba, Antioquia y Cesar, y en el valle del río Magdalena. El mapa socioeconómico destaca una mayor superficie de aptitud baja (A3) y aptitud media (A2) en la Oriniqula y en la Amazonia, en los departamentos de Vichada, Meta, Caquetá, Guaviare y Casanare (ver Figura 28).

Figura 28. Mapas intermedios de la zonificación de aptitud para la producción de *Acacia mangium* en Colombia a escala 1:100.000

Mapa biofísico	Mapa socioeconómico
	

Fuente: Elaboración propia.

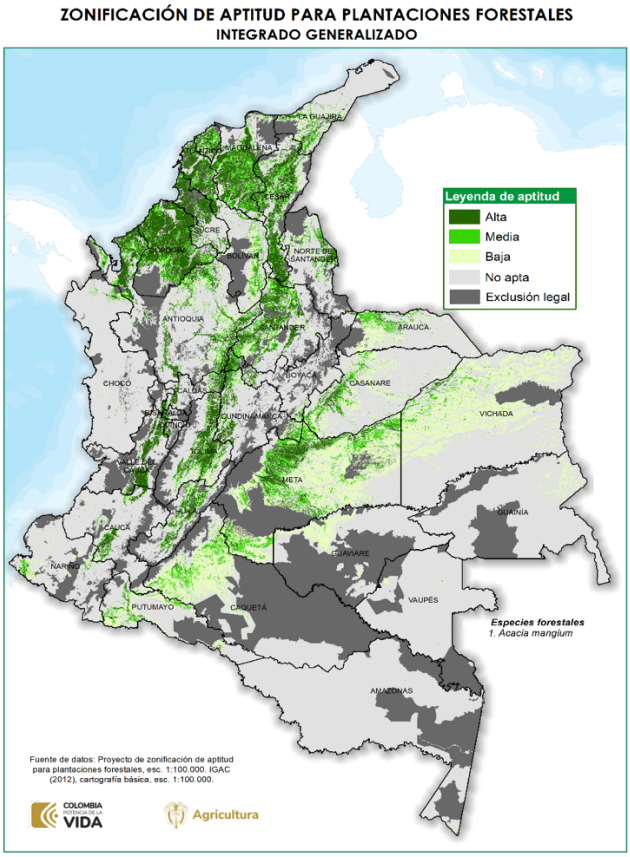
El mapa de la zonificación de aptitud para la acacia (*Acacia mangium*), orientada a la producción de madera, mostró que Colombia dispone de 22.656.744 hectáreas aptas para el desarrollo de la actividad, lo cual equivale al 19,9 % del área continental del país y el 52,6 % de la frontera agrícola nacional. De las áreas aptas, el 34,1 % correspondió a *aptitud alta* (A1); el 22,4 %, a *aptitud media* (A2); y el 43,5 %, a *aptitud baja* (A3). Las zonas no aptas (N1) abarcaron 64.386.250 hectáreas (ver Tabla 30 y Figura 29).

Tabla 30. Áreas según categorías de aptitud para la producción de *Acacia mangium* en Colombia a escala 1:100.000

Acacia (*Acacia mangium*)	Aptitud	Área (ha)	% nacional	% frontera agrícola nacional*
A1	**Alta**	7.727.064	6,8	17,9
A2	**Media**	5.076.987	4,5	11,8
A3	**Baja**	9.852.693	8,6	22,9
Total del área apta		21.278.738	19,9	—
N1	No apto técnico	64.386.250	56,4	—
N2	No apto legal	27.031.977	23,7	—
Total del territorio nacional		114.074.970	100	—
*Frontera agrícola nacional: 43.070.364 hectáreas.				

Fuente: Elaboración propia.

Figura 29. Mapa integrado de aptitud para la producción de *Acacia mangium* en Colombia a escala 1:100.000



Fuente: Elaboración propia.

Los departamentos que mostraron la mayor aptitud total para la producción de *Acacia mangium* se encuentran en los Llanos Orientales y en la costa Atlántica: Meta, con 3.950.533 hectáreas, y Vichada, con 3.019.797; seguidos de Córdoba, con 1.543.941; Antioquia, con 1.542.329 y Caquetá, con 1.537.245. Estos cinco departamentos suman un 51,2 % del área apta total para esta especie forestal (ver Tabla 31).

Tabla 31. Principales departamentos aptos para la producción de *Acacia mangium* en Colombia

Departamento	Total de aptitud
Meta	3.950.533
Vichada	3.019.797
Córdoba	1.543.941
Antioquia	1.542.329
Caquetá	1.537.245
Magdalena	1.135.503
Cesar	1.106.235
Santander	986.614
Casanare	963.834

Fuente: Elaboración propia.

Los departamentos de la costa Atlántica lideraron las áreas con aptitud alta (A1): Córdoba, con 1.233.931 hectáreas; Antioquia, con 833.028; Cesar, con 773.161 y Magdalena, con 761.216. Con aptitud media (A2), se calificaron departamento de Meta, con 1.056.834 hectáreas; Antioquia, con 415.641; Santander, con 343.390; Caquetá, con 337.880; y Magdalena, con 3374.007. Sólo tres departamentos del oriente de Colombia sumaron más de 6,2 millones hectáreas con aptitud baja (A3): Vichada, con 2.787.211 hectáreas; Meta, con 2.290.292; y Caquetá, con 1.178.794 (ver Tabla 32).

Tabla 32. Principales departamentos con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Acacia mangium* en Colombia

Departamento	Aptitud alta (A1)	Departamento	Aptitud media (A2)	Departamento	Aptitud baja (A3)
Córdoba	1.233.931	Meta	1.056.834	Vichada	2.787.211
Antioquia	833.028	Antioquia	415.641	Meta	2.290.292
Cesar	773.161	Santander	343.390	Caquetá	1.178.794
Magdalena	761.216	Caquetá	337.880	Casanare	604.511
Meta	603.406	Magdalena	334.007	Guaviare	411.600

Tolima	493.446	Bolívar	278.671	Arauca	355.783
Santander	455.415	Córdoba	264.045	Putumayo	294.319
Bolívar	396.133	Cesar	256.606	Antioquia	293.661
Sucre	388.347	Casanare	221.250	Bolívar	195.572
Valle del Cauca	314.166	Vichada	200.861	Santander	143.584

Fuente: Elaboración propia.

Así mismo, los municipios que presentaron la mayor aptitud total para *Acacia mangium* provienen de los departamentos de Vichada y Meta: Cumaribo, con 1.479.674 hectáreas; Puerto Gaitán, con 987.065; La Primavera, con 906.795; seguidos por La Macarena y Puerto López, en el departamento de Meta, con 510.250 y 457.123, respectivamente (ver Tabla 33).

Tabla 33. Principales municipios aptos para la producción de *Acacia mangium* en Colombia

Municipio	Total de aptitud (ha)
Cumaribo (Vichada)	1.479.674
Puerto Gaitán (Meta)	987.065
La Primavera (Vichada)	906.795
La Macarena (Meta)	510.250
Puerto López (Meta)	457.123
Puerto Carreño (Vichada)	441.100
Mapiripán (Meta)	409.690
San Martín (Meta)	392.948
San Vicente del Caguán (Caquetá)	301.996
Montería (Córdoba)	252.118

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 34 muestra los municipios que obtuvieron las mayores extensiones por categoría de cada aptitud. Con *aptitud alta* (A1), sobresalen los municipios ubicados en la costa Atlántica y los Llanos Orientales: Montería, con 243.998 hectáreas; Puerto López, con 121.943; Valledupar, con 117.237; Turbo, con 81.039; y Sahagún, con 80.712. Con *aptitud media* (A2), los municipios Puerto Gaitán, con 282.181 hectáreas; La Macarena, con 174.855; La Primavera, con 110.151; y San Vicente del Caguán, con 93.272. Por último, los municipios con *aptitud baja* (A3) se localizaron en Vichada y Meta: Cumaribo, con 1.437.631 hectáreas; La Primavera, con 769.718; Puerto Gaitán, con 654.127; Puerto Carreño, con 435.215; y Mapiripán, con 371.101.

Tabla 34. Principales municipios con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Acacia mangium* en Colombia

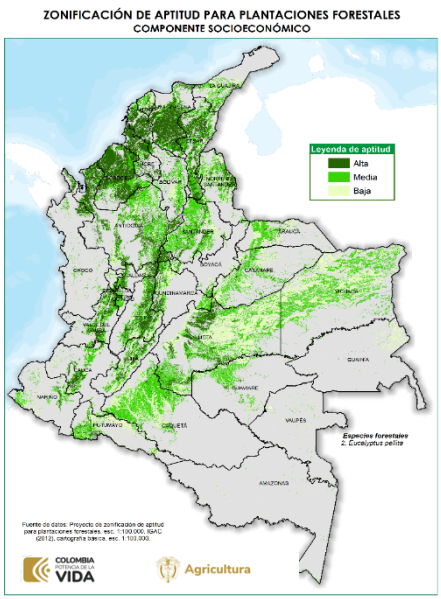
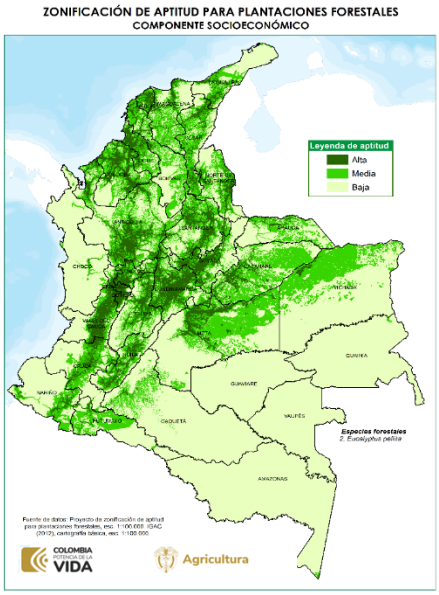
Municipio	Aptitud alta (A1)	Municipio	Aptitud media (A2)	Municipio	Aptitud baja (A3)
Montería (Córdoba)	243.998	Puerto Gaitán (Meta)	282.181	Cumaribo (Vichada)	1.437.631
Puerto López (Meta)	121.943	La Macarena (Meta)	174.855	La Primavera (Vichada)	769.718
Valledupar (Cesar)	117.237	La Primavera (Vichada)	110.151	Puerto Gaitán (Meta)	654.127
Turbo (Antioquia)	81.039	San Vicente del Caguán (Caquetá)	93.272	Puerto Carreño (Vichada)	435.215
Sahagún (Córdoba)	80.712	Arauquita (Arauca)	80.946	Mapiripán (Meta)	371.101
Cimitarra (Santander)	80.251	Puerto López (Meta)	68.281	La Macarena (Meta)	316.492
Planeta Rica (Córdoba)	79.292	Puerto Lleras (Meta)	67.102	San Martín (Meta)	284.944
Pivijay (Magdalena)	73.113	Cimitarra (Santander)	66.678	Puerto López (Meta)	266.899
Puerto Boyacá (Boyacá)	68.561	San Martín (Meta)	58.608	Cartagena del Chairá (Caquetá)	215.158
Plato (Magdalena)	66.402	Puerto Rico (Meta)	46.936	San José del Guaviare (Guaviare)	209.770

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Eucalipto (*Eucalyptus pellita*)

El mapa biofísico mostró una mayor área con aptitud alta (A1) en la costa Atlántica, en los departamentos de Córdoba, Sucre, Bolívar, Magdalena y Cesar, en el Meta y en el valle medio del río Magdalena. En la Figura 30 se puede observar el mapa socioeconómico con una mayor aptitud alta (A1) en las zonas que cuentan con mayores servicios, apoyos e infraestructura que facilitan la producción maderera; mientras que en los departamentos de la Orinoquia y en la Amazonia, la aptitud fue baja (A3).

Figura 30. Mapas intermedios de la zonificación de aptitud para la producción de *Eucalyptus pellita* en Colombia a escala 1:100.000

Mapa biofísico	Mapa socioeconómico
	

Fuente: Elaboración propia.

El mapa de la zonificación de aptitud para *Eucalyptus pellita* mostró que Colombia dispone de 24.688.552 hectáreas aptas para el desarrollo de la actividad maderable, equivalente a 21,6 % del área continental del país y 57,3 % de la frontera agrícola nacional. De las áreas aptas, el 33,9 %, corresponde a *aptitud alta* (A1); el 27,4 %, a *aptitud media* (A2) y el 38,7 %, a *aptitud baja* (A3). Las zonas no aptas (N1) llegaron a 62.354.441 hectáreas (ver Tabla 35 y Figura 31).

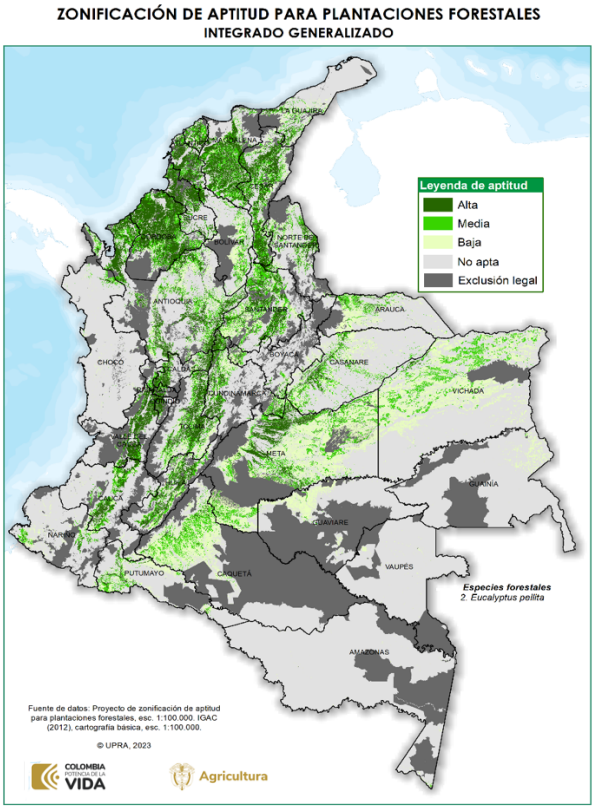
Tabla 35. Áreas según categorías de aptitud para la producción de *Eucalyptus pellita* en Colombia a escala 1:100.000

Eucalipto (*Eucalyptus pellita*)	Aptitud	Área (ha)	% nacional	% frontera agrícola nacional*
A1	Alta	8.375.556	7,3	19,4
A2	Media	6.764.401	5,9	15,7
A3	Baja	9.548.595	8,4	22,2

Total del área apta		24.688.552	21,6	57,3
N1	No apto técnico	62.354.441	54,7	—
N2	No apto legal	27.031.977	23,7	—
Total del territorio nacional		114.074.970	100,0	—
*Frontera agrícola nacional: 43.070.364 hectáreas.				

Fuente: Elaboración propia.

Figura 31. Mapa integrado de aptitud para la producción de *Eucalyptus pellita* en Colombia a escala 1:100.000



Fuente: Elaboración propia.

Los departamentos que mostraron la mayor aptitud total para la producción de *Eucalyptus pellita* fueron Meta, con 3.704.858 hectáreas; Vichada, con 2.995.583; Antioquia, con 1.930.239; Caquetá, con 1.564.436; y Córdoba, con 1.543.041. Estos cinco departamentos sumaron un 39,1 % del área apta total para esta especie (ver Tabla 36).

Tabla 36. Principales departamentos aptos en hectáreas para la producción de *Eucalyptus pelllita* en Colombia

Departamento	Aptitud alta (A1)	Departamento	Aptitud media (A2)	Departamento	Aptitud baja (A3)
Córdoba	1.193.172	Meta	925.634	Vichada	2.229.407
Antioquia	981.880	Vichada	738.948	Meta	2.169.915
Magdalena	776.568	Antioquia	571.708	Caquetá	1.037.919
Cesar	715.647	Santander	494.744	Casanare	473.281
Meta	609.309	Caquetá	478.427	Guaviare	402.169
Tolima	508.478	Casanare	346.988	Antioquia	376.651
Valle del Cauca	430.868	Cesar	329.404	Arauca	348.791
Santander	424.255	Magdalena	328.367	Santander	312.124
Sucre	354.158	Córdoba	294.559	Putumayo	261.665
Bolívar	346.778	Bolívar	289.036	Bolívar	232.467

Fuente: Elaboración propia.

Los departamentos con mayor *aptitud alta* (A1) para la producción de *Eucalyptus pellita* fueron Córdoba, con 1.193.172 hectáreas; Antioquia, con 981.880; Magdalena, con 776.568; y Cesar, con 715.647. La *aptitud media* (A2) fue liderada por el Meta, con 925.634 hectáreas; Vichada, con 738.948; Antioquia, con 571.708; Santander, con 494.744; y Caquetá, con 478.427. En el oriente del país, se concentró la mayor parte de la *aptitud baja* (A3) en el Vichada, Meta, Caquetá, Casanare y Guaviare, que sumaron en total 6.312.692 hectáreas (ver Tabla 37).

Tabla 37. Principales departamentos con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Eucalyptus pellita* en Colombia

Departamento	Aptitud alta (A1)	Departamento	Aptitud media (A2)	Departamento	Aptitud baja (A3)
Córdoba	1.193.172	Meta	925.634	Vichada	2.229.407
Antioquia	981.880	Vichada	738.948	Meta	2.169.915
Magdalena	776.568	Antioquia	571.708	Caquetá	1.037.919
Cesar	715.647	Santander	494.744	Casanare	473.281
Meta	609.309	Caquetá	478.427	Guaviare	402.169
Tolima	508.478	Casanare	346.988	Antioquia	376.651
Valle del Cauca	430.868	Cesar	329.404	Arauca	348.791
Santander	424.255	Magdalena	328.367	Santander	312.124
Sucre	354.158	Córdoba	294.559	Putumayo	261.665
Bolívar	346.778	Bolívar	289.036	Bolívar	232.467

Fuente: Elaboración propia.

La mayor aptitud total para *Eucalyptus pellita* se encontró en los departamentos de Vichada y Meta, en municipios de Cumaribo, con 1.470.793 hectáreas; Puerto Gaitán, con 985.954; La Primavera, con 895.774; La Macarena, con 510.156; y Puerto López, con 457.394 (ver Tabla 38).

Tabla 38. Principales municipios aptos para la producción de *Eucalyptus pellita* en Colombia

Municipio	Total de aptitud (ha)
Cumaribo (Vichada)	1.470.793
Puerto Gaitán (Meta)	985.954
La Primavera (Vichada)	895.774
La Macarena (Meta)	510.156
Puerto López (Meta)	457.394
Puerto Carreño (Vichada)	436.855
Mapiripán (Meta)	407.688
San Martín (Meta)	329.311
San Vicente del Caguán (Caquetá)	307.494
Montería (Córdoba)	252.114

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 39 se pueden consultar los municipios para cada categoría de aptitud. Con *aptitud alta* (A1), se distinguen Montería, con 245.870 hectáreas; Valledupar, con 131.585; Puerto López, con 130.451; Turbo, con 84.545; y Pivijay, con 75.076. Con *aptitud media*, La Primavera, Puerto Gaitán, Cumaribo, La Macarena y Puerto Carreño, que sumaron 1.140.947 hectáreas. Con *aptitud baja* (A3), Cumaribo, con 1.266.470 hectáreas; Puerto Gaitán, con 675.501; La Primavera, con 489.750; Mapiripán, con 340.385; y La Macarena, con 334.062.

Tabla 39. Principales municipios con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Eucalyptus pellita* en Colombia

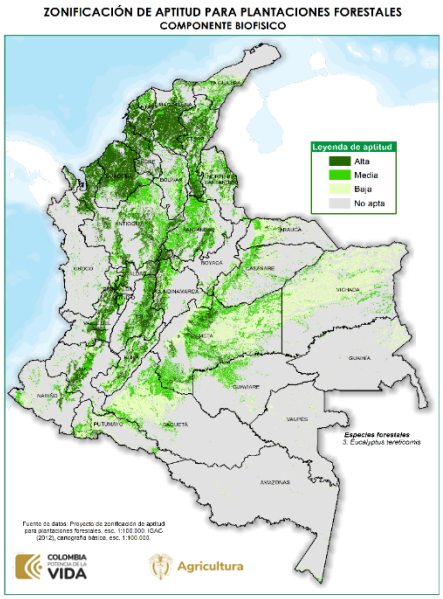
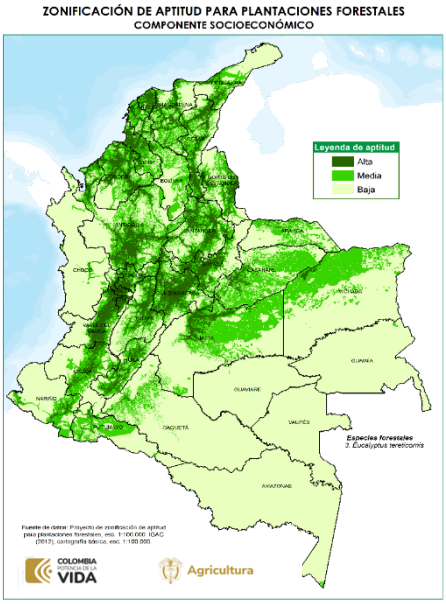
Municipio	Aptitud alta (A1)	Municipio	Aptitud media (A2)	Municipio	Aptitud baja (A3)
Montería (Córdoba)	245.870	La Primavera (Vichada)	380.729	Cumaribo (Vichada)	1.266.470
Valledupar (Cesar)	131.585	Puerto Gaitán (Meta)	274.916	Puerto Gaitán (Meta)	675.501
Puerto López (Meta)	130.451	Cumaribo (Vichada)	203.748	La Primavera (Vichada)	489.750
Turbo (Antioquia)	84.545	La Macarena (Meta)	163.784	Mapiripán (Meta)	340.385
Pivijay (Magdalena)	75.076	Puerto Carreño (Vichada)	117.770	La Macarena (Meta)	334.062
Planeta Rica (Córdoba)	73.952	San Vicente del Caguán (Caquetá)	98.451	Puerto Carreño (Vichada)	318.157
Plato (Magdalena)	70.030	Puerto Rico (Caquetá)	77.900	San Martín (Meta)	255.147
Sabanas de San Ángel (Magdalena)	69.769	Puerto López (Meta)	75.526	Puerto López (Meta)	251.417
Puerto Boyacá (Boyacá)	67.466	Puerto Lleras (Meta)	68.667	San José del Guaviare (Guaviare)	207.360
Sahagún (Córdoba)	65.234	Cimitarra (Santander)	65.750	Cartagena del Chairá (Caquetá)	194.307

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Eucalipto (*Eucalyptus tereticornis*)

De acuerdo con el mapa biofísico, la mayor superficie con aptitud alta (A1) está en la costa Atlántica en los departamentos de Córdoba, Antioquia, Magdalena, Sucre, Bolívar y Cesar, y los valles medios de los ríos Magdalena y Cauca. El mapa socioeconómico muestra una mayor *aptitud alta* (A1) en las zonas que cuentan con mayores servicios, apoyos e infraestructura que facilitan la producción maderera; mientras que, como se muestra en la Figura 32, en los departamentos de la Orinoquia y Amazonia, la aptitud resultó media (A2) y baja (A3).

Figura 32. Mapas intermedios de la zonificación de aptitud para la producción de *Eucalyptus tereticornis* en Colombia a escala 1:100.000

Mapa biofísico	Mapa socioeconómico
	

Fuente: Elaboración propia.

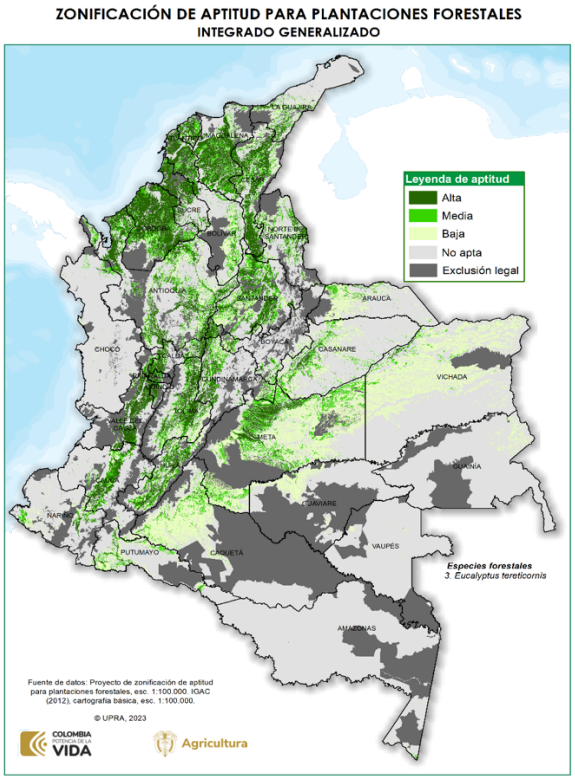
El mapa de la zonificación de aptitud para *Eucalyptus tereticornis* con fines comerciales mostró que Colombia dispone de 25.630.937 hectáreas aptas para esta actividad forestal, lo cules equivale al 22,5 % del área continental y al 59,5 % de la frontera agrícola nacional. Del total de áreas aptas, un 35,4 % correspondió a *aptitud alta* (A1); 21,9 %, a *aptitud media* (A2); y 42,6 %, a *aptitud baja* (A3). Las zonas no aptas (N1) abarcaron 61.412.056 hectáreas (ver Tabla 40 y Figura 33).

Tabla 40. Áreas según categorías de aptitud para la producción de *Eucalyptus tereticornis* en Colombia a escala 1:100.000

Eucalipto (*Eucalyptus tereticornis*)	Aptitud	Área (ha)	% nacional	% frontera agrícola nacional*
A1	**Alta**	9.078.543	8,0	21,1
A2	**Media**	5.624.442	4,9	13,1
A3	**Baja**	10.927.953	9,6	25,4
Total del área apta		24.094.293	22,5	59,5
N1	No apto técnico	61.412.056	53,8	
N2	No apto legal	27.031.977	23,7	
Total del territorio nacional		114.074.970	100,0	
*Frontera agrícola nacional: 43.070.364 hectáreas				

Fuente: Elaboración propia.

Figura 33. Mapa integrado de aptitud para la producción de *Eucalyptus tereticornis* en Colombia a escala 1:100.000



Fuente: Elaboración propia.

Los departamentos que mostraron la mayor aptitud total para la producción de *Eucalyptus tereticornis* se encuentran en el Meta, con 3.965.710 hectáreas; Vichada, con 3.020.492; Antioquia, con 2.006.462; Caquetá, con 1.566.670; y Córdoba, con 1.543.598. Los cinco departamentos sumaron 11.631.783 hectáreas, equivalentes al 47,2 % del área apta total para esta especie (ver Tabla 41).

Tabla 41. Principales departamentos aptos para la producción de *Eucalyptus tereticornis* en Colombia

Departamento	Total de aptitud (ha)
Meta	3.965.710
Vichada	3.020.492
Antioquia	2.006.462
Caquetá	1.566.670
Córdoba	1.543.598
Santander	1.277.373
Cesar	1.170.569
Magdalena	1.158.480
Tolima	996.848
Casanare	988.824

Fuente: Elaboración propia.

Para *Eucalyptus tereticornis*, los departamentos con mayor *aptitud alta* (A1) fueron Córdoba, con 1.237.045 hectáreas; Antioquia, con 1.065.918; Magdalena, con 846.515; Cesar, con 824.002; y Tolima, con 551.178. La mayor área con *aptitud media* (A2) se encontró en el Meta, con 1.029.064 hectáreas; Antioquia, con 571.630; Santander, con 434.758; Bolívar, con 287.871; y Casanare, con 267.694. En los Llanos Orientales se localizó la mayoría de la *aptitud baja* (A3) en los departamentos del Vichada, Meta, Caquetá, Casanare y Arauca, para un total de 7.649.786 hectáreas (ver Tabla 42).

Tabla 42. Principales departamentos con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Eucalyptus tereticornis* en Colombia

Departamento	Aptitud alta (A1)	Departamento	Aptitud media (A2)	Departamento	Aptitud baja (A3)
Córdoba	1.237.045	Meta	1.029.064	Vichada	2.860.253
Antioquia	1.065.918	Antioquia	571.630	Meta	2.419.298

Magdalena	846.515	Santander	434.758	Caquetá	1.335.715
Cesar	824.002	Bolívar	287.871	Casanare	597.355
Tolima	551.178	Casanare	267.694	Arauca	437.164
Santander	531.367	Tolima	267.420	Guaviare	412.362
Meta	517.347	Magdalena	262.049	Antioquia	368.914
Valle del Cauca	479.019	Córdoba	259.091	Santander	311.249
Bolívar	400.426	Huila	240.322	Putumayo	275.202
Sucre	385.519	Cesar	237.769	Bolívar	217.119

Fuente: Elaboración propia.

Los municipios que sumaron la mayor aptitud total para *Eucalyptus tereticornis* se hallaron en los departamentos de Vichada y Meta, a saber: Cumaribo, con 1.479.658 hectáreas; Puerto Gaitán, con 988.109; La Primavera, con 906.651; La Macarena, con 510.559; y Puerto López, con 458.521 (ver Tabla 43).

Tabla 43. Principales municipios aptos para la producción de *Eucalyptus tereticornis* en Colombia

Municipio	Total de aptitud (ha)
Cumaribo (Vichada)	1.479.658
Puerto Gaitán (Meta)	988.109
La Primavera (Vichada)	906.651
La Macarena (Meta)	510.559
Puerto López (Meta)	458.521
Puerto Carreño (Vichada)	441.168
Mapiripán (Meta)	408.502
San Martín (Meta)	393.268
San Vicente del Caguán (Caquetá)	308.351
Montería (Córdoba)	252.146

Fuente: Elaboración propia.

Los municipios que presentaron la mayor área de aptitud fueron: con *aptitud alta* (A1), Montería, con 245.497 hectáreas; Valledupar, con 134.262; Puerto López, con 110.262; Turbo, con 92.689; y Sabanas de San Ángel, con 85.213. Con *aptitud media* (A2), Puerto Gaitán, con 294.697 hectáreas; La Macarena, con 137.695; San Vicente del Caguán, con 82.628; La Primavera, con 81.409; y Puerto López, con 69.119. Con *aptitud baja* (A3), Cumaribo, con 1.459.021; La Primavera, con 794.250; Puerto Gaitán, con 681.610; Puerto Carreño, con 436.703; y La Macarena, con 364.759 (ver Tabla 44).

Tabla 44. Principales municipios con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Eucalyptus tereticornis* en Colombia

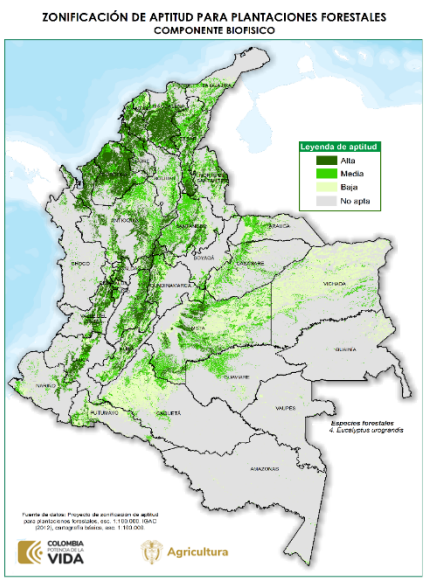
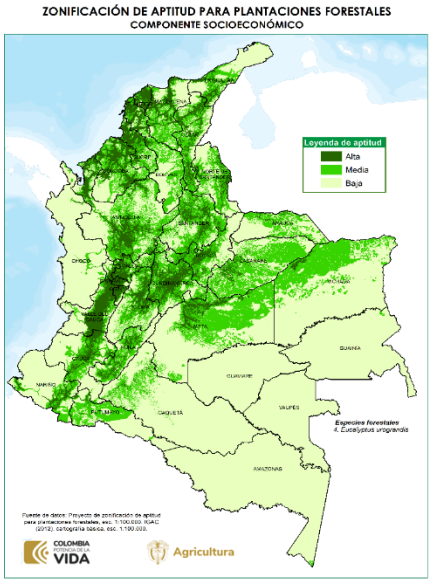
Municipio	Aptitud alta (A1)	Municipio	Aptitud media (A2)	Municipio	Aptitud baja (A3)
Montería (Córdoba)	245.497	Puerto Gaitán (Meta)	294.697	Cumaribo (Vichada)	1.459.021
Valledupar (Cesar)	134.262	La Macarena (Meta)	137.695	La Primavera (Vichada)	794.250
Puerto López (Meta)	110.262	San Vicente del Caguán (Caquetá)	82.628	Puerto Gaitán (Meta)	681.610
Turbo (Antioquia)	92.689	La Primavera (Vichada)	81.409	Puerto Carreño (Vichada)	436.703
Sabanas de San Ángel (Magdalena)	85.213	Puerto López (Meta)	69.119	La Macarena (Meta)	364.759
Pivijay (Magdalena)	82.018	Cimitarra (Santander)	61.274	Mapiripán (Meta)	357.185
Sahagún (Córdoba)	80.768	Puerto Lleras (Meta)	57.848	San Martín (Meta)	286.571
Planeta Rica (Córdoba)	74.548	San Martín (Meta)	57.028	Puerto López (Meta)	279.140
Puerto Boyacá (Boyacá)	72.343	Mapiripán (Meta)	48.759	Cartagena del Chairá (Caquetá)	221.081
Plato (Magdalena)	70.939	Puerto Rico (Meta)	47.002	San Vicente del Caguán (Caquetá)	214.526

Fuente: Elaboración propia.

4.4. Eucalipto (*Eucalyptus urograndis*)

El mapa biofísico muestra la mayor área de aptitud alta (A1), para *Eucalyptus urograndis*, en la costa Atlántica, en los departamentos de Córdoba, Antioquia, Magdalena, Cesar, y Valle del Cauca, y los valles medios de los ríos Magdalena y Cauca. El mapa socioeconómico presenta una mayor aptitud alta (A1) en regiones que cuentan con las mejores condiciones de servicios, acceso vial, comunicaciones, apoyos e infraestructura y que facilitan la producción forestal maderera. Como muestra la Figura 34, en la Orinoquia y en la Amazonia la aptitud que predominó fue media (A2) y baja (A3).

Figura 34. Mapas intermedios de la zonificación de aptitud para la producción de *Eucalyptus urograndis* en Colombia a escala 1:100.000

Mapa biofísico	Mapa socioeconómico
	

Fuente: Elaboración propia.

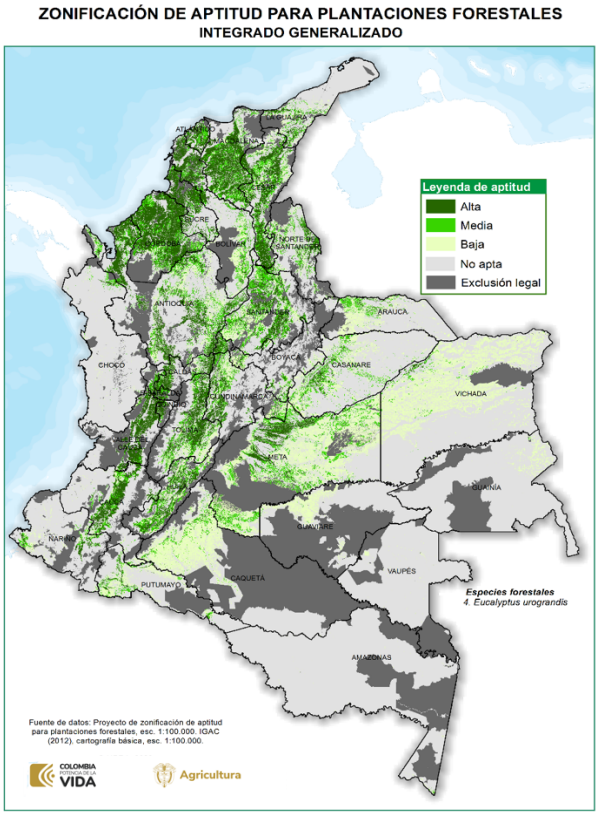
El mapa de la zonificación de aptitud para *Eucalyptus urograndis* indicó que Colombia dispone de 25.298.429 hectáreas aptas para la producción comercial de esta especie forestal maderable, lo cual equivale al 22,2 % del área continental del país y al 58,7 % de la frontera agrícola nacional. Del total de áreas aptas, un 33,8 % correspondió a *aptitud alta* (A1); el 22,3 %, a *aptitud media* (A2); y el 44,0 %, a *aptitud baja* (A3). Las zonas no aptas (N1) abarcaron 61.744.564 hectáreas (ver Tabla 45 y Figura 35).

Tabla 45. Áreas según categorías de aptitud para la producción de *Eucalyptus urograndis* en Colombia a escala 1:100.000

Eucalipto (*Eucalyptus urograndis*)	Aptitud	Área (ha)	% nacional	% frontera agrícola nacional*
A1	**Alta**	8.540.375	7,5	19,8
A2	**Media**	5.631.493	4,9	13,1
A3	**Baja**	11.126.561	9,8	25,8
Total del área apta		25.298.429	22,2	58,7
N1	No apto técnico	61.744.564	54,1	—
N2	No apto legal	27.031.977	23,7	—
Total del territorio nacional		114.074.970	100,0	—
*Frontera agrícola nacional: 43.070.364 hectáreas				

Fuente: Elaboración propia.

Figura 35. Mapa integrado de aptitud para la producción de *Eucalyptus urograndis* en Colombia a escala 1:100.000



Fuente: Elaboración propia.

Los departamentos que mostraron la mayor aptitud total para la producción de *Eucalyptus urograndis* se encuentran en el Meta, con 3.708.139 hectáreas; Vichada, con 3.019.862; Antioquia, con 2.006.087; Caquetá, con 1.566.907; y Córdoba, con 1.542.424. Estos departamentos sumaron 11.374.473 hectárea, que equivalen al 46,8 % del área apta total para esta especie (ver Tabla 46).

Tabla 46. Principales departamentos aptos para la producción de *Eucalyptus urograndis* en Colombia

Departamento	Total de aptitud (ha)
Meta	3.708.139
Vichada	3.019.862
Antioquia	2.006.087
Caquetá	1.566.907
Córdoba	1.542.424
Santander	1.274.864
Magdalena	1.170.740
Cesar	1.167.601
Tolima	995.824
Casanare	985.109

Fuente: Elaboración propia.

Los departamentos con mayor aptitud alta (A1) fueron Córdoba, con 1.179.111 hectáreas; Antioquia, con 1.060.399; Magdalena, con 831.170; Cesar, con 714.605 y Tolima, con 525.396. La mayor aptitud media (A2) se encontró en el Meta, con 915.750 hectáreas; Antioquia, con 531.770; Santander, con 521.707; Cesar, con 321.436; y Córdoba, con 310.067. La mayor área con aptitud baja (A3) se encontró en los departamentos de Vichada, con 2.905.378 hectáreas; Meta, con 2.330.316; Caquetá, con 1.413.439; Casanare, con576.326; y Guaviare, con 413.993, para un total de 7.639.453 hectáreas para esta especie (ver Tabla 47).

Tabla 47. Principales departamentos con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Eucalyptus urograndis* en Colombia

Departamento	Aptitud alta (A1)	Departamento	Aptitud media (A2)	Departamento	Aptitud baja (A3)
Córdoba	1.179.111	Meta	915.750	Vichada	2.905.378
Antioquia	1.060.399	Antioquia	531.770	Meta	2.330.316
Magdalena	831.170	Santander	521.707	Caquetá	1.413.439
Cesar	714.605	Cesar	321.436	Casanare	576.326
Tolima	525.396	Córdoba	310.067	Guaviare	413.993

Valle del Cauca	474.341	Casanare	302.487	Antioquia	413.918
Meta	462.072	Magdalena	283.531	Arauca	384.334
Santander	418.407	Tolima	275.954	Santander	334.750
Cauca	380.486	Huila	265.257	Putumayo	315.955
Bolívar	378.039	Bolívar	263.940	Bolívar	228.952

Fuente: Elaboración propia.

Los municipios que sumaron la mayor aptitud total para la producción comercial de *Eucalyptus urograndis* se localizaron en los departamentos de Vichada y Meta: Cumaribo, con 1.478.529 hectáreas; Puerto Gaitán, con 987.012; La Primavera, con 906.874; La Macarena, con 510.315; y Puerto López, con 457.993 (ver Tabla 48).

Tabla 48. Principales municipios aptos para la producción de *Eucalyptus urograndis* en Colombia

Municipio	Total de aptitud (ha)
Cumaribo (Vichada)	1.478.529
Puerto Gaitán (Meta)	987.012
La Primavera (Vichada)	906.874
La Macarena (Meta)	510.315
Puerto López (Meta)	457.993
Puerto Carreño (Vichada)	441.347
Mapiripán (Meta)	407.537
San Martín (Meta)	331.021
San Vicente del Caguán (Caquetá)	308.335
Montería (Córdoba)	251.615

Fuente: Elaboración propia.

Los municipios que presentaron la mayor área apta para el desarrollo comercial de plantaciones de *Eucalyptus urograndis* fueron, con *aptitud alta* (A1), Montería, con 223.710 hectáreas; Puerto López, con 111.172; Turbo, con 94.620; Valledupar, con 93.432; y Sabanas de San Ángel, con 82.709. Con *aptitud media*, Puerto Gaitán, con 235.699 hectáreas; La Macarena, con160.766; y Puerto López, con 79.435. Con *aptitud baja* (A3), Cumaribo, con 1.458.783 hectáreas; La Primavera, con 829.502; Puerto Gaitán, con734.486; y Puerto Carreño, con 439.241 (ver Tabla 49).

Tabla 49. Principales municipios con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Eucalyptus urograndis* en Colombia

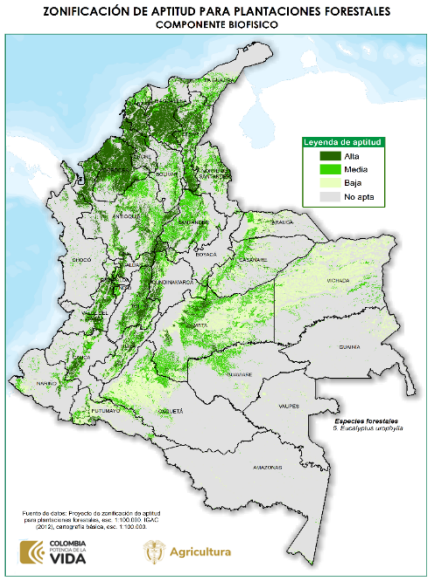
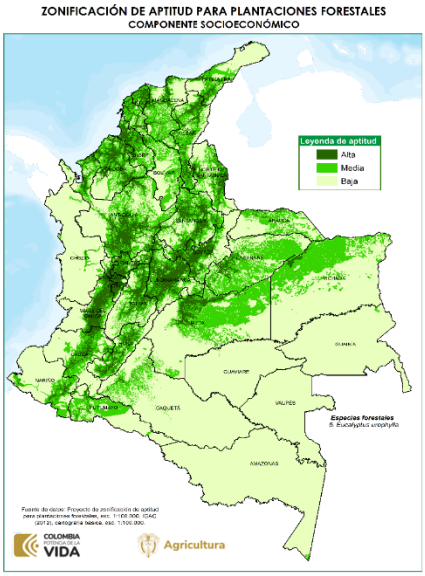
Municipio	Aptitud alta (A1)	Municipio	Aptitud media (A2)	Municipio	Aptitud baja (A3)
Montería (Córdoba)	223.710	Puerto Gaitán (Meta)	235.699	Cumaribo (Vichada)	1.458.783
Puerto López (Meta)	111.172	La Macarena (Meta)	160.766	La Primavera (Vichada)	829.502
Turbo (Antioquia)	94.620	Puerto López (Meta)	79.435	Puerto Gaitán (Meta)	734.486
Valledupar (Cesar)	93.432	Cimitarra (Santander)	77.561	Puerto Carreño (Vichada)	439.241
Sabanas de San Ángel (Magdalena)	82.709	Valledupar (Cesar)	68.319	Mapiripán (Meta)	341.749
Sahagún (Córdoba)	80.361	Puerto Lleras (Meta)	68.153	La Macarena (Meta)	338.700
Pivijay (Magdalena)	77.663	Sabana de Torres (Santander)	62.945	San Martín (Meta)	278.342
Planeta Rica (Córdoba)	73.491	Arauquita (Arauca)	62.017	Puerto López (Meta)	267.387
Plato (Magdalena)	69.593	Mapiripán (Meta)	60.329	San Vicente del Caguán (Caquetá)	256.094
Necoclí (Antioquia)	63.996	La Primavera (Vichada)	53.987	Cartagena del Chairá (Caquetá)	221.929

Fuente: Elaboración propia.

4.5. Eucalipto (*Eucalyptus urophylla*)

El mapa biofísico mostró la mayor área con aptitud alta (A1) en los departamentos de Córdoba, Magdalena, Cesar y Antioquia, y los valles medios de los ríos Magdalena y Cauca. El mapa socioeconómico indicó una mayor aptitud alta (A1) en las regiones con mejores condiciones de infraestructura, servicios, vías, apoyos y comunicaciones, los cuales facilitan la producción comercial de madera. En la Orinoquia y la Amazonia, la aptitud predominante fue media (A2) y baja (A3), con algunas zonas de aptitud alta (A1) en los piedemontes de los departamentos del Meta y Casanare (ver Figura 36).

Figura 36. Mapas intermedios de la zonificación de aptitud para la producción de *Eucalyptus urophylla* en Colombia a escala 1:100.000

Mapa biofísico	Mapa socioeconómico
	

Fuente: Elaboración propia.

El mapa de la zonificación de aptitud para la producción de *Eucalyptus urophylla* mostró que en Colombia existen 25.055.883 hectáreas aptas para el desarrollo comercial de esta especie, lo que representa un 22,0 % del área continental y un 58,2 % de la frontera agrícola nacional. Del total de áreas aptas, el 33,4 % correspondió a *aptitud alta* (A1); el 22,0 %, a *aptitud media* (A2); y el 44,6 %, a *aptitud baja* (A3). Las zonas no aptas (N1) alcanzaron 61.987.110 (ver Tabla 50 y Figura 37).

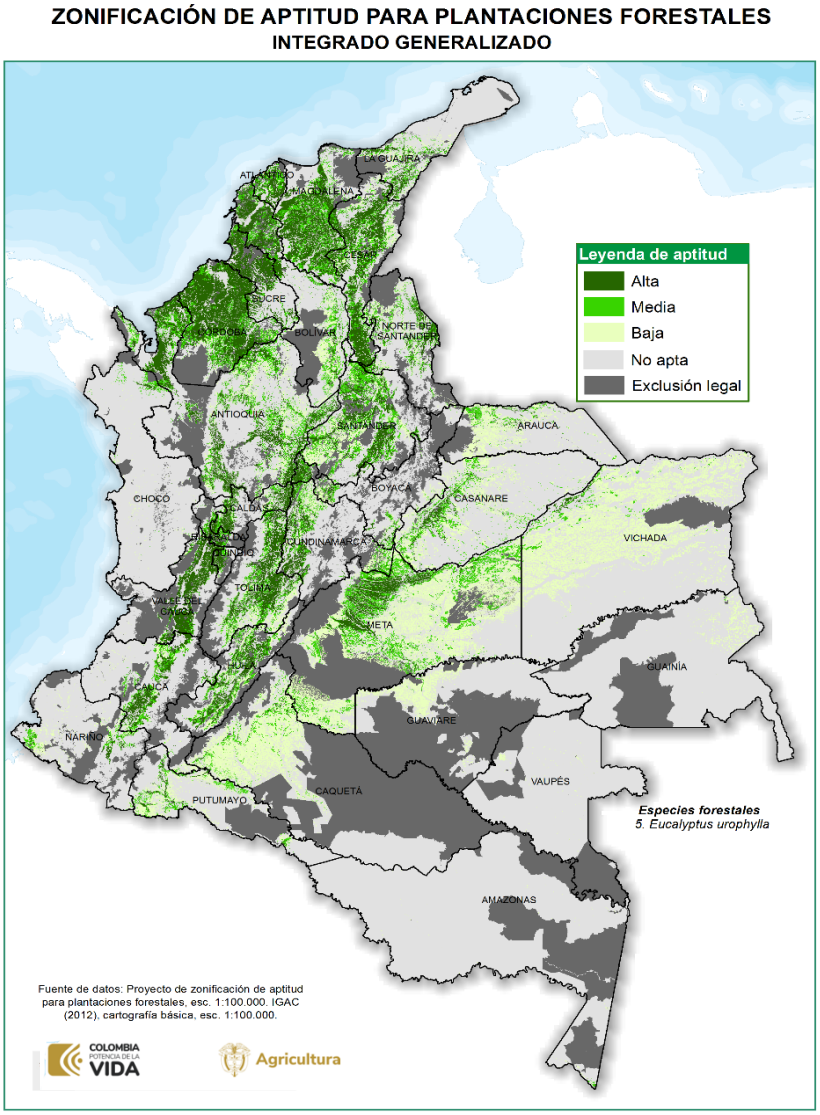
Tabla 50. Áreas según categorías de aptitud para la producción de *Eucalyptus urophylla* en Colombia a escala 1:100.000

Eucalipto (*Eucalyptus urophylla*)	Aptitud	Área (ha)	% nacional	% frontera agrícola nacional*
A1	**Alta**	8.362.785	7,3	19,4
A2	**Media**	5.520.222	4,8	12,8
A3	**Baja**	11.172.876	9,8	25,9
Total del área apta		25.055.883	22,0	58,2
N1	No apto técnico	61.987.110	54,3	—

N2	No apto legal	27.031.977	23,7	—
Total del territorio nacional		114.074.970	100,0	—
*Frontera agrícola nacional: 43.070.364 hectáreas.				

Fuente: Elaboración propia.

Figura 37. Mapa integrado de aptitud para la producción de *Eucalyptus urophylla* en Colombia a escala 1:100.000



Fuente: Elaboración propia.

Los departamentos que mostraron la mayor aptitud total para la producción de *Eucalyptus urophylla* fueron Meta, con 3.966.525 hectáreas; Vichada, con 3.021.687; Antioquia, con 1.934.208; Caquetá, con 1.566.277; y Córdoba, con 1.543.269. Estos departamentos sumaron 11.563.954 hectáreas, lo cual equivale el 48,0 % del área apta total para esta especie (ver Tabla 51).

Tabla 51. Principales departamentos aptos para la producción de *Eucalyptus urophylla* en Colombia

Departamento	Total de aptitud (ha)
Meta	3.966.525
Vichada	3.021.687
Antioquia	1.934.208
Caquetá	1.566.277
Córdoba	1.543.269
Santander	1.234.154
Cesar	1.160.386
Magdalena	1.152.907
Casanare	985.154
Tolima	970.696

Fuente: Elaboración propia.

Los departamentos con mayor *aptitud alta* (A1) fueron Córdoba, con 1.233.281 hectáreas; Antioquia, con 962.094; Magdalena, con 793.722; Cesar, con 774.396; y Tolima, con 531.323. Los departamentos con mayor *aptitud media* (A2) fueron Meta, con 965.000 hectáreas; Antioquia, con 580.647; Santander, con 480.084 Magdalena, con 311.797; y Bolívar, con 285.966. En los Llanos Orientales se encontró la mayor *aptitud baja* (A3) en los departamentos de Vichada, con 2.880.804 hectáreas; Meta, con 2.527.034; Caquetá, con 620.828; Casanare, con 620.828; y Arauca, con 437.312, para un total de 7.854.346 hectáreas (ver Tabla 52).

Tabla 52. Principales departamentos con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Eucalyptus urophylla* en Colombia

Departamento	Aptitud alta (A1)	Departamento	Aptitud media (A2)	Departamento	Aptitud baja (A3)
Córdoba	1.233.281	Meta	965.000	Vichada	2.880.804
Antioquia	962.094	Antioquia	580.647	Meta	2.527.034
Magdalena	793.722	Santander	480.084	Caquetá	1.388.367
Cesar	774.396	Magdalena	311.797	Casanare	620.828

Tolima	531.323	Bolívar	285.966	Arauca	437.312
Meta	474.491	Cesar	277.077	Guaviare	414.461
Valle del Cauca	455.069	Tolima	258.740	Antioquia	391.467
Santander	429.066	Córdoba	257.896	Santander	325.004
Bolívar	398.497	Casanare	250.342	Putumayo	288.423
Sucre	391.863	Huila	212.515	Bolívar	220.226

Fuente: Elaboración propia.

Los municipios que sumaron la mayor aptitud total para el desarrollo comercial de *Eucalyptus urophylla* se ecnontraron en los departamentos de Vichada y Meta: Cumaribo, con 1.480.020 hectáreas; Puerto Gaitán, con 988.321; La Primavera, con 907.444; La Macarena, con 511.527; y Puerto López, con 458.196 (ver Tabla 53).

Tabla 53. Principales municipios aptos para la producción de *Eucalyptus urophylla* en Colombia

Municipio	Total de aptitud (ha)
Cumaribo (Vichada)	1.480.020
Puerto Gaitán (Meta)	988.321
La Primavera (Vichada)	907.444
La Macarena (Meta)	511.527
Puerto López (Meta)	458.196
Puerto Carreño (Vichada)	441.111
Mapiripán (Meta)	409.001
San Martín (Meta)	393.101
San Vicente del Caguán (Caquetá)	307.964
Montería (Córdoba)	252.103

Fuente: Elaboración propia.

Los municipios de mayor área con *aptitud alta* (A1) fueron Montería, con 245.225 hectáreas; Valledupar, con 133.389; Puerto López, con 104.014; Turbo, con 87.686; y Sahagún, con 80.763. Con *aptitud media* (A2), los municipios de Puerto Gaitán, con 290.394 hectáreas; La Macarena, con 87.912; Puerto López, con 68.988; y La Primavera, con 67.096. Con *aptitud baja* (A3), los municipios de Cumaribo, con 1.462.837 hectáreas; La Primavera, con 810.188 y Puerto Gaitán, con 686.184 (ver Tabla 54).

Tabla 54. Principales municipios con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Eucalyptus urophylla* en Colombia

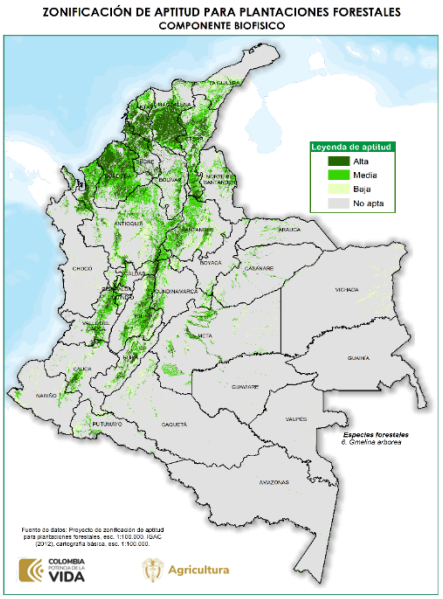
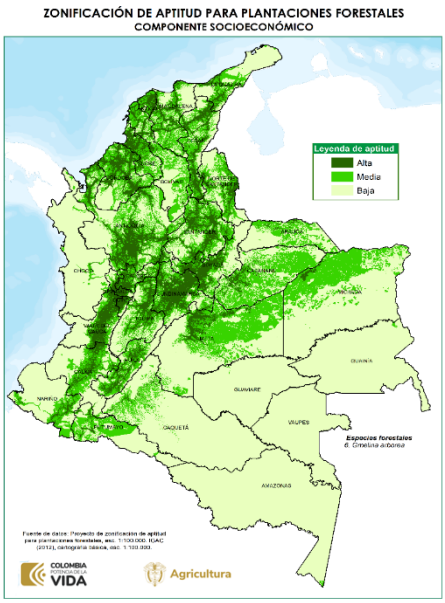
Municipio	Aptitud alta (A1)	Municipio	Aptitud media (A2)	Municipio	Aptitud baja (A3)
Montería (Córdoba)	245.225	Puerto Gaitán (Meta)	290.394	Cumaribo (Vichada)	1.462.837
Valledupar (Cesar)	133.389	La Macarena (Meta)	87.912	La Primavera (Vichada)	810.188
Puerto López (Meta)	104.014	Puerto López (Meta)	68.988	Puerto Gaitán (Meta)	686.184
Turbo (Antioquia)	87.686	La Primavera (Vichada)	67.096	Puerto Carreño (Vichada)	436.112
Sahagún (Córdoba)	80.763	Cimitarra (Santander)	67.089	La Macarena (Meta)	422.592
Pivijay (Magdalena)	75.403	Sabana de Torres (Santander)	60.049	Mapiripán (Meta)	365.380
Planeta Rica (Córdoba)	74.041	Puerto Lleras (Meta)	59.323	San Martín (Meta)	287.465
Plato (Magdalena)	70.103	San Martín (Meta)	56.681	Puerto López (Meta)	285.194
Sabanas de San Ángel (Magdalena)	69.838	San Vicente del Caguán (Caquetá)	48.239	San Vicente del Caguán (Caquetá)	252.257
Puerto Boyacá (Boyacá)	69.114	Puerto Rico (Meta)	46.877	Cartagena del Chairá (Caquetá)	221.916

Fuente: Elaboración propia.

4.6. Melina (*Gmelina arborea*)

La mayor área con aptitud alta (A1) que reveló el mapa biofísico se presentó en los departamentos de Córdoba, Bolívar, Magdalena, Cesar, Antioquia y Valle del Cauca, y los valles medios de los ríos Magdalena y Cauca. El mapa socioeconómico mostró una mayor aptitud alta (A1) en regiones que expresan mejores condiciones de infraestructura, servicios, red vial, apoyos y comunicaciones, los cuales facilitan la producción comercial de madera. En la Orinoquia y la Amazonia, predominaron la aptitud media (A2) y baja (A3), con algunas zonas de aptitud alta (A1) en el piedemonte de los departamentos de Meta y Casanare (ver Figura 38).

Figura 38. Mapas intermedios de la zonificación de aptitud para la producción de *Gmelina arborea* en Colombia a escala 1:100.000

Mapa biofísico	Mapa socioeconómico
	

Fuente: Elaboración propia.

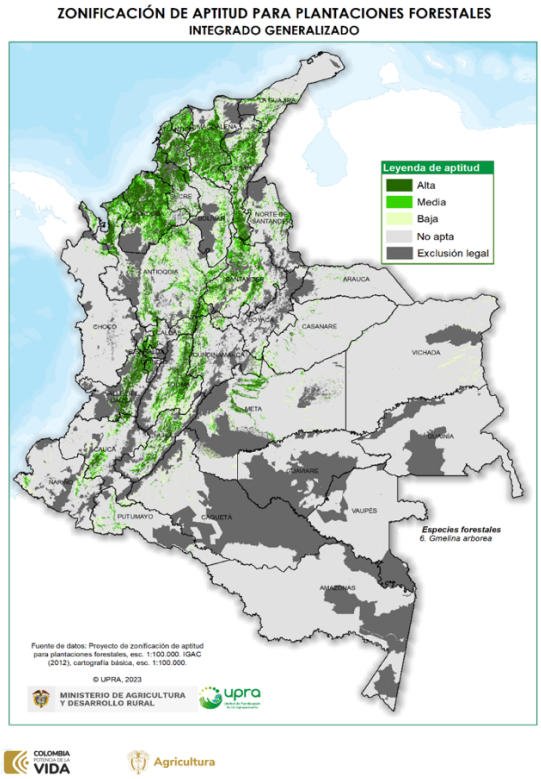
Para *Gmelina arborea*, el mapa de la zonificación de aptitud indicó que Colombia dispone de 13.043.448 hectáreas aptas, las cuales equivalen al 11,4 % del área continental del país y al 30,3 % de la frontera agrícola nacional. Del total de áreas aptas, el 48,0 % correspondió a *aptitud alta* (A1); el 28,9 %, a *aptitud media* (A2); y el 23,1 %, a *aptitud baja* (A3). Las zonas no aptas (N1) abacraron 73.999.545 hectáreas (ver Tabla 55 y Figura 39).

Tabla 55. Áreas según categorías de aptitud para la producción de *Gmelina arborea* en Colombia a escala 1:100.000

Melina (*Gmelina arborea*)	Aptitud	Área (ha)	% nacional	% frontera agrícola nacional*
A1	**Alta**	6.266.151	5,5	14,5
A2	**Media**	3.769.212	3,3	8,8
A3	**Baja**	3.008.086	2,6	7,0
Total del área apta		13.043.448	11,4	30,3
N1	No apto técnico	73.999.545	64,9	—
N2	No apto legal	27.031.977	23,7	—
Total del territorio nacional		114.074.970	100,0	—
*Frontera agrícola nacional: 43.070.364 hectáreas.				

Fuente: Elaboración propia.

Figura 39. Mapa integrado de aptitud para la producción de *Gmelina arborea* en Colombia a escala 1:100.000



Fuente: Elaboración propia.

Los departamentos que presentaron la mayor aptitud total para *Gmelina arborea* fueron Antioquia, con 1.697.749 hectáreas; Córdoba, con 1.478.378; Magdalena, con 1.145.974; Cesar, con 1.061.109; y Santander, con 1.050.412. Estos departamentos sumaron 6.433.621 hectáreas, que equivalen al 49,3 % del área apta total para esta especie forestal (ver Tabla 56).

Tabla 56. Principales departamentos aptos para la producción de *Gmelina arborea* en Colombia

Departamento	Total de aptitud (ha)
Antioquia	1.697.749
Córdoba	1.478.378
Magdalena	1.145.974
Cesar	1.061.109
Santander	1.050.412
Tolima	902.817
Bolívar	756.296
Meta	550.377
Valle del Cauca	469.820
Huila	466.009

Fuente: Elaboración propia.

Los departamentos con mayor *aptitud alta* (A1) fueron Córdoba, con 1.005.380 hectárea; Magdalena, con 764.999; Antioquia, con 679.809; Cesar, con 648.429; y Tolima, con 424.138. Los departamentos con mayor *aptitud media* (A2) fueron Antioquia, con 587.465 hectáreas; Santander, con 382.257; Córdoba, con 359.132; Magdalena, con 298.189; y Cesar, con 289.505. La mayor *aptitud baja* (A3) la obtuvierton los departamentos de Antioquia, con 430.475; Santander, con311.244; Tolima, con 234.159; Meta, con 230.636; y Vichada, con 154.248, para un total de 1.360.762 hectáreas (ver Tabla 57).

Tabla 57. Principales departamentos con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Gmelina arborea* en Colombia

Departamento	Aptitud alta (A1)	Departamento	Aptitud media (A2)	Departamento	Aptitud baja (A3)
Córdoba	1.005.380	Antioquia	587.465	Antioquia	430.475
Magdalena	764.999	Santander	382.257	Santander	311.244
Antioquia	679.809	Córdoba	359.132	Tolima	234.159

Cesar	648.429	Magdalena	298.189	Meta	230.636
Tolima	424.138	Cesar	289.505	Vichada	154.248
Valle del Cauca	406.776	Bolívar	271.024	La Guajira	128.987
Bolívar	361.957	Tolima	244.519	Bolívar	123.315
Santander	356.911	Meta	141.008	Cesar	123.174
Sucre	343.254	Huila	139.882	Caquetá	122.914
Huila	204.064	Cundinamarca	112.471	Huila	122.062

Fuente: Elaboración propia.

Los municipios que sumaron la mayor aptitud total para el desarrollo productivo de *Gmelina arborea* fueron Montería, con 251.377 hectáreas; Cimitarra, con 197.121; Valledupar, con 179.835; Pivijay, con 124.264; y Turbo, con 118.619 (Tabla 58).

Tabla 58. Principales municipios aptos para la producción de *Gmelina arborea* en Colombia

Municipio	Total de aptitud (ha)
Montería (Córdoba)	251.377
Cimitarra (Santander)	197.121
Valledupar (Cesar)	179.835
Pivijay (Magdalena)	124.264
Turbo (Antioquia)	118.619
Cumaribo (Vichada)	113.091
Cáceres (Antioquia)	103.836
Sabanas de San Ángel (Magdalena)	102.318
Tierralta (Córdoba)	98.563
Planeta Rica (Córdoba)	97.208

Fuente: Elaboración propia.

Los municipios de mayor área con *aptitud alta* (A1) fueron Montería, con 202.738 hectáreas; Valledupar, con 104.885; Sabanas de San Ángel, con 80.019; Pivijay, con 76.609; y Turbo, con 72.119. Con *aptitud media* (A2), se calificaron los municipios de Cimitarra, con 62.801 hectáreas; Valledupar, con 48.763; Sabana de Torres, con 44.042; Yondó-Casabe, con 39.638; y Montelíbano, con 41.130. Con aptitud baja (A3), se hallaron los municipios de Cumaribo, con 113.091 hectáreas; Cimitarra, con 71.140; La Macarena, con 54.189; Riohacha, con 53.595; y Puerto Gaitán, con 48.101 (ver Tabla 59).

Tabla 59. Principales municipios con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Gmelina arborea* en Colombia

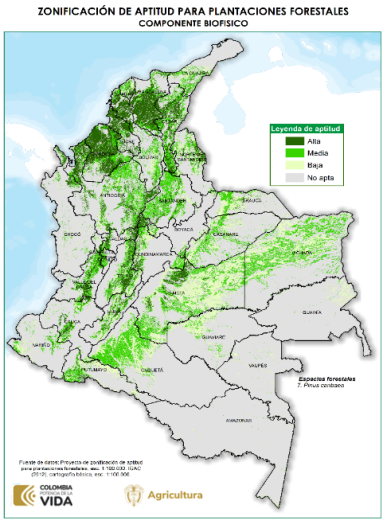
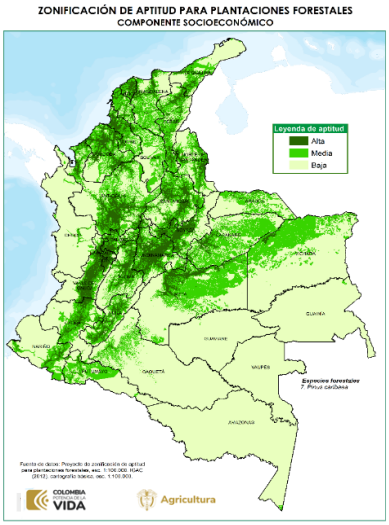
Municipio	Aptitud alta (A1)	Municipio	Aptitud media (A2)	Municipio	Aptitud baja (A3)
Montería (Córdoba)	202.738	Cimitarra (Santander)	62.801	Cumaribo (Vichada)	113.091
Valledupar (Cesar)	104.885	Valledupar (Cesar)	48.763	Cimitarra (Santander)	71.140
Sabanas de San Ángel (Magdalena)	80.019	Sabana de Torres (Santander)	44.042	La Macarena (Meta)	54.189
Pivijay (Magdalena)	76.609	Montelíbano (Córdoba)	41.130	Riohacha (La Guajira)	53.595
Turbo (Antioquia)	72.119	Yondó-Casabe (Antioquia)	39.638	Puerto Gaitán (Meta)	48.101
Plato (Magdalena)	69.812	Montería (Córdoba)	38.235	Cáceres (Antioquia)	38.193
Sahagún (Córdoba)	68.177	Cáceres (Antioquia)	33.996	Tumaco (Nariño)	37.870
Cimitarra (Santander)	63.180	Pivijay (Magdalena)	32.913	Puerto Carreño (Vichada)	36.111
Planeta Rica (Córdoba)	62.503	Tierralta (Córdoba)	31.221	Ataco (Tolima)	33.711
Ariguaní-El Difícil (Magdalena)	60.886	Caucasia (Antioquia)	30.637	Tierralta (Córdoba)	29.834

Fuente: Elaboración propia.

4.7. Pino caribe (*Pinus caribaea*)

La mayor área de aptitud alta (A1), que expuso el mapa biofísico, se presentó en los departamentos de Córdoba, Magdalena, Cesar, Antioquia, Sucre, Bolívar y Valle del Cauca, los valles medios de los ríos Magdalena y Cauca. El mapa socioeconómico expresó una mayor aptitud alta (A1) en las zonas con mejores condiciones de servicios, infraestructura, apoyos y comunicaciones, lasc cuales facilitan la producción comercial de madera. En la Orinoquia y la Amazonia, predominó la aptitud media (A2) y baja (A3), con algunas zonas de aptitud alta (A1) en el piedemonte del Meta y Casanare (ver Figura 40).

Figura 40. Mapas intermedios de la zonificación de aptitud para la producción de *Pinus caribaea* en Colombia a escala 1:100.000

Mapa biofísico	Mapa socioeconómico
	

Fuente: Elaboración propia.

El mapa de la zonificación de aptitud para la producción comercial de *Pinus caribaea* determinó que Colombia dispone de 24.115.869 hectáreas aptas para esta especie, lo que equivale al 21,1 % del área continental del país y al 56,0 % de la frontera agrícola nacional. Del área apta total, el 31,3 % correspondió a *aptitud alta* (A1); el 26,6 %, a *aptitud media* (A2); y 42,1 %, a *aptitud baja* (A3). Las zonas no aptas (N1) abarcaron 62.927.124 hectáreas (ver Tabla 60 y Figura 39).

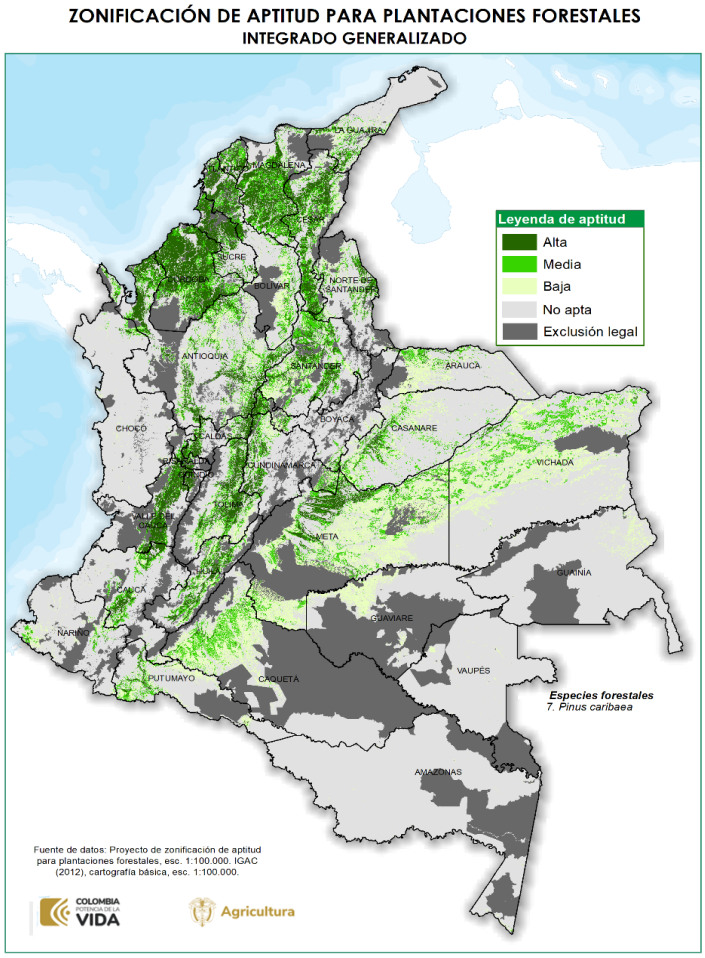
Tabla 60. Áreas según categorías de aptitud para la producción de *Pinus caribaea* en Colombia a escala 1:100.000

Pino caribe (*Pinus caribaea*)	Aptitud	Área (ha)	% nacional	% frontera agrícola nacional*
A1	**Alta**	7.544.685	6,6	17,5
A2	**Media**	6.409.496	5,6	14,9
A3	**Baja**	10.161.688	8,9	23,6
Total del área apta		24.115.869	21,1	56,0
N1	No apto técnico	62.927.124	55,2	—

N2	No apto legal	27.031.977	23,7	—
Total del territorio nacional		114.074.970	100,0	—
*Frontera agrícola nacional: 43.070.364 hectáreas.				

Fuente: Elaboración propia.

Figura 41. Mapa integrado de aptitud para la producción de *Pinus caribaea* en Colombia a escala 1:100.000



Fuente: Elaboración propia.

Los departamentos con mayor aptitud total para la producción comercial de plantacipones de *Pinus caribaea* fueron Meta, con 3.712.013 hectáreas; Vichada, con

2.995.014; Antioquia, con 1.839.206; Caquetá, con 1.560.898; y Córdoba, con 1.542.635. El área apta de estos departamentos abarcó 11.649.765 hectáreas, lo que significa un 48,3 % del área apta total para esta especie (ver Tabla 61).

Tabla 61. Principales departamentos aptos para la producción de *Pinus caribaea* en Colombia

Departamento	Total de aptitud (ha)
Meta	3.712.013
Vichada	2.995.014
Antioquia	1.839.206
Caquetá	1.560.898
Córdoba	1.542.635
Magdalena	1.159.739
Santander	1.153.435
Cesar	1.144.952
Casanare	978.438
Tolima	927.434

Fuente: Elaboración propia.

Los departamentos con mayor *aptitud alta* (A1) fueron Córdoba, con 1.179.393 hectáreas; Antioquia, con 852.355; Magdalena, con 753.561; Cesar, con 680.455; y Meta, con 476.544. Los departamentos con mayor *aptitud media* (A2) fueron Vichada, con 778.179 hectáreas; Meta, con 732.072; Antioquia, con 571.257; Santander, con 483.723; y Caquetá, con 472.887. En los Llanos Orientales se encontró la mayor superficie con *aptitud baja* (A3) en los departamentos del Meta, con 2.503.398 hectáreas; Vichada, con 2.181.852; Caquetá, con 1.055.385; Casanare, con 571.586; y Guaviare, con 416.140, para un total de 6.728.362 hectáreas (ver Tabla 62).

Tabla 62. Principales departamentos con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Pinus caribaea* en Colombia

Departamento	Aptitud alta (A1)	Departamento	Aptitud media (A2)	Departamento	Aptitud baja (A3)
Córdoba	1.179.393	Vichada	778.179	Meta	2.503.398
Antioquia	852.355	Meta	732.072	Vichada	2.181.852
Magdalena	753.561	Antioquia	571.257	Caquetá	1.055.385
Cesar	680.455	Santander	483.723	Casanare	571.586
Meta	476.544	Caquetá	472.887	Guaviare	416.140
Valle del Cauca	454.676	Magdalena	341.939	Antioquia	415.593

Tolima	449.851	Cesar	340.580	Arauca	392.021
Sucre	352.847	Córdoba	303.904	Santander	323.149
Santander	346.563	Casanare	303.239	Putumayo	274.169
Bolívar	337.541	Bolívar	270.822	Bolívar	253.626

Fuente: Elaboración propia.

Los municipios que sumaron la mayor aptitud total para la producción comercial de *Pinus caribaea* fueron Cumaribo, con 1.470.690 hectáreas; Puerto Gaitán, con 986.532; La Primavera, con 896.057; La Macarena, con 512.115; y Puerto López, con 456.561 (ver Tabla 63).

Tabla 63. Principales municipios aptos para la producción de *Pinus caribaea* en Colombia

Municipio	Total de aptitud
Cumaribo (Vichada)	1.470.690
Puerto Gaitán (Meta)	986.532
La Primavera (Vichada)	896.057
La Macarena (Meta)	512.115
Puerto López (Meta)	456.561
Puerto Carreño (Vichada)	436.331
Mapiripán (Meta)	410.637
San Martín (Meta)	329.880
San Vicente del Caguán (Caquetá)	306.550
Montería (Córdoba)	252.040

Fuente: Elaboración propia.

Los municipios que presentaron áreas con mayor *aptitud alta* (A1) para el cultivo de *Pinus caribaea* fueron Montería, con 245.288 hectáreas; Puerto López, con 124.623; Valledupar, con 123.354; Pivijay, con 75.664; y Planeta Rica, con 74.000. Con mayor *aptitud media* (A2), se registraron los municipios de La Primavera, con 392.269 hectáreas; Puerto Gaitán, con 246.680; Cumaribo, con 212.310; Puerto Carreño, con 130.372; y Puerto López, con 79.692. Con *aptitud baja* (A2), los municipios de Cumaribo, con 1.256.940 hectáreas Puerto Gaitán, con 709.472; La Primavera, con 475.450; La Macarena, con 435.387; y Mapiripán, con 386.712 (ver Tabla 64).

Tabla 64. Principales municipios con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Pinus caribaea* en Colombia

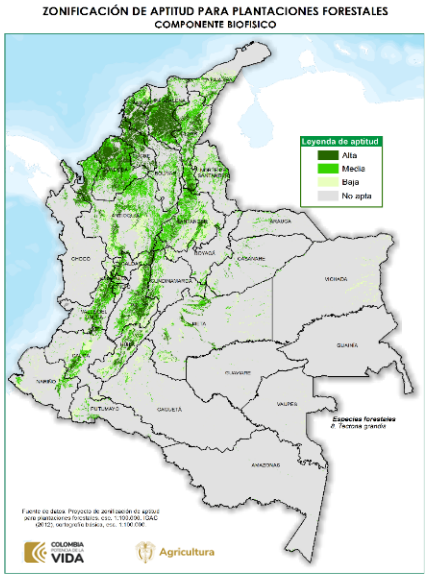
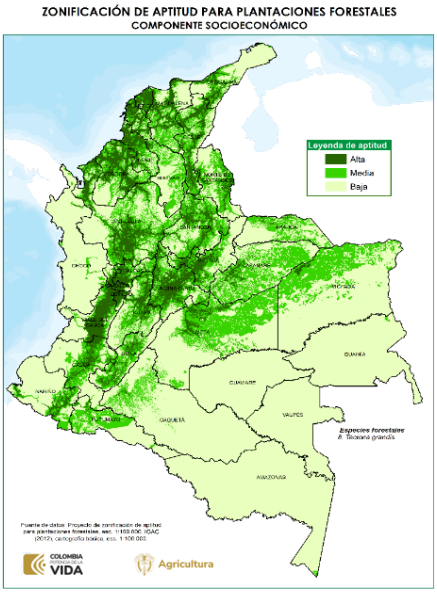
Municipio	Aptitud alta (A1)	Municipio	Aptitud media (A2)	Municipio	Aptitud baja (A3)
Montería (Córdoba)	245.288	La Primavera (Vichada)	392.269	Cumaribo (Vichada)	1.256.940
Puerto López (Meta)	124.623	Puerto Gaitán (Meta)	246.680	Puerto Gaitán (Meta)	709.472
Valledupar (Cesar)	123.354	Cumaribo (Vichada)	212.310	La Primavera (Vichada)	475.450
Pivijay (Magdalena)	75.664	Puerto Carreño (Vichada)	130.372	La Macarena (Meta)	435.387
Planeta Rica (Córdoba)	74.000	Puerto López (Meta)	79.692	Mapiripán (Meta)	386.712
Turbo (Antioquia)	73.049	Puerto Rico (Caquetá)	74.659	Puerto Carreño (Vichada)	300.907
Plato (Magdalena)	67.703	La Macarena (Meta)	74.150	San Martín (Meta)	277.493
Sahagún (Córdoba)	64.175	San Vicente del Caguán (Caquetá)	67.607	Puerto López (Meta)	252.246
Sabanas de San Ángel (Magdalena)	63.721	Sabana de Torres (Santander)	63.525	San Vicente del Caguán (Caquetá)	230.808
Agustín Codazzi (Cesar)	62.101	Cimitarra (Santander)	60.503	San José del Guaviare (Guaviare)	214.234

Fuente: Elaboración propia.

4.8. Teca (*Tectona grandis*)

En la Figura 42 se puede contemplar que la mayor área de aptitud alta (A1), según el mapa biofísico, se encontró en los departamentos de Córdoba, Magdalena, Antioquia, Cesar y Bolívar, y en los valles medios de los ríos Magdalena y Cauca. El mapa socioeconómico presentó una mayor aptitud alta (A1) en las regiones con las mejores condiciones de infraestructura, servicios, apoyos institucionales y comunicaciones, lo cual facilita la producción comercial de *Tectona grandis*. En los departamentos de Meta, Casanare, Arauca, Vichada, Putumayo y Caquetá, predominaron las aptitudes media (A2) y baja (A3).

Figura 42. Mapas intermedios de la zonificación de aptitud para la producción de *Tectona grandis* en Colombia a escala 1:100.000

Mapa biofísico	Mapa socioeconómico
	

Fuente: Elaboración propia.

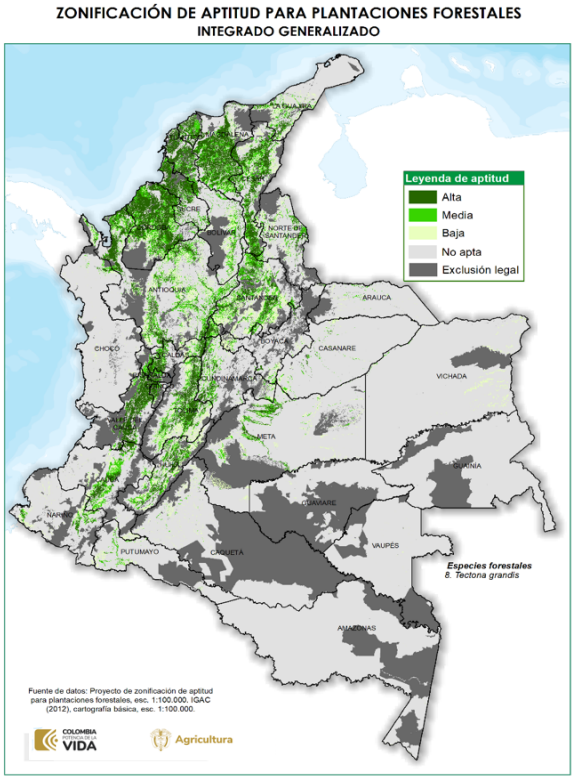
El mapa de la zonificación de aptitud para *Tectona grandis* reflejó que Colombia dispone de 13.461.610 hectáreas aptas para la teca, que equivalen al 11,8 % del área continental del país y al 34,0 % de la frontera agrícola nacional. Del total de áreas aptas, el 47,4 % correspondió a *aptitud alta* (A1); el 27,8 %, a *aptitud media* (A2); y el 24,7 %, a *aptitud baja* (A3). Las zonas no aptas (N1) abarcaron 73.333.075 hectáreas (ver Tabla 65 y Figura 39).

Tabla 65. Áreas según categorías de aptitud para la producción de *Tectona grandis* en Colombia a escala 1:100.000

Teca (*Tectona grandis*)	Aptitud	Área (ha)	% nacional	% frontera agrícola nacional*
A1	**Alta**	6.579.350	5,8	15,3
A2	**Media**	4.041.160	3,5	9,4
A3	**Baja**	3.789.860	3,3	8,8
Total de área apta		14.410.370	12,6	33,5
N1	No apto técnico	72.632.623	63,7	—
N2	No apto legal	27.031.977	23,7	—
Total del territorio nacional		114.074.970	100,0	—
*Frontera agrícola nacional: 43.070.364 hectáreas.				

Fuente: Elaboración propia.

Figura 43. Mapa integrado de aptitud para la producción de *Tectona grandis* en Colombia a escala 1:100.000



Fuente: Elaboración propia.

Los departamentos que expresaron la mayor aptitud total para la producción de *Tectona grandis* fueron Antioquia, con 1.945.209 hectáreas; Córdoba, con 1.479.647; Santander, con 1.236.018; Magdalena, con 1.154.856; y Cesar, con 1.077.851. Estos departamentos sumaron 6.893.581 hectáreas, lo que significa el 47,8 % del área apta total para esta especie maderable (ver Tabla 66).

Tabla 66. Principales departamentos aptos para la producción de *Tectona grandis* en Colombia

Departamento	Total de aptitud (ha)
Antioquia	1.945.209
Córdoba	1.479.647
Santander	1.236.018
Magdalena	1.154.856
Cesar	1.077.851
Tolima	1.008.233
Bolívar	764.138
Huila	605.813
Cauca	563.091
Meta	550.107

Fuente: Elaboración propia.

Los departamentos con mayor *aptitud alta* (A1) fueron Córdoba, con 1.012.589 hectáreas; Magdalena, con 817.319; Antioquia, con 684.858; Cesar, con 640.291 y Valle del Cauca, con 473.088. Los departamentos con mayor *aptitud media* (A2) fueron Antioquia, con 664.934 hectáreas; Santander, con 424.795); Córdoba, con 338.656; Cesar, con 283.172; y Magdalena, con 260.542. La mayor superficie con *aptitud baja* (A3) se encontró en los departamentos de Antioquia, con 595.418; Santander, con 472.869; Tolima, con 304.788; Meta, con 252.987; y Huila, con 224.143, para un total de 1.850.205 hectáreas (Tabla 67).

Tabla 67. Principales departamentos con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Tectona grandis* en Colombia

Departamento	Aptitud alta (A1)	Departamento	Aptitud media (A2)	Departamento	Aptitud baja (A3)
Córdoba	1.012.589	Antioquia	664.934	Antioquia	595.418
Magdalena	817.319	Santander	424.795	Santander	472.869

Antioquia	684.858	Córdoba	338.656	Tolima	304.788
Cesar	640.291	Cesar	283.172	Meta	252.987
Valle del Cauca	473.088	Magdalena	260.542	Huila	224.143
Tolima	448.433	Tolima	255.012	Cauca	177.309
Bolívar	381.313	Bolívar	236.058	Vichada	155.681
Sucre	344.094	Cauca	208.341	Cesar	154.388
Santander	338.354	Huila	192.706	Bolívar	146.767
Huila	188.964	Meta	156.207	Norte de Santander	136.467

Fuente: Elaboración propia.

Los municipios que sumaron la mayor aptitud total para la producción comercial de plantaciones de *Tectona grandis* fueron Montería con 251.310 hectáreas; Cimitarra, con 197.739; Valledupar, con 184.049; Pivijay, con 124.394; y Turbo, con 119.180 (ver Tabla 68).

Tabla 68. Principales municipios aptos para la producción de *Tectona grandis* en Colombia

Municipio	Total de aptitud (ha)
Montería (Córdoba)	251.310
Cimitarra (Santander)	197.739
Valledupar (Cesar)	184.049
Pivijay (Magdalena)	124.394
Turbo (Antioquia)	119.180
Cumaribo (Vichada)	113.090
Cáceres (Antioquia)	103.945
Sabanas de San Ángel (Magdalena)	102.457
Tierralta (Córdoba)	98.686
Planeta Rica (Córdoba)	97.343

Fuente: Elaboración propia.

Los municipios que revelaron la mayor área con *aptitud alta* (A1) fueron Montería, con 198.294 hectáreas; Valledupar, con 98.809; Pivijay, con 92.323; Sabanas de San Ángel, con 86.908; y Turbo, con 83.184. Con *aptitud media* (A2) se encontraron los municipios de Cimitarra, con 64.991 hectáreas; Yondó, con 51.241; Valledupar, con 50.358; Montería, con 44.858; y Sabana de Torres, con 42.716. Con *aptitud baja* (A3), se destacaron Cumaribo, con 113.090 hectáreas; Cimitarra, con 87.482; La Macarena, con 54.723; Riohacha, con 47.395; y Puerto Gaitán, 46.648 (ver Tabla 69).

Tabla 69. Principales municipios con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Tectona grandis* en Colombia

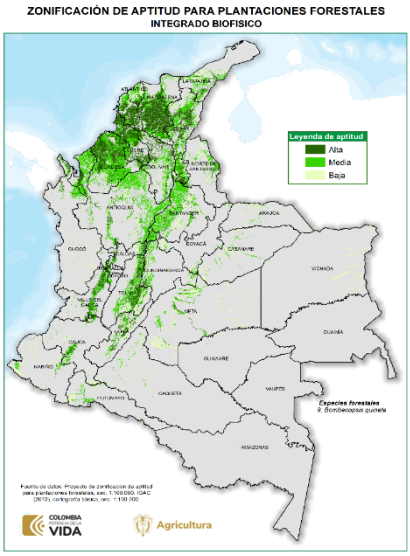
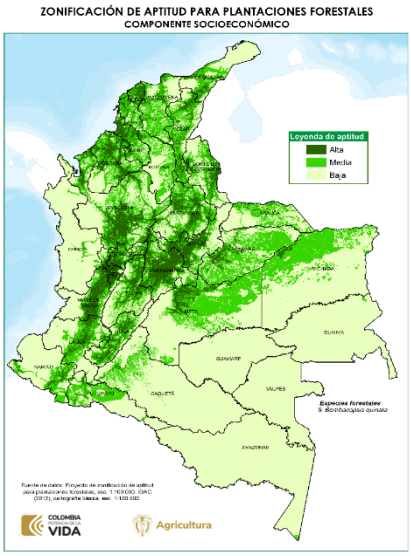
Municipio	Aptitud alta (A1)	Municipio	Aptitud media (A2)	Municipio	Aptitud baja (A3)
Montería (Córdoba)	198.294	Cimitarra (Santander)	64.991	Cumaribo (Vichada)	113.090
Valledupar (Cesar)	98.809	Yondó-Casabe (Antioquia)	51.241	Cimitarra (Santander)	87.482
Pivijay (Magdalena)	92.323	Valledupar (Cesar)	50.358	La Macarena (Meta)	54.723
Sabanas de San Ángel (Magdalena)	86.908	Montería (Córdoba)	44.858	Riohacha (La Guajira)	47.395
Turbo (Antioquia)	83.184	Sabana de Torres (Santander)	42.716	Puerto Gaitán (Meta)	46.648
Sahagún (Córdoba)	72.027	Montelíbano (Córdoba)	38.353	Cáceres (Antioquia)	43.588
Plato (Magdalena)	69.985	Chaparral (Tolima)	36.404	Ataco (Tolima)	39.708
Planeta Rica (Córdoba)	66.711	Cáceres (Antioquia)	35.235	Puerto Carreño (Vichada)	36.299
Ariguaní-El Difícil (Magdalena)	62.995	Tierralta (Córdoba)	33.864	Tumaco (Nariño)	36.251
Nueva Granada (Magdalena)	59.364	Necoclí (Antioquia)	33.053	Santa Rosa del Sur (Bolívar)	35.997

Fuente: Elaboración propia.

4.9. Ceiba tolúa (*Bombacopsis quinata*)

La mayor área de aptitud alta (A1), que resultó de la elaboración del mapa biofísico, se presentó en los departamentos de Córdoba, Antioquia, Magdalena, Sucre, Cesar y Bolívar, y en los valles medios de los ríos Magdalena y Cauca. Así mismo, el mapa socioeconómico mostró una mayor aptitud alta (A1) en las zonas con mejores condiciones de infraestructura, vías, servicios, apoyos y comunicaciones para la producción comercial de madera. En la Orinoquia y la Amazonia, predominó la aptitud baja (A3) y media (A2), con algunas zonas de aptitud alta (A1) en el piedemonte de los departamentos del Meta y Casanare (ver Figura 44).

Figura 44. Mapas intermedios de la zonificación de aptitud para la producción de *Bombacopsis quinata* en Colombia a escala 1:100.000

Mapa biofísico	Mapa socioeconómico
	

Fuente: Elaboración propia.

El mapa de la zonificación de aptitud para el desarrollo productivo de *Bombacopsis quinata* indicó que Colombia dispone de 12.384.148 hectáreas aptas para esta especie forestal maderable, lo cual equivale al 10,9 % del área continental del país y al 28,8 % de la frontera agrícola nacional. Del total de áreas aptas, el 45,3 %, correspondió a *aptitud alta* (A1); el 29,4 %, a *aptitud media* (A2); y el 25,3 %, a *aptitud baja* (A3). Las zonas no aptas (N1) abarcaron 74.658.845 hetáreas (ver Tabla 70 y Figura 39).

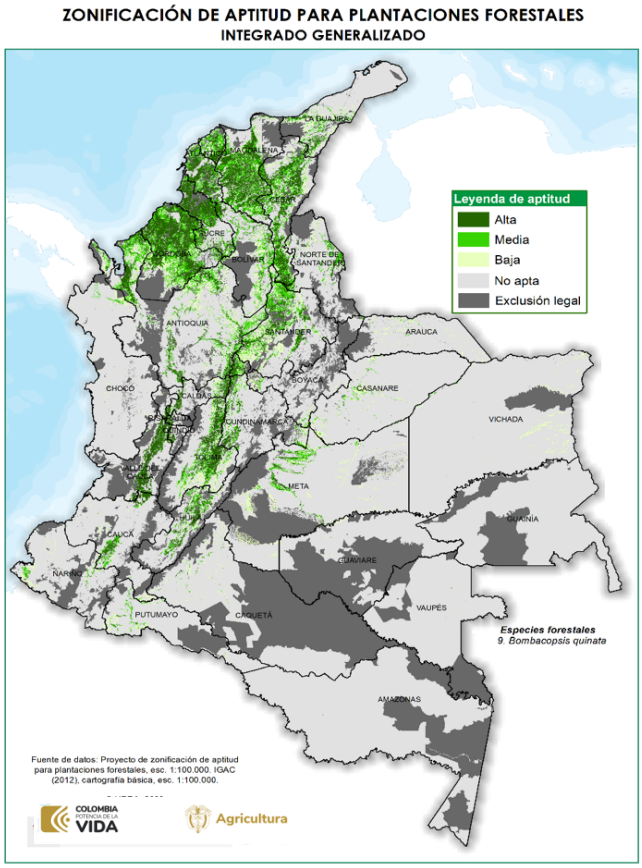
Tabla 70. Áreas según categorías de aptitud para la producción de *Bombacopsis quinata* en Colombia a escala 1:100.000

Ceiba tolúa (*Bombacopsis quinata*)	Aptitud	Área (ha)	% nacional	% frontera agrícola nacional*
A1	**Alta**	5.604.461	4,9	13,0
A2	**Media**	3.644.946	3,2	8,5
A3	**Baja**	3.134.741	2,7	7,3

Total del área apta		12.384.148	10,9	28,8
N1	No apto técnico	74.658.845	65,4	—
N2	No apto legal	27.031.977	23,7	—
Total del territorio nacional		114.074.970	100,0	—
*Frontera agrícola nacional: 43.070.364 hectáreas.				

Fuente: Elaboración propia.

Figura 45. Mapa integrado de aptitud para la producción de *Bombacopsis quinata* en Colombia a escala 1:100.000



Fuente: Elaboración propia.

La mayor aptitud total para la producción comercial del cultivo de *Bombacopsis quinata* se encontró en los departamentos de Córdoba, con 1.546.141 hectáreas; Antioquia, con 11.470.554; Magdalena, con 1.180.598; Cesar, con 1.056.427; y Santander, con

942.682. Estos departamentos sumaron 6.196.401 hectáreas, los cuales equivale a la mitad del área apta total para esta especie maderable (ver Tabla 71).

Tabla 71. Principales departamentos aptos para la producción de *Bombacopsis quinata* en Colombia

Departamento	Total de aptitud (ha)
Córdoba	1.546.141
Antioquia	1.470.554
Magdalena	1.180.598
Cesar	1.056.427
Santander	942.682
Bolívar	897.305
Tolima	771.358
Sucre	563.036
Meta	556.958
Valle del Cauca	357.161

Fuente: Elaboración propia.

Los departamentos con mayor *aptitud alta* (A1) para el desarrollo productivo de *Bombacopsis quinata* fueron Córdoba, con 954.730 hectáreas; Magdalena, con 735.792; Cesar, con 599.327; Antioquia, con 499.344; y Sucre, con 416.292. Los departamentos con mayor *aptitud media* (A2) fueron Antioquia, con 543.538 hectáreas; Córdoba, con 416.023; Magdalena, con 354.961; Bolívar, con 349.927; y Santander, con 349.027. La mayor área con *aptitud baja* (A3) se halló en Antioquia, con 427.672 hectáreas; Santander, con 333.157; Meta, con 328.203; Tolima, con 176.339; y Córdoba, con 175.388 (ver Tabla 72).

Tabla 72. Principales departamentos con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Bombacopsis quinata* en Colombia

Departamento	Aptitud alta (A1)	Departamento	Aptitud media (A2)	Departamento	Aptitud baja (A3)
Córdoba	954.730	Antioquia	543.538	Antioquia	427.672
Magdalena	735.792	Córdoba	416.023	Santander	333.157
Cesar	599.327	Magdalena	354.961	Meta	328.203
Antioquia	499.344	Bolívar	349.927	Tolima	176.339
Sucre	416.292	Santander	349.027	Córdoba	175.388
Tolima	390.056	Cesar	330.265	Bolívar	165.130

Bolívar	382.248	Tolima	204.963	Vichada	156.968
Valle del Cauca	333.946	Meta	143.183	Casanare	136.667
Santander	260.498	Sucre	129.534	Cesar	126.835
Huila	162.038	Huila	102.617	La Guajira	111.207

Fuente: Elaboración propia.

Los municipios que sumaron la mayor aptitud total para la producción de *Bombacopsis quinata* fueron Montería, con 263.976 hectáreas; Cimitarra, con 206.423; Valledupar, con 74.466; Pivijay, con 130.038; y Turbo, con 123.447 (ver Tabla 73).

Tabla 73. Principales municipios aptos para la producción de *Bombacopsis quinata* en Colombia

Municipio	Total de aptitud (ha)
Montería (Córdoba)	263.976
Cimitarra (Santander)	206.423
Valledupar (Cesar)	174.466
Pivijay (Magdalena)	130.038
Turbo (Antioquia)	123.447
Cumaribo (Vichada)	113.091
Cáceres (Antioquia)	107.385
Sabanas de San Ángel (Magdalena)	102.077
Tierralta (Córdoba)	100.624
Yondó-Casabe (Antioquia)	99.690

Fuente: Elaboración propia.

Los municipios con la mayor área de *aptitud alta* (A1) para desarrollar el cultivo de *Bombacopsis quinata* fueron Montería, con 198.274 hectáreas; Valledupar, con 99.446; Pivijay, con 72.288; Plato, con 69.206; y Sahagún, con 67.635. Con *aptitud media* (A2), los municipios de Cimitarra, con 63.798; Yondó-Casabe, con 58.741; Sabana de Torres, con 57.822; Montería, con 56.210; y Valledupar, con 51.036. Con *aptitud baja* (A3) destacaron los municipios de Cumaribo, con 113.091; Cimitarra, con 99.776; La Macarena, con 60.716; Puerto Gaitán, con 53.556; y Riohacha, con 52.236 (ver Tabla 74).

Tabla 74. Principales municipios con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Bombacopsis quinata* en Colombia

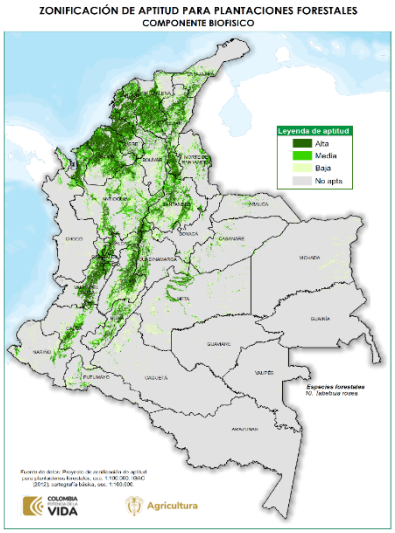
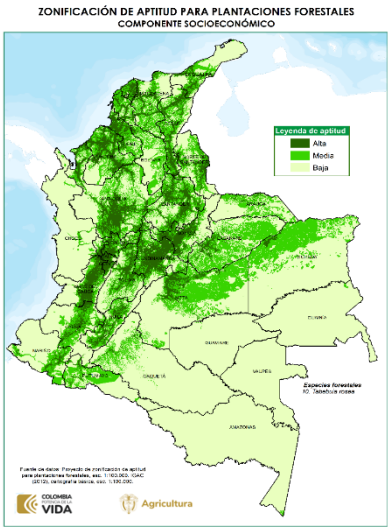
Municipio	Aptitud alta (A1)	Municipio	Aptitud media (A2)	Municipio	Aptitud baja (A3)
Montería (Córdoba)	198.274	Cimitarra (Santander)	63.798	Cumaribo (Vichada)	113.091
Valledupar (Cesar)	99.446	Yondó-Casabe (Antioquia)	58.741	Cimitarra (Santander)	99.776
Pivijay (Magdalena)	72.288	Sabana de Torres (Santander)	57.822	La Macarena (Meta)	60.716
Plato (Magdalena)	69.206	Montería (Córdoba)	56.210	Puerto Gaitán (Meta)	53.556
Sahagún (Córdoba)	67.635	Valledupar (Cesar)	51.036	Riohacha (La Guajira)	52.236
Sabanas de San Ángel (Magdalena)	66.928	Puerto Wilches (Santander)	48.409	Cáceres (Antioquia)	51.232
Agustín Codazzi (Cesar)	60.799	Turbo (Antioquia)	47.799	Tumaco (Nariño)	44.195
San Onofre (Sucre)	59.314	Montelíbano (Córdoba)	47.283	Tierralta (Córdoba)	39.603
Nueva Granada (Magdalena)	57.096	Pivijay (Magdalena)	42.729	Uribe (Meta)	39.152
Ariguaní-El Difícil (Magdalena)	56.298	Necoclí (Antioquia)	41.822	Riosucio (Chocó)	37.380

Fuente: Elaboración propia.

4.10. Roble, ocobo o flormorado (*Tabebuia rosea*)

De acuerdo con el mapa biofísico, la mayor área de aptitud alta (A1) para el desarrollo comercial de plantaciones de *Tabebuia rosea* se presentó en los departamentos de Córdoba, Magdalena, Antioquia, Atlántico, Cesar, Sucre, Bolívar y Tolima, y en el valle medio del río Magdalena. La mayor aptitud alta (A1) se obtuvo en las regiones con mejores condiciones de infraestructura, servicios, conexión vial, apoyos y comunicaciones, lo que facilita la producción comercial de esta especie. Los departamentos con esta aptitud fueron Valle del Cauca, Quindío, Risaralda, Caldas, Antioquia, Córdoba y Sucre, la zona central del país y el occidente de los departamentos de Meta y Casanare. La aptitud baja (A3) y la aptitud media (A2) predominaron en la Orinoquia y la Amazonia (ver Figura 46).

Figura 46. Mapas intermedios de la zonificación de aptitud para la producción de *Tabebuia rosea* en Colombia a escala 1:100.000

Mapa biofísico	Mapa socioeconómico
	

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el mapa de la zonificación de aptitud para la producción comercial de *Tabebuia* rosea, se concluyó que Colombia dispone de 14.065.172 hectáreas aptas para esta especie, que equivalen al 12,3 % del área continental del país y al 35,5 % de la frontera agrícola nacional. Del total de las áreas aptas, el 45,7 % correspondió a *aptitud alta* (A1); el 30,2 %, a *aptitud media* (A2); y el 24,0 %, a *aptitud baja* (A3). Las zonas no aptas (N1) abarcaron 72.729.512 hectáreas (ver Tabla 75 y Figura 45).

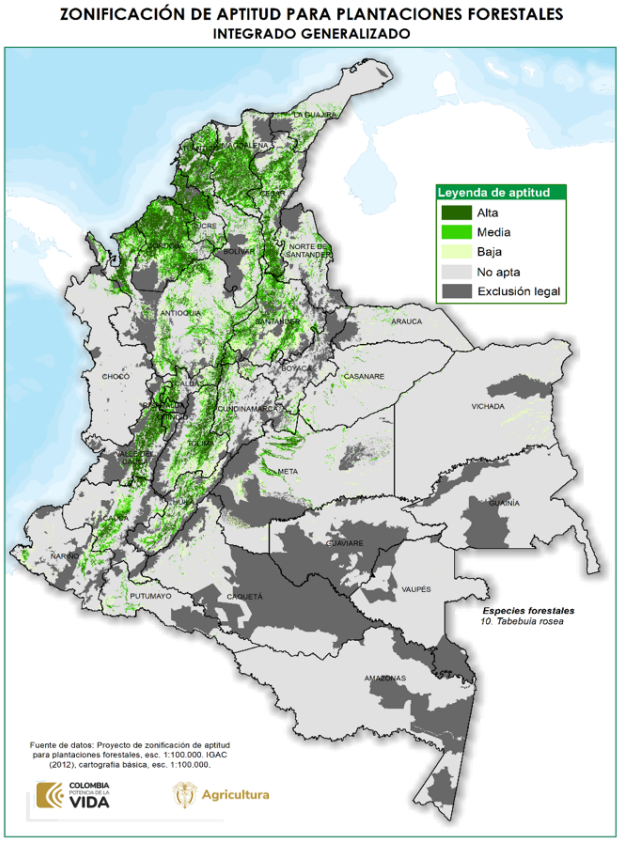
Tabla 75. Áreas según categorías de aptitud para la producción de *Tabebuia rosea* en Colombia a escala 1:100.000

Flormorado (*Tabebuia rosea*)	Aptitud	Área (ha)	% nacional	% frontera agrícola nacional
A1	**Alta**	6.651.684	5,8	15,2
A2	**Media**	4.606.604	4,0	10,5
A3	**Baja**	3.839.653	3,4	8,8
Total del área apta		15.097.941	13,2	34,5

N1	No apto técnico	72.785.423	63,8	—
N2	No apto legal	26.191.607	23,9	—
Total del territorio nacional		114.074.970	100	—
*Frontera agrícola nacional: 43.707.364 hectáreas.				

Fuente: Elaboración propia.

Figura 47. Mapa integrado de aptitud para la producción de *Tabebuia rosea* en Colombia a escala 1:100.000



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 76 se puede contemplar que los departamentos con mayor aptitud total para la producción comercial de *Tabebuia rosea* fueron Antioquia, con 2.006.574 hectáreas; Córdoba, con 1.545.855; Santander, con 1.289.754; Magdalena, con 1.202.381; y Cesar, con 1.101.330. Estos departamentos sumaron 7.145.894 hectáreas, las cuales equivalen al 47,3 % del área apta total para esta especie.

Tabla 76. Principales departamentos aptos para la producción de *Tabebuia rosea* en Colombia

Departamento	Total de aptitud (ha)
Antioquia	2.006.574
Córdoba	1.545.855
Santander	1.289.754
Magdalena	1.202.381
Cesar	1.101.330
Tolima	1.008.094
Bolívar	913.266
Huila	607.223
Cauca	565.378
Sucre	562.870

Fuente: Elaboración propia.

La mayor área con *aptitud alta* (A1) se presentó en los departamentos de Córdoba, con 1.029.210 hectáreas; Magdalena, con 777.822; Antioquia, con 711.308; Cesar, con 630.490; y Valle del Cauca, con 449.483. La mayor superficie de *aptitud media* (A2) se encontró en Antioquia, con 731.054 hectáreas; Santander, con 487.398; Córdoba, con 391.239; Bolívar, con 340.778; y Magdalena, con 325.723. Los departamentos con mayor aptitud baja *aptitud baja* (A3) fueron Antioquia, con 564.211 hectáreas; Tolima, con 295.268; Meta, con 263.845; y Huila, con 205.610, para un total de 1.758.672 hectáreas (ver Tabla 77).

Tabla 77. Principales departamentos con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Tabebuia rosea* en Colombia

Departamento	Aptitud alta (A1)	Departamento	Aptitud media (A2)	Departamento	Aptitud baja (A3)
Córdoba	1.029.210	Antioquia	731.054	Antioquia	564.211
Magdalena	777.822	Santander	487.398	Santander	429.738
Antioquia	711.308	Córdoba	391.239	Tolima	295.268
Cesar	630.490	Bolívar	340.778	Meta	263.845
Valle del Cauca	449.483	Magdalena	325.723	Huila	205.610
Tolima	437.352	Cesar	307.414	Cauca	193.465
Bolívar	414.626	Tolima	275.473	Cesar	163.426
Sucre	405.913	Cauca	211.740	Bolívar	157.862
Santander	372.618	Huila	197.186	Vichada	153.859
Huila	204.427	Meta	141.679	Norte de Santander	135.148

Fuente: Elaboración propia.

Los municipios con mayor aptitud total para el cultivo comercial de *Tabebuia rosea* fueron Montería, con 264.122 hectáreas; Cimitarra, con 205.606; Valledupar, con 183.453; Pivijay, con 130.316; y Turbo, con 123.207 (ver Tabla 78).

Tabla 78. Principales municipios aptos para la producción de *Tabebuia rosea* en Colombia

Municipio	Total de aptitud (ha)
Montería (Córdoba)	264.122
Cimitarra (Santander)	205.606
Valledupar (Cesar)	183.453
Pivijay (Magdalena)	130.316
Turbo (Antioquia)	123.207
Cumaribo (Vichada)	113.091
Cáceres (Antioquia)	107.259
Sabanas de San Ángel (Magdalena)	102.133
Tierralta (Córdoba)	100.624
Yondó-Casabe (Antioquia)	98.489

Fuente: Elaboración propia.

Los municipios que presentaron las mayores áreas con aptitud alta (A1) para el desarrollo productivo de *Tabebuia rosea* en Colombia fueron Montería, con 206.631 hectáreas; Valledupar, con 93.778; Pivijay, con 80.574; Turbo, con 73.400; y Sabanas de San Ángel, con 70.020. Los municipios que presentaron mayor *aptitud media* (A2) fueron Cimitarra, con 72.136 hectáreas; Valledupar, con 54.979; Montería, con 49.092; Yondó, con 45.888; y Sabana de Torres, con 45.107. Para la *aptitud baja* (A3), se distinguen los municipios de Cumaribo, con 113.091; Cimitarra, con 71.353; La Macarena, con 59.948; Riohacha, con 48.895; y Puerto Gaitán, con 43.388 (ver Tabla 79).

Tabla 79. Principales municipios con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Tabebuia rosea* en Colombia

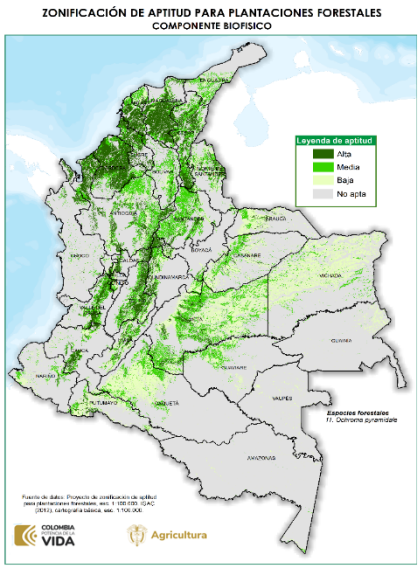
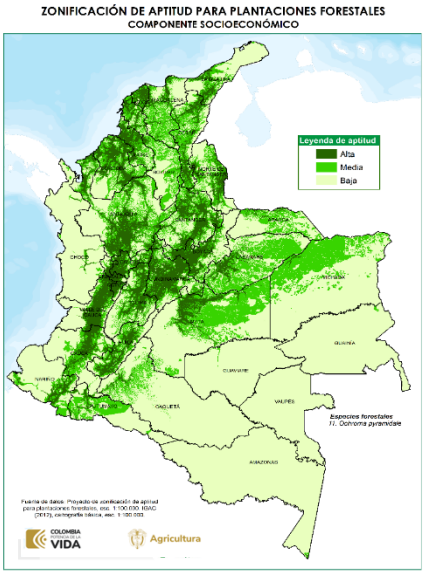
Municipio	Aptitud alta (A1)	Municipio	Aptitud media (A2)	Municipio	Aptitud baja (A3)
Montería (Córdoba)	206.631	Cimitarra (Santander)	72.136	Cumaribo (Vichada)	113.091
Valledupar (Cesar)	93.778	Valledupar (Cesar)	54.979	Cimitarra (Santander)	71.353
Pivijay (Magdalena)	80.574	Montería (Córdoba)	49.092	La Macarena (Meta)	59.948
Turbo (Antioquia)	73.400	Yondó-Casabe (Antioquia)	45.888	Riohacha (La Guajira)	48.895
Sabanas de San Ángel (Magdalena)	70.020	Sabana de Torres (Santander)	45.107	Puerto Gaitán (Meta)	43.388
Plato (Magdalena)	69.683	Puerto Wilches (Santander)	44.967	Tumaco (Nariño)	41.651
Sahagún (Córdoba)	69.544	Montelíbano (Córdoba)	44.462	Ataco (Tolima)	38.790
Cimitarra (Santander)	62.117	Morales (Bolívar)	36.497	Uribe (Meta)	38.369
Ariguaní-El Difícil (Magdalena)	59.091	Puerto Libertador (Córdoba)	35.850	Santa Rosa del Sur (Bolívar)	37.814
San Onofre (Sucre)	58.825	Pivijay (Magdalena)	35.820	Cáceres (Antioquia)	36.554

Fuente: Elaboración propia.

4.11. Balso (*Ochroma pyramidale*)

La mayor superficie con aptitud alta (A1), según el mapa biofísico, se localizó en los departamentos de Córdoba, Antioquia, Magdalena, Sucre, Bolívar, Cesar, Tolima, Valle del Cauca y Cauca, y en los valles geográficos de los ríos Magdalena y Cauca. El mapa socioeconómico mostró una mayor aptitud alta (A1) en las regiones con las mejores condiciones de infraestructura, servicios, apoyos y comunicaciones, que facilitan la producción comercial de madera a partir de esta especie. En la Orinoquia y en la Amazonia, predominaron la aptitud baja (A3) y la aptitud media (A2).

Figura 48. Mapas intermedios de la zonificación de aptitud para la producción de *Ochroma pyramidale* en Colombia a escala 1:100.000

Mapa biofísico	Mapa socioeconómico
	

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el mapa de la zonificación de aptitud para la producción comercial de *Ochroma pyramidale*, se ebcontró que Colombia dispone de 24.475.236 hectáreas aptas para el cultivo de producción comercial de *Ochroma pyramidale*, que equivale al 21,5 % del área continental del país y al 56,8 % de la frontera agrícola nacional. Del total de áreas aptas para esta especie, el 33,9 % correspondió a *aptitud alta* (A1); el 22,2 %, a *aptitud media* (A2) y el 43,9 %, a *aptitud baja* (A3). Las zonas no aptas (N1) abarcaon 62.567.757 hectáreas (ver Tabla 80 y Figura 47).

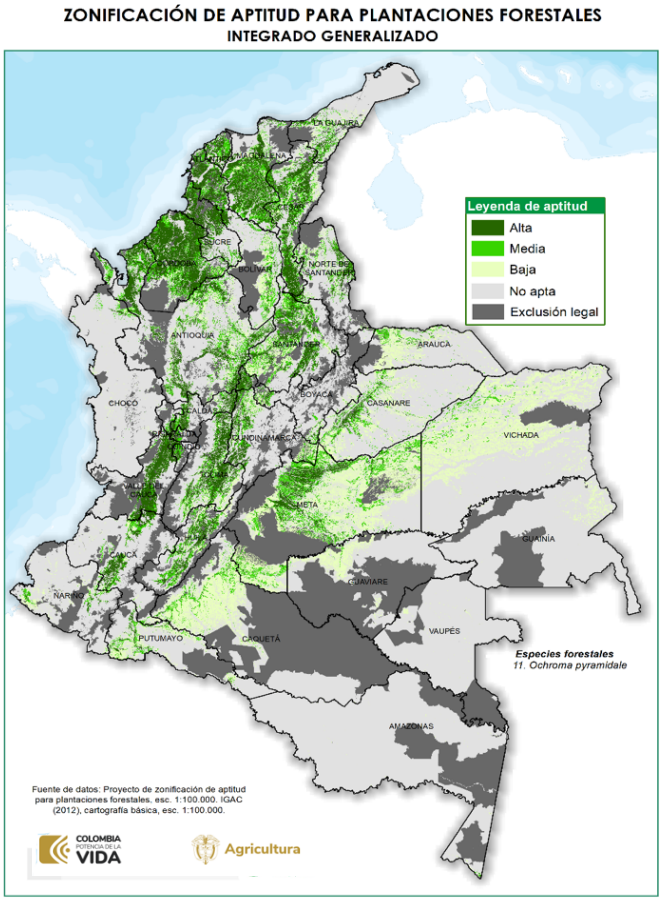
Tabla 80. Áreas según categorías de aptitud para la producción de *Ochroma pyramidale* en Colombia a escala 1:100.000

Balso (*Ochroma pyramidale*)	Aptitud	Área (ha)	% nacional	% frontera agrícola nacional*
A1	**Alta**	8.291.525	7,3	19,3
A2	**Media**	5.433.060	4,8	12,6

A3	**Baja**	10.750.651	9,4	25,0
Total del área apta		24.475.236	21,5	56,8
N1	No apto técnico	62.567.757	54,8	—
N2	No apto legal	27.031.977	23,7	—
Total del territorio nacional		114.074.970	100,0	—
*Frontera agrícola nacional: 43.070.364 hectáreas.				

Fuente: Elaboración propia.

Figura 49. Mapa integrado de aptitud para la producción de *Ochroma pyramidale* en Colombia a escala 1:100.000



Fuente: Elaboración propia.

Los departamentos con mayor aptitud total para el desarrollo comercial de plantaciones de *Ochroma pyramidale* se encontraron en el Meta, con 3.960.775 hectáreas; Vichada, con 3.018.994; Antioquia, con 1.847.377; Caquetá, con 1.562.048;

y Córdoba, con 1.543.031. Estos departamentos sumaron 11.932.226 hectáreas, que equivalen al 48,8 % del área apta total para esta especie maderable (ver Tabla 81).

Tabla 81. Principales departamentos aptos para la producción de *Ochroma pyramidale* en Colombia

Departamento	Total de aptitud (ha)
Meta	3.960.775
Vichada	3.018.994
Antioquia	1.847.377
Caquetá	1.562.048
Córdoba	1.543.031
Santander	1.153.907
Cesar	1.146.545
Magdalena	1.146.107
Casanare	981.937
Tolima	931.337

Fuente: Elaboración propia.

Los departamentos con mayor *aptitud alta* (A1) fueron Córdoba, con 1.218.791 hectáreas; Antioquia, con 962.418; Magdalena, con 773.965; Cesar, con 730.944; y Tolima, con 567.720. Los departamentos con mayor *aptitud media* (A2) fueron Meta, con 1.040.822 hectáreas; Antioquia, con 540.105; Santander, con 401.614; Bolívar, con 304.841; y Magdalena, con 300.965. En los Llanos Orientales se encontró la mayor aptitud baja (A3) en los departamentos de Vichada, con 2.833.650 hectáreas; Meta, con 2.425.107; Caquetá, con 1.335.955; Casanare, con 640.801 y Arauca, con 436.809, para un total de 7.672.321 hectáreas (ver Tabla 82).

Tabla 82. Principales departamentos con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Ochroma pyramidale* en Colombia

Departamento	Aptitud alta (A1)	Departamento	Aptitud media (A2)	Departamento	Aptitud baja (A3)
Córdoba	1.218.791	Meta	1.040.822	Vichada	2.833.650
Antioquia	962.418	Antioquia	540.105	Meta	2.425.107
Magdalena	773.965	Santander	401.614	Caquetá	1.335.955
Cesar	730.944	Bolívar	304.841	Casanare	640.801
Tolima	567.720	Magdalena	300.965	Arauca	436.809
Valle del Cauca	501.427	Cesar	294.600	Guaviare	405.068

Meta	494.846	Córdoba	272.140	Antioquia	344.855
Santander	474.654	Casanare	213.642	Putumayo	294.019
Bolívar	380.832	Tolima	209.556	Santander	277.638
Sucre	369.805	Caquetá	207.308	Bolívar	212.628

Fuente: Elaboración propia.

Los municipios que sumaron la mayor aptitud total para el cultivo de *Ochroma pyramidale* están fueron Cumaribo, con 1.468.357 hectáreas; Puerto Gaitán, con 980.155; La Primavera, con 904.877; La Macarena, con 504.633; y Puerto López, con 452.011 (ver Tabla 83).

Tabla 83. Principales municipios aptos para la producción de *Ochroma pyramidale* en Colombia

Municipio	Total de aptitud (ha)
Cumaribo (Vichada)	1.479.730
Puerto Gaitán (Meta)	986.691
La Primavera (Vichada)	905.974
La Macarena (Meta)	510.748
Puerto López (Meta)	457.354
Puerto Carreño (Vichada)	441.035
Mapiripán (Meta)	409.286
San Martín (Meta)	392.414
San Vicente del Caguán (Caquetá)	306.527
Montería (Córdoba)	252.032

Fuente: Elaboración propia.

La mayor superficie con *aptitud alta* (A1) se encontró en los municipios de Montería, con 242.675 hectáreas; Valledupar, con 111.443; Puerto López, con 101.010; Turbo, con 81.442; y Sahagún, con 79.971. Los municipios con *aptitud media* (A2) fueron Puerto Gaitán, con 258.926 hectáreas; La Macarena, con 132.585; La Primavera, con 105.705; San Martín, con 86.250; y Puerto López, con 76.823. Para la *aptitud baja* (A2), se destacan los municipios de Cumaribo, con 1.447.658 hectáreas; La Primavera, con 793.078; Puerto Gaitán, con 709.148; Puerto Carreño, con 433.460; y La Macarena, con 368.611 (ver Tabla 84).

Tabla 84. Principales municipios con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Ochroma pyramidale* en Colombia

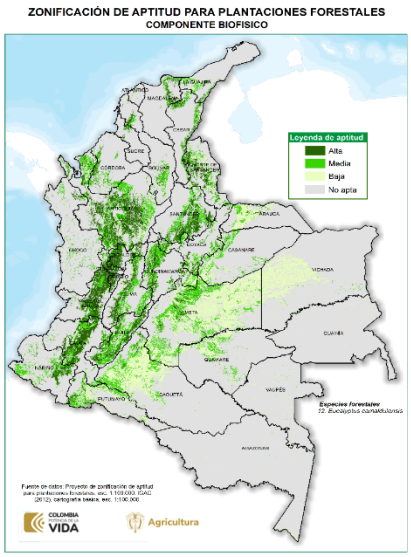
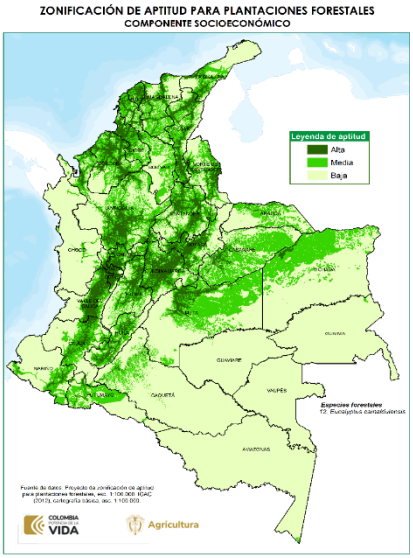
Municipio	Aptitud alta (A1)	Municipio	Aptitud media (A2)	Municipio	Aptitud baja (A3)
Montería (Córdoba)	242.675	Puerto Gaitán (Meta)	258.926	Cumaribo (Vichada)	1.447.658
Valledupar (Cesar)	111.443	La Macarena (Meta)	132.585	La Primavera (Vichada)	793.078
Puerto López (Meta)	101.010	La Primavera (Vichada)	105.705	Puerto Gaitán (Meta)	709.148
Turbo (Antioquia)	81.442	San Martín (Meta)	86.250	Puerto Carreño (Vichada)	433.460
Sahagún (Córdoba)	79.971	Puerto López (Meta)	76.823	La Macarena (Meta)	368.611
Planeta Rica (Córdoba)	75.089	Cimitarra (Santander)	71.922	Mapiripán (Meta)	362.012
Puerto Boyacá (Boyacá)	75.064	Puerto Lleras (Meta)	68.503	Puerto López (Meta)	279.521
Sabanas de San Ángel (Magdalena)	74.074	San Vicente del Caguán (Caquetá)	65.874	San Martín (Meta)	268.268
Plato (Magdalena)	73.463	Valledupar (Cesar)	52.103	San Vicente del Caguán (Caquetá)	237.425
Pivijay (Magdalena)	73.090	Puerto Rico (Meta)	49.611	Cartagena del Chairá (Caquetá)	223.006

Fuente: Elaboración propia.

4.12. Eucalipto rojo (*Eucalyptus camaldulensis*)

La mayor área de aptitud alta (A1), conforme al mapa biofísico, se encontró en los departamentos de Nariño, Antioquia, Huila, Tolima, Cundinamarca, Santander y Norte de Santander. El mapa socioeconómico mostró una mayor aptitud alta (A1) en el Valle del Cauca, Antioquia, el Altiplano cundiboyacense, Córdoba, Bolívar y Magdalena, los cuales expresar las mejores condiciones de infraestructura, vías, servicios, apoyos y comunicaciones para la producción comercial de madera. En la Orinoquia y en la Amazonia, predominaron la aptitud baja (A3) y media (A2), con algunas pocas zonas de aptitud alta (A1) en el departamento del Meta (ver Figura 50).

Figura 50. Mapas intermedios de la zonificación de aptitud para la producción de *Eucalyptus camaldulensis* en Colombia a escala 1:100.000

Mapa biofísico	Mapa socioeconómico
	

Fuente: Elaboración propia.

El mapa de la zonificación de aptitud para el desarrollo productivo de *Eucalyptus camaldulensis* mostró que Colombia dispone de 18.142.110 hectáeras aptas para esta especie, lo cual equivale al 15,9 % del área continental del país y al 42,1 % de la frontera agrícola nacional. Del total de áreas aptas, el 31,2 % correspondió a *aptitud alta* (A1); el 20,9 %, a *aptitud media* (A2); y el 47,9 %, a *aptitud baja* (A3). Las zonas no aptas (N1) abarcaron 68.900.884 hectáreas (ver Tabla 85 y Figura 49).

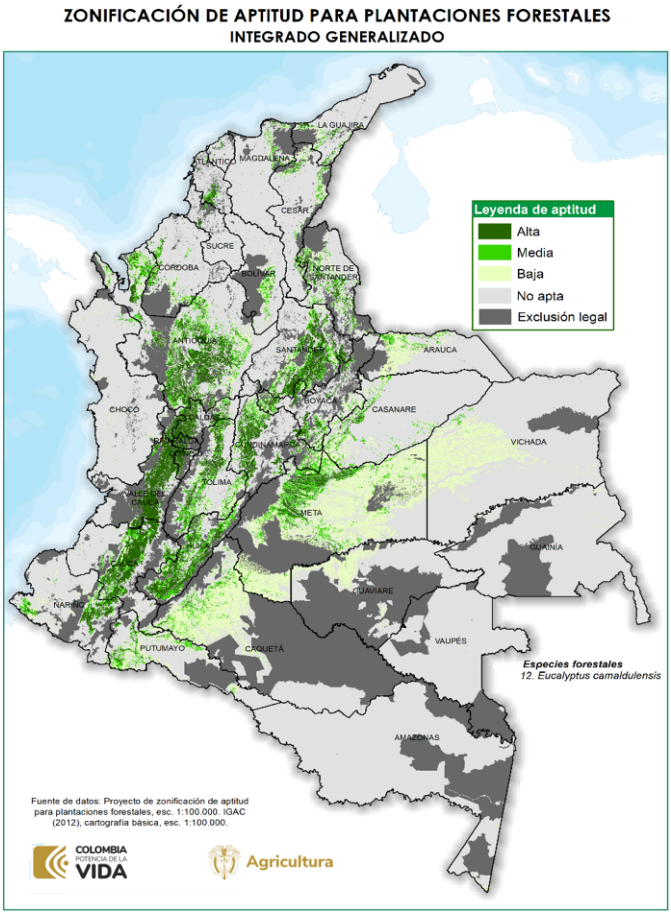
Tabla 85. Áreas según categorías de aptitud para la producción de *Eucalyptus camaldulensis* en Colombia a escala 1:100.000

Eucalipto rojo (*Eucalyptus camaldulensis*)	Aptitud	Área (ha)	% nacional	% Frontera agrícola nacional*
A1	**Alta**	5.655.683	5,0	13,1
A2	**Media**	3.788.566	3,3	8,8

A3	**Baja**	8.697.860	7,6	20,2
Total del área apta		18.142.110	15,9	42,1
N1	No apto técnico	68.900.884	60,4	—
N2	No apto legal	27.031.977	23,7	—
Total del territorio nacional		114.074.970	100,0	—
*Frontera agrícola nacional: 43.070.364 hectáreas.				

Fuente: Elaboración propia.

Figura 51. Mapa integrado de aptitud para la producción de *Eucalyptus camaldulensis* en Colombia a escala 1:100.000



Fuente: Elaboración propia.

Los departamentos que mostraron la mayor aptitud total para la producción comercial de plantaciones de *Eucalyptus camaldulensis* fueron el Meta, con 3.986.754 hectáreas;

Antioquia, con 1.875.658; Caquetá, con 1.571.790; Vichada, con 1.430.494; y Cauca, con 894.750. Estos departamentos sumaron 9.759.446 hectáreas, que representan el 53,8 % del área apta total para esta especie (ver Tabla 86).

Tabla 86. Principales departamentos aptos para la producción de *Eucalyptus camaldulensis* en Colombia

Departamento	Total de aptitud (ha)
Meta	3.986.754
Antioquia	1.875.658
Caquetá	1.571.790
Vichada	1.430.494
Cauca	894.750
Santander	841.999
Huila	828.892
Tolima	754.479
Cundinamarca	687.997
Valle del Cauca	656.563

Fuente: Elaboración propia.

Los departamentos con mayor *aptitud alta* (A1) fueron Antioquia, con 1.027.075 hectáreas; Cauca, con 632.367; Valle del Cauca, con 620.037; Santander, con 525.305; Huila, con 430.289. Los departamentos con mayor *aptitud media* (A2) fueron Meta, con 601.111 hectáreas; Antioquia, con 549.823; Huila, con 299.840; Tolima, con 259.734; y Caquetá, con 217.785. Los depertamanentos con mayor *aptitud baja* (A3) fueron Meta, con 3.030.239 hectáreas; Vichada, con 1.410.895; Caquetá, con 1.333.022; Guaviare, con 402.981; y Arauca, con 338.642, para un total de 6.515.780 hectáreas (ver Tabla 87).

Tabla 87. Principales departamentos con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Eucalyptus camaldulensis* en Colombia

Departamento	Aptitud alta (A1)	Departamento	Aptitud media (A2)	Departamento	Aptitud baja (A3)
Antioquia	1.027.075	Meta	601.111	Meta	3.030.239
Cauca	632.367	Antioquia	549.823	Vichada	1.410.895
Valle del Cauca	620.037	Huila	299.840	Caquetá	1.333.022
Santander	525.305	Tolima	259.734	Guaviare	402.981
Huila	430.289	Caquetá	217.785	Arauca	338.642

Cundinamarca	373.814	Santander	211.773	Antioquia	298.761
Meta	355.403	Cundinamarca	194.909	Casanare	284.760
Tolima	341.126	Cauca	181.718	Putumayo	262.879
Caldas	259.885	Casanare	153.140	Tolima	145.896
Boyacá	194.579	Boyacá	138.594	Cundinamarca	115.761

Fuente: Elaboración propia.

Los municipios que sumaron la mayor aptitud total para el desarrollo productivo de cultivos de *Eucalyptus camaldulensis* fueron Cumaribo, con 1.012.975 hectáreas; Puerto Gaitán, con 993.842; La Macarena, con 513.215; Puerto López, con 460.163; y Mapiripán, con 411.213 (ver Tabla 88).

Tabla 88. Principales municipios aptos para la producción de *Eucalyptus camaldulensis* en Colombia

Municipio	Total de aptitud (ha)
Cumaribo (Vichada)	1.021.214
Puerto Gaitán (Meta)	993.842
La Macarena (Meta)	513.215
Puerto López (Meta)	460.163
Mapiripán (Meta)	411.213
San Martín (Meta)	394.046
San Vicente del Caguán (Caquetá)	314.282
Cartagena del Chairá (Caquetá)	230.371
La Primavera (Vichada)	217.566
San José del Guaviare (Guaviare)	208.148

Fuente: Elaboración propia.

Los municipios que expresaron la mayor superficie con *aptitud alta* (A1) fueron Puerto López, con 90.803 hectáreas; El Tambo, con 73.446; Villavicencio, con 53.763; Palmira, con 52.554; e Ibagué, con 50.910. Con *aptitud media* (A2), los municipos de Puerto Gaitán, con 78.345 hectáreas; Puerto López, con 61.694; Puerto Guzmán, con 51.433; San Martín, con 46.939; y Tumaco, con 40.489. Con *aptitud baja* (A3), los municipios de Cumaribo, con 1.020.542; Puerto Gaitán, con 915.497; La Macarena, con 489.469; Mapiripán, con 394.490 y San Martín, con 315.142 (ver Tabla 89).

Tabla 89. Principales municipios con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Eucalyptus camaldulensis* en Colombia

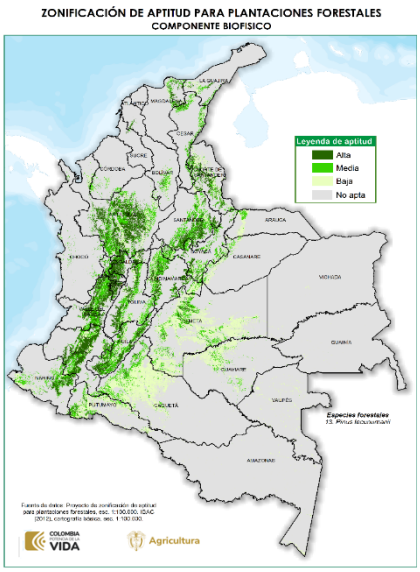
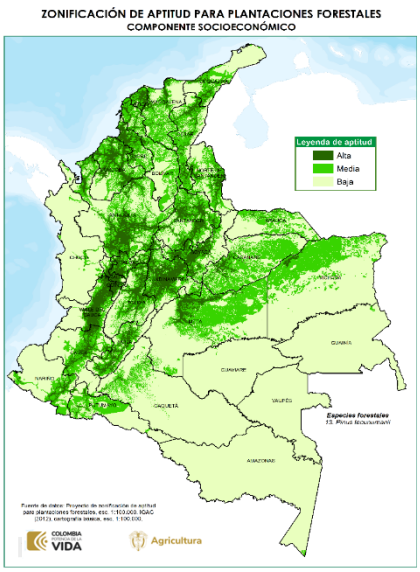
Municipio	Aptitud alta (A1)	Municipio	Aptitud media (A2)	Municipio	Aptitud baja (A3)
Puerto López (Meta)	90.803	Puerto Gaitán (Meta)	78.345	Cumaribo (Vichada)	1.020.542
El Tambo (Cauca)	73.446	Puerto López (Meta)	61.694	Puerto Gaitán (Meta)	915.497
Villavicencio (Meta)	53.763	Puerto Guzmán (Putumayo)	51.433	La Macarena (Meta)	489.469
Palmira (Valle del Cauca)	52.554	San Martín (Meta)	46.939	Mapiripán (Meta)	394.490
Ibagué (Tolima)	50.910	Tumaco (Nariño)	40.489	San Martín (Meta)	315.142
Patía-El Bordo (Cauca)	44.860	Florencia (Caquetá)	38.341	Puerto López (Meta)	307.666
Chaparral (Tolima)	42.590	San Vicente del Caguán (Caquetá)	33.379	San Vicente del Caguán (Caquetá)	276.433
Yolombó (Antioquia)	39.829	San Carlos de Guaroa (Meta)	33.375	Cartagena del Chairá (Caquetá)	220.431
Cajibío (Cauca)	38.072	Cabuyaro (Meta)	32.447	San José del Guaviare (Guaviare)	206.908
Bolívar (Cauca)	36.965	Chaparral (Tolima)	32.377	La Primavera (Vichada)	201.955

Fuente: Elaboración propia.

4.13. Pino (*Pinus tecunumanii*)

La mayor área con aptitud alta (A1), según los resultados del mapa biofísico, se presentó en los departamentos del Cauca, Valle del Cauca, Caldas, Risaralda y Quindío, Antioquia, Huila, Tolima, Santander y Cundinamarca. El mapa socioeconómico mostró una mayor aptitud alta (A1) en las regiones con mejores condiciones de infraestructura, red vial, servicios, apoyos y comunicaciones en el centro, en el occidente y en la costa Atlántica, las cuales facilitan la producción comercial de madera. En la Orinoquia y en la Amazonia, predominaron las aptitudes baja (A3) y media (A2), con algunas zonas de aptitud alta (A1) en el piedemonte de los departamentos del Meta y Casanare (ver Figura 52).

Figura 52. Mapas intermedios de la zonificación de aptitud para la producción de *Pinus tecunumanii* en Colombia a escala 1:100.000

Mapa biofísico	Mapa socioeconómico
	

Fuente: Elaboración propia.

En el mapa de la zonificación de aptitud para el desarrollo productivo de los plantíos de *Pinus tecunumanii* se muestra que Colombia dispone de 13.210.480 hectáreas aptas para esta especie forestal, lo cual equivale al 11,6 % del área continental del país y al 30,7 % de la frontera agrícola nacional. Del total de áreas aptas, el 36,8 % correspondió a *aptitud alta* (A1); el 21,6 %, a *aptitud media* (A2); y el 41,6 %, a *aptitud baja* (A3). Las zonas no aptas (N1) abarcaron 73.832.514 hectáreas (ver Tabla 90 y Figura 51).

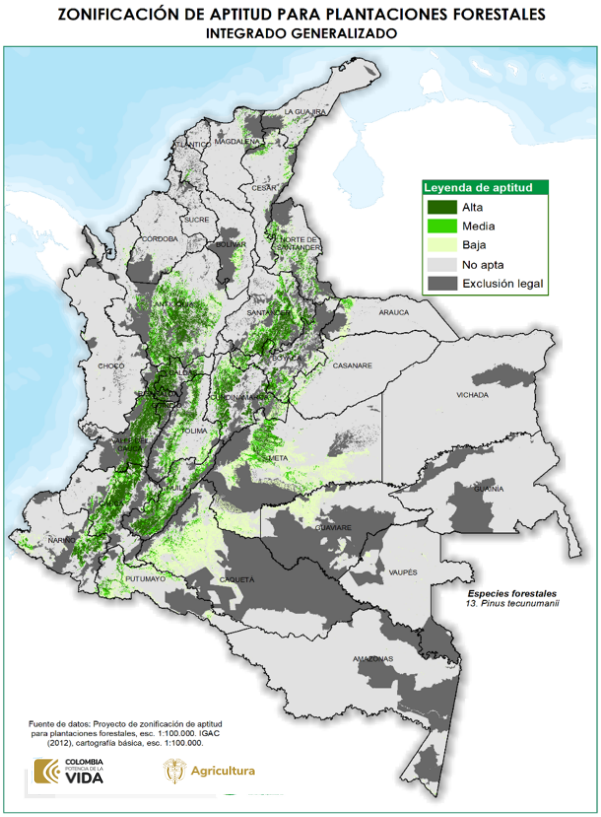
Tabla 90. Áreas según categorías de aptitud para la producción de *Pinus tecunumanii* en Colombia a escala 1:100.000

Pino (*Pinus tecunumanii*)	Aptitud	Área (ha)	% nacional	% frontera agrícola nacional*
A1	**Alta**	4.858.599	4,3	11,3
A2	**Media**	2.850.445	2,5	6,6
A3	**Baja**	5.501.436	4,8	12,8

Total del área apta		13.210.480	11,6	30,7
N1	No apto técnico	73.832.514	64,7	—
N2	No apto legal	27.031.977	23,7	—
Total del territorio nacional		114.074.970	100,0	—
*Frontera agrícola nacional: 43.070.364 hectáreas.				

Fuente: Elaboración propia.

Figura 53. Mapa integrado de aptitud para la producción de *Pinus tecunumanii* en Colombia a escala 1:100.000



Fuente: Elaboración propia.

Los departamentos con mayor aptitud total para la producción comercial de *Pinus tecunumanii* fueron el Meta, con 2.095.601 hectáreas; Antioquia, con 1.562.613; Caquetá, con 1.463.374; Cauca, con 917.010; y Santander, con 829.127. Estos departamentos sumaron 6.867.724 hectáreas, que representan el 52,0 % del área apta total para esta especie (ver Tabla 91).

Tabla 91. Principales departamentos aptos para la producción de *Pinus tecunumanii* en Colombia

Departamento	Total de aptitud (ha)
Meta	2.095.601
Antioquia	1.562.613
Caquetá	1.463.374
Cauca	917.010
Santander	829.127
Huila	758.894
Cundinamarca	683.486
Tolima	662.143
Valle del Cauca	659.453
Boyacá	528.308

Fuente: Elaboración propia.

Los departamentos con mayor *aptitud alta* (A1) fueron Antioquia, con 912.252 hectáreas; Valle del Cauca, con 597.603; Cauca, con 591.859; Santander, con 469.812; Huila, con 395.471. Los departamentos con mayor *aptitud media* (A2) fueron Antioquia, con 411.897 hectáreas; Meta, con 23.149; Huila, con 251.875; Tolima, con 217.766; y Cauca, con 217.150. En la Orinoquia y la Amazonia, la mayoría de la *aptitud baja* (A3) se destacó en los departamentos del Meta, con 1.609.606 hectáreas; Caquetá, con 1.306.316; Guaviare, con 405.997; y Putumayo, con 316.292, lo que representa en total 3.638.211 hectáreas (ver Tabla 92).

Tabla 92. Principales departamentos con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Pinus tecunumanii* en Colombia

Departamento	Aptitud alta (A1)	Departamento	Aptitud media (A2)	Departamento	Aptitud baja (A3)
Antioquia	912.252	Antioquia	411.897	Meta	1.609.606
Valle del Cauca	597.603	Meta	323.149	Caquetá	1.306.316
Cauca	591.859	Huila	251.875	Guaviare	405.997
Santander	469.812	Santander	240.437	Putumayo	316.292
Huila	395.471	Tolima	217.766	Antioquia	238.463
Cundinamarca	366.393	Cauca	217.150	Tolima	191.388
Caldas	261.826	Cundinamarca	178.132	Boyacá	141.861

Tolima	252.988	Boyacá	160.983	Nariño	139.701
Boyacá	225.464	Caquetá	145.153	Cundinamarca	138.962
Meta	162.846	Norte de Santander	131.150	Casanare	124.281

Fuente: Elaboración propia.

Los municipios de mayor área con aptitud total para el desarrollo productivo del cultivo de *Pinus tecunumanii* fueron La Macarena, con 422.215 hectáreas; Mapiripán, con 399.759; San Vicente del Caguán, con 258.548; Cartagena del Chairá, con 230.428; y San Martín, con 227.449 (ver Tabla 93).

Tabla 93. Principales municipios aptos para la producción de *Pinus tecunumanii* en Colombia

Municipio	Total de aptitud (ha)
La Macarena (Meta)	422.215
Mapiripán (Meta)	399.759
San Vicente del Caguán (Caquetá)	258.548
Cartagena del Chairá (Caquetá)	230.428
San Martín (Meta)	227.449
San José del Guaviare (Guaviare)	204.769
Puerto Rico (Caquetá)	190.199
Montañita (Caquetá)	130.632
El Retorno (Guaviare)	129.911
Puerto Lleras (Meta)	121.111

Fuente: Elaboración propia.

Los municipios con la mayor área con *aptitud alta* (A1) fueron El Tambo, con 66.261 hectáreas; Santa Rosa de Osos, con 55.908; Palmira, con 51.655; Ibagué, con 44.915; y Pitalito, con 41.975. Los municipios con la mayor área con *aptitud media* (A2) fueron San Martín, con 48.941 hectáreas; Florencia, con 30.071; Saravena, con 28.203; El Tambo, con 27.018; y Acacías, con 26.740. La mayor área de *aptitud baja* (A3) se localizó en los municipios de La Macarena, con 403.096; Mapiripán, con 377.753; San Vicente del Caguán, con 226.189; Cartagena del Chairá, con 184.861 y San Martín, con 152.186 (ver Tabla 93).

Tabla 94. Principales municipios con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Pinus tecunumanii* en Colombia

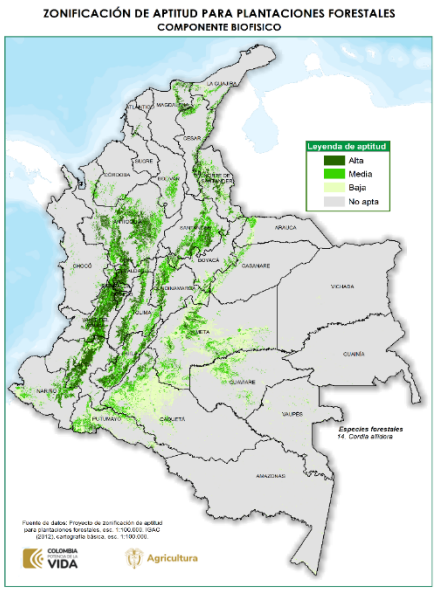
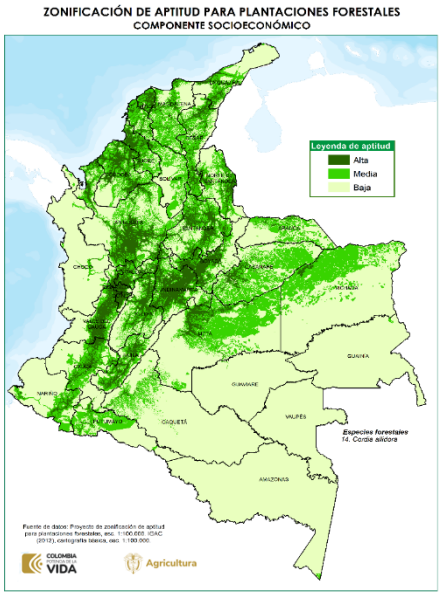
Municipio	Aptitud alta (A1)	Municipio	Aptitud media (A2)	Municipio	Aptitud baja (A3)
El Tambo (Cauca)	66.261	San Martín (Meta)	48.941	La Macarena (Meta)	403.096
Santa Rosa de Osos (Antioquia)	55.908	Florencia (Caquetá)	30.071	Mapiripán (Meta)	377.753
Palmira (Valle del Cauca)	51.655	Saravena (Arauca)	28.203	San Vicente del Caguán (Caquetá)	226.189
Ibagué (Tolima)	44.915	El Tambo (Cauca)	27.018	Cartagena del Chairá (Caquetá)	184.861
Pitalito (Huila)	41.975	Acacías (Meta)	26.740	San Martín (Meta)	152.186
Cajibío (Cauca)	36.651	Puerto Guzmán (Putumayo)	26.434	Puerto Rico (Caquetá)	141.030
Patía-El Bordo (Cauca)	35.345	Chaparral (Tolima)	25.991	San José del Guaviare (Guaviare)	139.931
Yolombó (Antioquia)	34.981	Ituango (Antioquia)	23.175	Puerto Lleras (Meta)	104.061
La Plata (Huila)	33.427	Tumaco (Nariño)	23.012	Montañita (Caquetá)	103.468
Chaparral (Tolima)	32.896	Ataco (Tolima)	22.767	El Retorno (Guaviare)	97.095

Fuente: Elaboración propia.

4.14. Nogal cafetero (*Cordia alliodora*)

La mayor superficie de aptitud alta (A1) de *Cordia alliodora*, de conformidad con el mapa biofísico, se presentó en los departamentos de Nariño, Caldas, Risaralda, Quindío, Tolima, Huila, Antioquia, Cundinamarca, Santander y Norte de Santander. El mapa socioeconómico mostró una mayor aptitud alta (A1) en las regiones de las cordilleras occidental y oriental, y parte de la costa Atlántica con mejores condiciones de infraestructura, servicios, red vial, apoyos y comunicaciones, lo cual facilita la producción comercial para esta especie maderable. En la Orinoquia y en la Amazonia, predominó la aptitud baja (A3) y la aptitud media (A2) con algunas zonas de aptitud alta (A1) en el piedemonte de los departamentos del Meta y Caquetá.

Figura 54. Mapas intermedios de la zonificación de aptitud para la producción de *Cordia alliodora* en Colombia a escala 1:100.000

Mapa biofísico	Mapa socioeconómico
	

Fuente: Elaboración propia.

El mapa de la zonificación de aptitud para la producción del cultivo de *Cordia alliodora* indicó que Colombia dispone de 11.812.700 hectáreas aptas para esta especie forestal, lo cual representa el 10,4 % del área continental del país y el 27,4 % de la frontera agrícola nacional. Del total de las áreas aptas, el 34,3 % correspondió a *aptitud alta* (A1); el 22,5 %, a *aptitud media* (A2); y el 43,2 %, a *aptitud baja* (A3). Las zonas no aptas (N1) abarcaron 75.230.293 hectáreas (ver Tabla 95 y Figura 53).

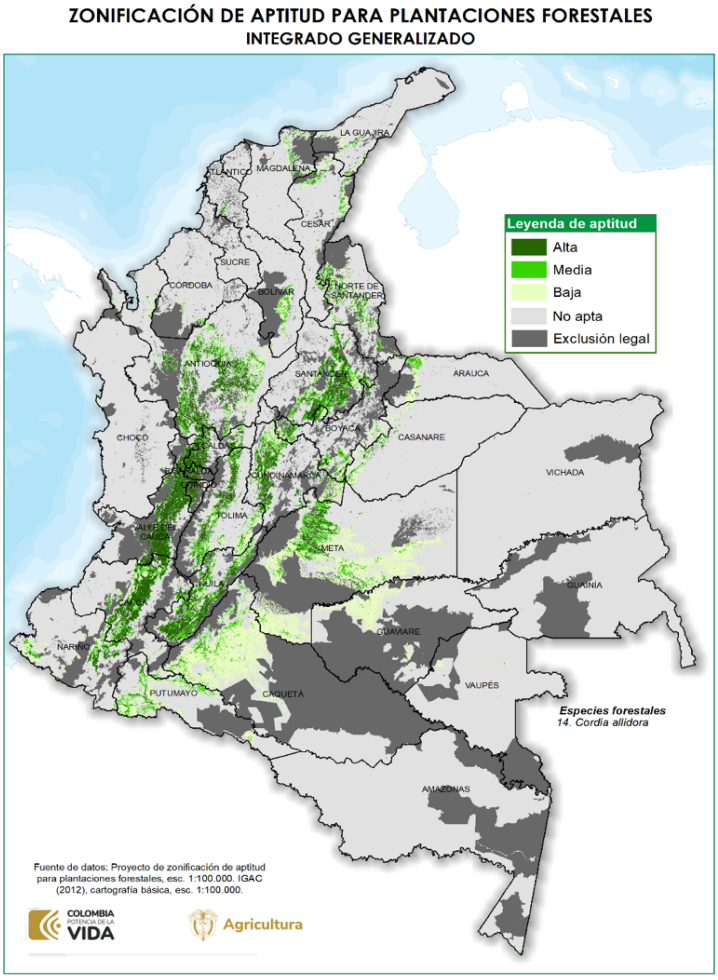
Tabla 95. Áreas según categorías de aptitud para la producción de *Cordia alliodora* en Colombia a escala 1:100.000

Nogal cafetero (*Cordia alliodora*)	Aptitud	Área (ha)	% nacional	% frontera agrícola nacional*
A1	**Alta**	4.054.455	3,6	9,4
A2	**Media**	2.652.508	2,3	6,2

A3	**Baja**	5.105.738	4,5	11,9
Total del área apta		11.812.700	10,4	27,4
N1	No apto técnico	75.230.293	65,9	—
N2	No apto legal	27.031.977	23,7	—
Total del territorio nacional		114.074.970	100,0	—
*Frontera agrícola nacional: 43.070.364 hectáreas.				

Fuente: Elaboración propia.

Figura 55. Mapa integrado de aptitud para la producción de *Cordia alliodora* en Colombia a escala 1:100.000



Fuente: Elaboración propia.

Los departamentos con mayor aptitud total para el desarrollo productivo de *Cordia alliodora* fueron el Meta, con 2.087.837 hectáreas; Caquetá, con 1.461.396; Antioquia, con 1.214.146; Cauca, con 760.078; y Santander, con 699.276. Estos departamentos sumaron 6.222.732 hectáreas, que equivalen al 47,8 % del área apta total para esta especie maderera (ver Tabla 96).

Tabla 96. Principales departamentos aptos para la producción de *Cordia alliodora* en Colombia

Departamento	Total de aptitud (ha)
Meta	2.087.837
Caquetá	1.461.396
Antioquia	1.214.146
Cauca	760.078
Santander	699.276
Huila	696.722
Valle del Cauca	641.060
Tolima	600.506
Cundinamarca	519.354
Putumayo	470.019

Fuente: Elaboración propia.

Los departamentos con mayor *aptitud alta* (A1) fueron Antioquia, con 666.407 hectáreas; Valle del Cauca, con 599.085; Cauca, con 489.654; Santander, con 385.975; y Huila, con 376.110. Los departamentos con mayor *aptitud media* (A2) fueron Meta, con 347.757 hectáreas; Antioquia, con 328.168; Huila, con 228.750; Santander, con 224.621; y Tolima, con 199.344. La mayor área con *aptitud baja* (A3) se concentró en los departamentos del Meta, con 1.534.098 hectáreas; Caquetá, con 1.255.781; Guaviare, con 404.468 y Putumayo, con 283.564 (ver Tabla 97).

Tabla 97. Principales departamentos con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) para la producción de *Cordia alliodora* en Colombia

Departamento	Aptitud alta (A1)	Departamento	Aptitud media (A2)	Departamento	Aptitud baja (A3)
Antioquia	666.407	Meta	347.757	Meta	1.534.098
Valle del Cauca	599.085	Antioquia	328.168	Caquetá	1.255.781

Cauca	489.654	Huila	228.750	Guaviare	404.468
Santander	385.975	Santander	224.621	Putumayo	283.564
Huila	376.110	Tolima	199.344	Antioquia	219.571
Tolima	259.667	Caquetá	184.963	Tolima	141.494
Cundinamarca	247.712	Cauca	170.407	Cundinamarca	128.678
Caldas	216.909	Putumayo	154.233	Nariño	128.408
Meta	205.981	Cundinamarca	142.964	Boyacá	123.170
Risaralda	118.545	Boyacá	118.591	Casanare	117.296

Fuente: Elaboración propia.

Los municipios que sumaron la mayor aptitud total para le producción comercial de *Cordia alliodora* fueron La Macarena, con 421.919 hectáreas; Mapiripán, con 399.291; San Vicente del Caguán, con 257.074; Cartagena del Chairá, con 230.412; y San Martín, con 227.454 (ver Tabla 98).

Tabla 98. Principales municipios aptos para la producción de *Cordia alliodora* en Colombia

Municipio	Total de aptitud (ha)
La Macarena (Meta)	421.919
Mapiripán (Meta)	399.291
San Vicente del Caguán (Caquetá)	257.074
Cartagena del Chairá (Caquetá)	230.412
San Martín (Meta)	227.454
San José del Guaviare (Guaviare)	204.720
Puerto Rico (Caquetá)	190.057
Montañita (Caquetá)	130.537
El Retorno (Guaviare)	129.935
Puerto Lleras (Meta)	120.233

Fuente: Elaboración propia.

Los municipios con la mayor superficie con *aptitud alta* (A1) fueron El Tambo, con 63.863 hectáreas; Palmira, con 52.261; Ibagué, con 46.497; Patía, con 37.988; y Chaparral, con 37.690. Con *aptitud media* (A2) se distinguen los municipios de San Martín, con 48.287 hectáreas; Puerto Guzmán, con 38.909; Florencia, con 32.323; Puerto Rico, con 31.305; y Saravena, con 30.309. Los municipios en los que se concentró la mayor área con *aptitud baja* (A3) fueron La Macarena, con 400.309

hectáreas; Mapiripán, con 376.347; San Vicente del Caguán, con 227.615; Cartagena del Chairá, con 225.416; y San José del Guaviare, con 202.993 (ver Tabla 99).

Tabla 99. Principales municipios con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Cordia alliodora* en Colombia

Municipio	Aptitud alta (A1)	Municipio	Aptitud media (A2)	Municipio	Aptitud baja (A3)
El Tambo (Cauca)	63.863	San Martín (Meta)	48.287	La Macarena (Meta)	400.309
Palmira (Valle del Cauca)	52.261	Puerto Guzmán (Putumayo)	38.909	Mapiripán (Meta)	376.347
Ibagué (Tolima)	46.497	Florencia (Caquetá)	32.323	San Vicente del Caguán (Caquetá)	227.615
Patía-El Bordo (Cauca)	37.988	Puerto Rico (Caquetá)	31.305	Cartagena del Chairá (Caquetá)	225.416
Chaparral (Tolima)	37.690	Saravena (Arauca)	30.309	San José del Guaviare (Guaviare)	202.993
Cajibío (Cauca)	37.284	Puerto Asís (Putumayo)	25.961	Puerto Rico (Caquetá)	151.976
Pitalito (Huila)	36.678	Tumaco (Nariño)	25.684	San Martín (Meta)	147.638
Yolombó (Antioquia)	36.429	San Vicente del Caguán (Caquetá)	25.622	El Retorno (Guaviare)	128.454
Bugalagrande (Valle del Cauca)	33.411	Ataco (Tolima)	25.214	Montañita (Caquetá)	120.857
Pereira (Risaralda)	31.998	Acacías (Meta)	24.823	Puerto Lleras (Meta)	97.610

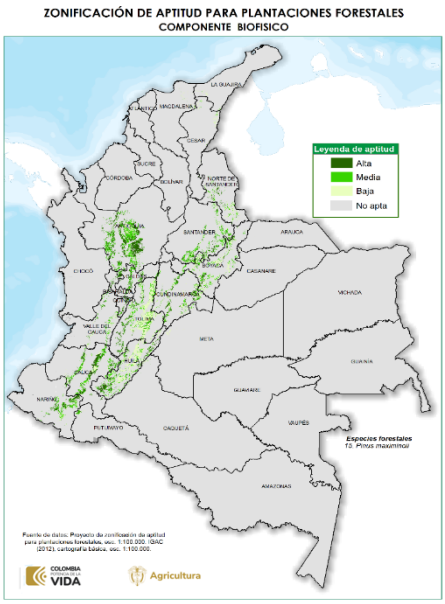
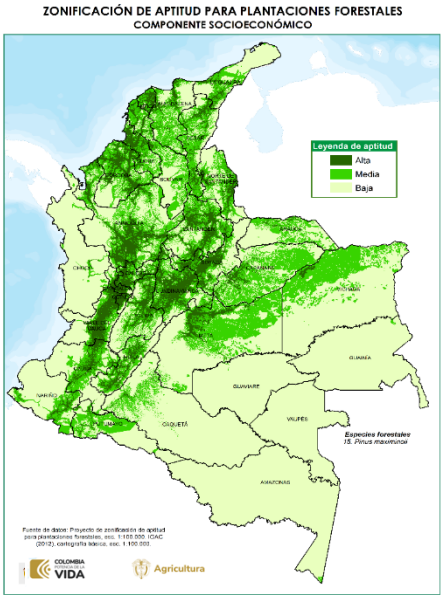
Fuente: Elaboración propia.

4.15. Pino (*Pinus maximinoi*)

La mayor área con aptitud alta (A1), según el mapa biofísico, se presentó en los departamentos de Antioquia, Cauca, Nariño y el sur del Huila. El mapa socioeconómico mostró una mayor aptitud alta (A1) en las regiones con mejores condiciones de infraestructura, servicios, apoyos y comunicaciones, como el altiplano cundiboyacense, la cordillera occidental desde Cauca hasta Antioquia y la cordillera central en Tolima, las cuales facilitan la producción comercial de madera. En la Orinoquia y en la Amazonía, las predominaron las aptitudes media (A2) y baja (A3), con algunas zonas

de aptitud alta (A1) en el occidente de los departamentos del Meta y Casanare (ver Figura 56).

Figura 56. Mapas intermedios de la zonificación de aptitud para la producción de *Pinus maximinoi* en Colombia a escala 1:100.000

Mapa biofísico	Mapa socioeconómico
	

Fuente: Elaboración propia.

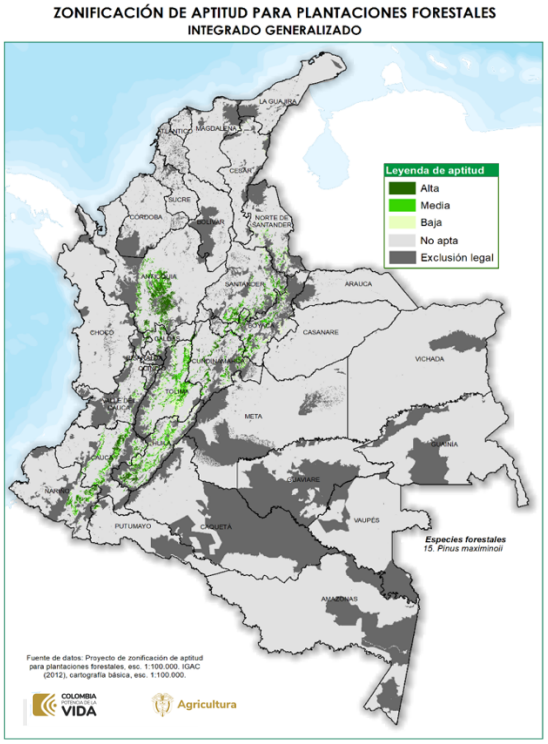
El mapa de la zonificación de aptitud para el el desarrollo productivo de *Pinus maximinoi* indicó que Colombia dispone de 2.893.528 hectáreas aptas para esta especie, lo que equivale al 2,5 % del área continental del país y al 6,7 % de la frontera agrícola nacional. El 39,4 % del total de áreas aptas correspondió a *aptitud alta* (A1); el 36,6 %, a *aptitud media* (A2); y el 24,0 %, a *aptitud baja* (A3). Las zonas no aptas (N1) abarcaron 84.149.465 hectáreas, lo que corresponde al 73,8 % del territorio nacional (ver Tabla 100 y Figura 57).

Tabla 100. Áreas según categorías de aptitud para la producción de *Pinus maximinoi* en Colombia escala 1:100.000

Pino (*Pinus maximinoi*)	Aptitud	Área (ha)	% nacional	% frontera agrícola nacional*
A1	**Alta**	1.141.360	1,0	2,6
A2	**Media**	1.058.473	0,9	2,5
A3	**Baja**	693.695	0,6	1,6
Total del área apta		2.893.528	2,5	6,7
N1	No apto técnico	84.149.465	73,8	—
N2	No apto legal	27.031.977	23,7	—
Total del territorio nacional		114.074.970	100,0	—
*Frontera agrícola nacional: 43.070.364 hectáreas.				

Fuente: Elaboración propia.

Figura 57. Mapa integrado de aptitud para la producción de *Pinus maximinoi* en Colombia a escala 1:100.000



Fuente: Elaboración propia.

Los departamentos con mayor aptitud total para el cultivo con fines comerciales de *Pinus maximinoi* fueron Antioquia, con 530.798 hectáreas; Tolima, con 523.490; Huila, con 395.661; Cauca, con 293.653; y Boyacá, con 260.044. Estos departamentos sumaron el 69,2 % del total de áreas aptas para esta especie forestal maderable, lo que significan 2.003.646 hectáreas (ver Tabla 101).

Tabla 101. Principales departamentos aptos para la producción de *Pinus maximinoi* en Colombia

Departamento	Total aptitud (ha)
Antioquia	530.798
Tolima	523.490
Huila	395.661
Cauca	293.653
Boyacá	260.044
Santander	250.031
Cundinamarca	220.736
Nariño	149.836
Caldas	78.309
Norte de Santander	75.800

Fuente: Elaboración propia.

Los departamentos con mayor *aptitud alta* (A1) fueron Antioquia, con 363.389 hectáreas; Cauca, con 130.400; Huila, con 103.063; Cundinamarca, con 100.951; y Santander, con 90.695. Los departamentos con mayor *aptitud media* (A2) fueron Tolima, con 253.759 hectáreas; Huila, con 158.685; Antioquia, con 125.807; Cauca, con 115.634; y Boyacá, con 99.583. Los departamentos con mayor *aptitud baja* (A3) fueron de Tolima, con 183.668 hectáreas; Huila, con 133.913; Boyacá, con 70.811; Santander, con 60.787; y Cauca, con 47.619, lo que suma 496.798 hectáreas para esta especie forestal (ver Tabla 102).

Tabla 102. Principales departamentos con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Pinus maximinoi* en Colombia

Departamento	Aptitud alta (A1)	Departamento	Aptitud media (A2)	Departamento	Aptitud baja (A3)
Antioquia	363.389	Tolima	253.759	Tolima	183.668
Cauca	130.400	Huila	158.685	Huila	133.913
Huila	103.063	Antioquia	125.807	Boyacá	70.811
Cundinamarca	100.951	Cauca	115.634	Santander	60.787
Santander	90.695	Boyacá	99.583	Cauca	47.619
Boyacá	89.650	Santander	98.549	Antioquia	41.602
Tolima	86.063	Cundinamarca	78.921	Cundinamarca	40.864
Nariño	66.873	Nariño	54.096	Norte de Santander	38.048
Caldas	58.811	Norte de Santander	27.854	Nariño	28.867
Risaralda	13.540	Valle del Cauca	18.896	Valle del Cauca	14.289

Fuente: Elaboración propia.

Los municipios que sumaron la mayor aptitud total para el desarrollo productivo de *Pinus maximinoi* fueron Santa Rosa de Osos, con 62.300 hectáreas; Guamo, con 39.402; Coyaima, 38.985; Ibagué, con 38.862; y Ortega, con 34.113 (ver Tabla 103).

Tabla 103. Principales municipios aptos para la producción de *Pinus maximinoi* en Colombia

Municipio	Total de aptitud (ha)
Santa Rosa de Osos (Antioquia)	62.300
Guamo (Tolima)	39.402
Coyaima (Tolima)	38.985
Ibagué (Tolima)	38.862
Ortega (Tolima)	34.113
La Plata (Huila)	31.850
Neiva (Huila)	28.708
Palermo (Huila)	27.798
Natagaima (Tolima)	27.558
Chaparral (Tolima)	27.505

Fuente: Elaboración propia.

Los municipios con mayor superficie con *aptitud alta* (A1) para el cultivo de *Pinus maximinoi* fueron Santa Rosa de Osos, con 37.722 hectáreas; San Vicente, con 18.325; Pitalito, con 16.816; Isnos, con 16.146: y San Agustín, con 15.629. Los municipios con mayor superficie con *aptitud media* (A2) fueron el Guamo, con 23.705; Ibagué, con 22.956; Santa Rosa de Osos, con 19.633; Palermo, con 17.877; y Ortega, con 15.552. Los municipios con mayor superficie con *aptitud baja* (A3) fueron Coyaima, con 27.039 hectáreas; Natagaima, con 21.842; Ortega, con 15.926 y Guamo, con12.950 (ver Tabla 104).

Tabla 104. Principales municipios con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Pinus maximinoi* en Colombia

Municipio	Aptitud alta (A1)	Municipio	Aptitud media (A2)	Municipio	Aptitud baja (A3)
Santa Rosa de Osos (Antioquia)	37.722	Guamo (Tolima)	23.705	Coyaima (Tolima)	27.039
San Vicente (Antioquia)	18.325	Ibagué (Tolima)	22.956	Natagaima (Tolima)	21.842
Pitalito (Huila)	16.816	Santa Rosa de Osos (Antioquia)	19.633	Ortega (Tolima)	15.926
Isnos (Huila)	16.146	Palermo (Huila)	17.877	La Plata (Huila)	13.155
San Agustín (Huila)	15.629	Ortega (Tolima)	15.552	Guamo (Tolima)	12.950
Caldono (Cauca)	14.383	Neiva (Huila)	15.082	Neiva (Huila)	11.240
Sotará-Paispamba (Cauca)	13.585	Piedras (Tolima)	14.730	Villavieja (Huila)	11.125
San Pedro (Antioquia)	13.503	Armero-Guayabal (Tolima)	12.759	Colombia (Huila)	10.614
Silvia (Cauca)	13.165	Espinal (Tolima)	12.179	Campoalegre (Huila)	8.872
Entrerríos (Antioquia)	12.192	Chaparral (Tolima)	11.637	Aipe (Huila)	8.834

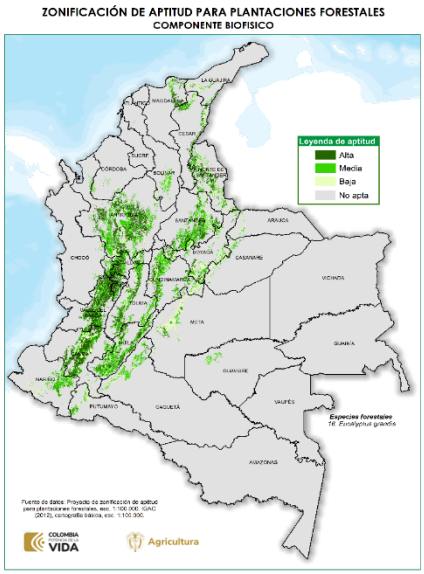
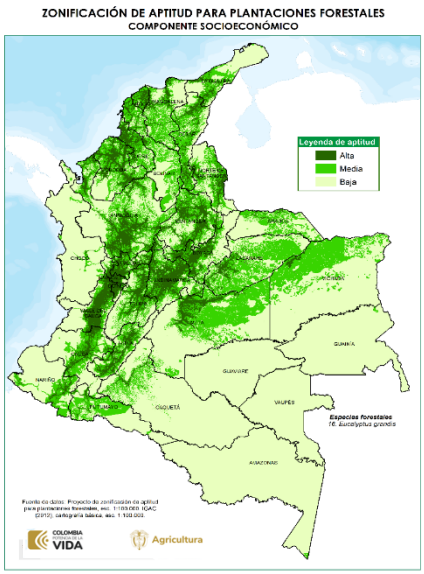
Fuente: Elaboración propia.

4.16. Eucalipto rosado (*Eucalyptus grandis*)

La mayor área con aptitud alta (A1) para el desarrollo productivo de *Eucalyptus grandis*, según el mapa biofísico, se presentó en los departamentos del occidente

colombiano, desde Cauca hasta Antioquia y, en menor proporción, en Huila, Santander, Tolima y Cundinamarca. El mapa socioeconómico indicó una mayor aptitud alta (A1) en las regiones con mejores condiciones de infraestructura, servicios, red vial, apoyos y comunicaciones, especialmente en las cordilleras occidental y oriental, lo cual facilita la producción, distribución y transformación comercial de la madera. En la Orinoquia y en la Amazonia, la predominaron las aptitudes baja (A3) y media (A2), y con aptitud alta (A1), en algunas zonas del occidente de los departamentos del Meta y Casanare.

Figura 58. Mapas intermedios de la zonificación de aptitud para la producción de *Eucalyptus grandis* en Colombia a escala 1:100.000

Mapa biofísico	Mapa socioeconómico
	

Fuente: Elaboración propia.

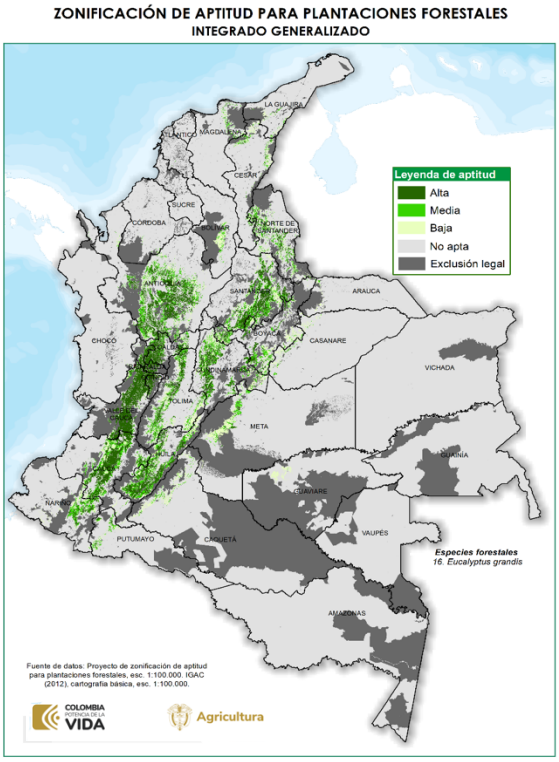
El mapa de la zonificación de aptitud para el cultivo con fines comerciales de *Eucalyptus grandis* señaló que Colombia dispone de 7.327.130 hectáreas aptas para esta especie, lo que equivale al 6,4 % del área continental del país y al 18,5 % de la frontera agrícola nacional. Del total de áreas aptas, el 50,9 % correspondió a *aptitud alta* (A1); el 26,9 %, a *aptitud media* (A2); y el 22,2 %, a *aptitud baja* (A3). Las zonas no aptas (N1) abarcaron 79.467.555 hectáreas (ver Tabla 105 y Figura 59).

Tabla 105. Áreas según categorías de aptitud para la producción de *Eucalyptus grandis* en Colombia a escala 1:100.000

Eucalipto rosado (*Eucalyptus grandis*)	Aptitud	Área (ha)	% nacional	% frontera agrícola nacional*
A1	**Alta**	3.859.413	3,4	9,0
A2	**Media**	2.137.788	1,9	5,0
A3	**Baja**	1.849.798	1,6	4,3
Total del área apta		7.847.000	6,9	18
N1	No apto técnico	79.195.994	69,4	—
N2	No apto legal	27.031.977	23,7	—
Total del territorio nacional		114.074.970	100,0	—
*Frontera agrícola nacional: 43.070.364 hectáreas.				

Fuente: Elaboración propia.

Figura 59. Mapa integrado de aptitud para la producción de *Eucalyptus grandis* en Colombia a escala 1:100.000



Fuente: Elaboración propia.

Los departamentos que mostraron mayor aptitud total para el desarrollo productivo de *Eucalyptus grandis* fueron Antioquia, con 1.304.858 hectáreas; Cauca, con 816.962; Santander, con 731.367; Huila, con 707.676; y Valle del Cauca, con 654.804. Estos departamentos sumaron 4.215.667 hectáreas, que representan el 53,7 % del área apta total para esta especie (ver Tabla 106).

Tabla 106. Principales departamentos aptos para la producción de *Eucalyptus grandis* en Colombia

Departamento	Total de aptitud (ha)
Antioquia	1.304.858
Cauca	816.962
Santander	731.367
Huila	707.676
Valle del Cauca	654.804
Cundinamarca	569.807
Tolima	567.880
Boyacá	437.665
Norte de Santander	335.761
Caldas	291.392

Fuente: Elaboración propia.

Los departamentos con mayor *aptitud alta* (A1) fueron Antioquia, con 739.913 hectáreas; Valle del Cauca, con 609.051; Cauca, con 481.764; Santander, con 388.583; y Huila, con 347.809. Los departamentos con mayor *aptitud media* (A2) fueron Antioquia, con 374.709 hectáreas; Huila, con 226.158; Santander, con 217.008; Cauca, con 213.727; y Tolima, con 187.778. La mayor *aptitud baja* (A3) se concentró en los departamentos de Antioquia, con 190.236; Tolima, con 172.366; Boyacá, con 157.936; Meta, con 140.318; y Huila, con 133.710 (ver Tabla 107).

Tabla 107. Principales departamentos con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Eucalyptus grandis* en Colombia

Departamento	Aptitud alta (A1)	Departamento	Aptitud media (A2)	Departamento	Aptitud baja (A3)
Antioquia	739.913	Antioquia	374.709	Antioquia	190.236
Valle del Cauca	609.051	Huila	226.158	Tolima	172.366
Cauca	481.764	Santander	217.008	Boyacá	157.936
Santander	388.583	Cauca	213.727	Meta	140.318
Huila	347.809	Tolima	187.778	Huila	133.710
Cundinamarca	265.329	Cundinamarca	174.524	Cundinamarca	129.954

Caldas	231.303	Boyacá	144.354	Santander	125.776
Tolima	207.735	Norte de Santander	126.905	Cauca	121.471
Boyacá	135.374	Nariño	107.860	Caquetá	115.785
Risaralda	121.769	Meta	72.208	Norte de Santander	107.740

Fuente: Elaboración propia.

Los municipios con mayor aptitud total para el cultivo con fines comerciales de *Eucalyptus grandis* fueron El Tambo, con 101.353 hectáreas; Santa Rosa del Sur, con 64.340; Mesetas, con 59.533; Ituango, con 57.976; y Chaparral, con 55.896 (ver Tabla 108).

Tabla 108. Principales municipios aptos para la producción de *Eucalyptus grandis* en Colombia

Municipio	Total de aptitud (ha)
El Tambo (Cauca)	101.353
Santa Rosa del Sur (Bolívar)	64.340
Mesetas (Meta)	59.533
Ituango (Antioquia)	57.976
Chaparral (Tolima)	55.896
Palmira (Valle del Cauca)	53.240
La Plata (Huila)	52.809
Yolombó (Antioquia)	48.994
Cajibío (Cauca)	48.560
Ataco (Tolima)	46.767

Fuente: Elaboración propia.

Los municipios con la mayor área con *aptitud alta* (A1) fueron El Tambo, con 62.093 hectáreas; Palmira, con 52.350; Cajibío, con 37.327; Yolombó, con 36.758; y Bugalagrande, con 33.495. Los municipios con la mayor área con *aptitud media* (A2) fueron El Tambo, con 28.035 hectáreas; Ataco, con 22.073; Ituango, con 21.930; Anorí, con 20.991; y Chaparral, con 20.186. Con mayor área con *aptitud baja* (A3) se destacan los municipios de Santa Rosa del Sur, con 50.675 hectáreas; Mesetas, con 49.798; Colombia, con 32.925; El Retorno, con 32.675; y Uribe, con 28.867 (ver Tabla 109).

Tabla 109. Principales municipios con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Eucalyptus grandis* en Colombia

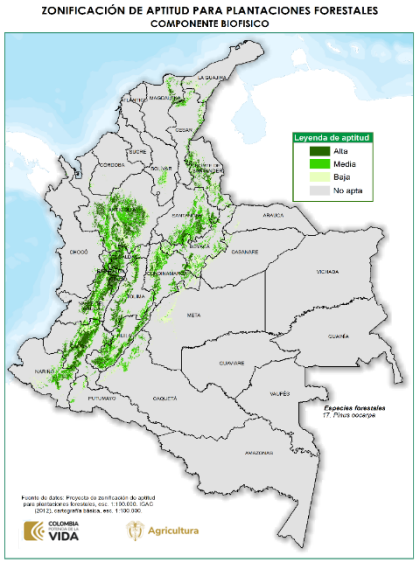
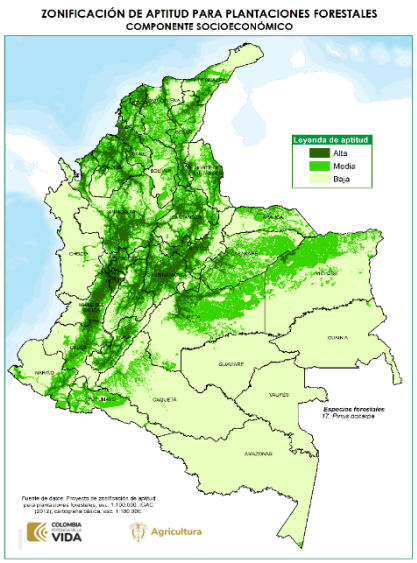
Municipio	Aptitud alta (A1)	Municipio	Aptitud media (A2)	Municipio	Aptitud baja (A3)
El Tambo (Cauca)	62.093	El Tambo (Cauca)	28.035	Santa Rosa del Sur (Bolívar)	50.675
Palmira (Valle del Cauca)	52.350	Ataco (Tolima)	22.073	Mesetas (Meta)	49.798
Cajibío (Cauca)	37.327	Ituango (Antioquia)	21.930	Colombia (Huila)	32.925
Yolombó (Antioquia)	36.758	Anorí (Antioquia)	20.991	El Retorno (Guaviare)	32.675
Bugalagrande (Valle del Cauca)	33.495	Chaparral (Tolima)	20.186	Uribe (Meta)	28.867
Santa Rosa de Osos (Antioquia)	33.431	Rioblanco (Tolima)	18.798	Dolores (Tolima)	28.753
Ibagué (Tolima)	33.415	Páez-Belalcázar (Cauca)	17.873	Medina (Cundinamarca)	28.650
Pitalito (Huila)	33.042	Planadas (Tolima)	16.825	Yacopí (Cundinamarca)	26.100
Pereira (Risaralda)	32.036	Bolívar (Cauca)	16.246	Valledupar (Cesar)	25.610
Tuluá (Valle del Cauca)	31.319	La Plata (Huila)	15.822	Puerto Rico (Caquetá)	23.633

Fuente: Elaboración propia.

4.17. Pino (*Pinus oocarpa*)

La mayor área con aptitud alta (A1) para el desarrollo productivo de *Pinus oocarpa*, según el mapa biofísico, se presentó en los departamentos del occidente colombiano, desde Cauca hasta Antioquia, y en Huila, Tolima, Santander, Cundinamarca y Norte de Santander. El mapa socioeconómico indicó que la mayor aptitud alta (A1) se localizó en las zonas con mejores condiciones de infraestructura, servicios, apoyos, red vial y comunicaciones, especialmente en las cordilleras occidental y oriental, y en la costa Atlántica, lo cual facilita la producción comercial de madera. En la Orinoquia y en la Amazonia predominaron la aptitud baja (A3) y la aptitud media (A2), con algunas zonas de aptitud alta (A1) en el occidente de los departamentos del Meta y Casanare (ver Figura 60).

Figura 60. Mapas intermedios de la zonificación de aptitud para la producción de *Pinus oocarpa* en Colombia a escala 1:100.000

Mapa biofísico	Mapa socioeconómico
	

Fuente: Elaboración propia.

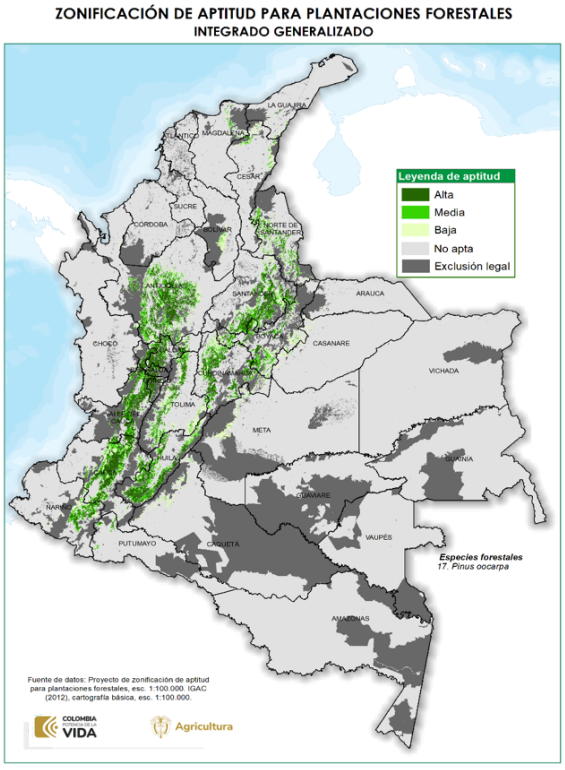
El mapa de la zonificación de aptitud para el desarrollo de la actividad productiva de *Pinus oocarpa* señala que Colombia dispone de 6.707.614 hectáreas aptas para esta especie, lo que representa el 5,9 % del área continental del país y el 16,9 % de la frontera agrícola nacional. Del total de áreas aptas, el 49,5 % correspondió a *aptitud alta* (A1); el 29,2 %, a *aptitud media* (A2); y el 21,3 %, a *aptitud baja* (A3). Las zonas no aptas (N1) abarcaron 80.087.071 hectáreas (ver Tabla 110 y Figura 61).

Tabla 110. Áreas según categorías de aptitud para la producción de *Pinus oocarpa* en Colombia a escala 1:100.000

Pino (*Pinus oocarpa*)	Aptitud	Área (ha)	% nacional	% frontera agrícola nacional*
A1	**Alta**	3.428.023	3,0	8,0
A2	**Media**	2.094.844	1,8	4,9
A3	**Baja**	1.612.299	1,4	3,7
Total del área apta		7.135.166	6,3	16,6
N1	No apto técnico	79.907.827	70,0	—
N2	No apto legal	27.031.977	23,7	—
Total del territorio nacional		114.074.970	100,0	—
*Frontera agrícola nacional: 43.070.364 hectáreas.				

Fuente: Elaboración propia.

Figura 61. Mapa integrado de aptitud para la producción de *Pinus oocarpa* en Colombia a escala 1:100.000



Fuente: Elaboración propia.

Los departamentos con mayor aptitud total para el cultivo comercial de *Pinus oocarpa* fueron Antioquia, con 1.259.712 hectáreas; Cauca, con 814.737; Santander, con 699.676; Huila, con 639.645; y Cundinamarca, con 559.958. Estos departamentos sumaron 3.973.728 hectáreas, lo que representa el 55,7 % de la superficie apta total para esta especie (ver Tabla 111).

Tabla 111. Principales departamentos aptos para la producción de *Pinus oocarpa* en Colombia

Departamento	Total de aptitud (ha)
Antioquia	1.259.712
Cauca	814.737
Santander	699.676
Huila	639.645
Cundinamarca	559.958
Valle del Cauca	544.691
Tolima	497.521
Boyacá	490.606
Norte de Santander	319.261
Caldas	281.147

Fuente: Elaboración propia.

Los departamentos con mayor *aptitud alta* (A1) fueron Antioquia, con 696.400 hectáreas; Cauca, con 458.802; Valle del Cauca, con 396.549; Santander, con 351.559; y Huila, con 304.127. Los departamentos con mayor *aptitud media* (A2) fueron Antioquia, con 382.326 hectáreas; Cauca, con 232.861; Huila, con 229.047; Santander, con 226.123; y Cundinamarca, con 171.563. La mayor *aptitud baja* (A3) se concentró en los departamentos de Antioquia, con 180.986 hectáreas; Tolima, con 175.314; Boyacá, con 169.118; Cauca, con 123.074; y Santander con 121.994 (ver Tabla 112).

Tabla 112. Principales departamentos con mayor aptitud alta (A1), aptitud (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Pinus oocarpa* en Colombia

Departamento	Aptitud alta (A1)	Departamento	Aptitud media (A2)	Departamento	Aptitud baja (A3)
Antioquia	696.400	Antioquia	382.326	Antioquia	180.986
Cauca	458.802	Cauca	232.861	Tolima	175.314
Valle del Cauca	396.549	Huila	229.047	Boyacá	169.118

Santander	351.559	Santander	226.123	Cauca	123.074
Huila	304.127	Cundinamarca	171.563	Santander	121.994
Cundinamarca	272.137	Tolima	161.719	Cundinamarca	116.258
Caldas	210.817	Boyacá	156.585	Huila	106.471
Boyacá	164.904	Valle del Cauca	121.468	Norte de Santander	93.140
Tolima	160.488	Norte de Santander	121.270	Caquetá	86.757
Risaralda	110.787	Nariño	100.999	Meta	84.280

Fuente: Elaboración propia.

Los municipios con mayor aptitud total para el desarrollo productivo de *Pinus oocarpa* fueron El Tambo, con 97.848 hectáreas; Santa Rosa de Osos, con 67.068; Ituango, con 56.621; La Plata, con 55.931; y Santa Rosa del Sur, con 52.388 (ver Tabla 113).

Tabla 113. Principales municipios aptos para la producción de *Pinus oocarpa* en Colombia

Municipio	Total de aptitud (ha)
El Tambo (Cauca)	97.848
Santa Rosa de Osos (Antioquia)	67.068
Ituango (Antioquia)	56.621
La Plata (Huila)	55.931
Santa Rosa del Sur (Bolívar)	52.388
Cajibío (Cauca)	48.949
Yolombó (Antioquia)	47.353
Páez-Belalcázar (Cauca)	46.907
Pitalito (Huila)	46.721
Bolívar (Cauca)	42.481

Fuente: Elaboración propia.

Los municipios con mayor cantidad de áreas con *aptitud alta* (A1) fueron El Tambo, con 50.976 hectáreas; Santa Rosa de Osos, con 49.403; Pitalito, con 36.352; Cajibío, con 36.191; y La Plata, con 29.825. Los municipios con mayor cantidad de áreas con *aptitud media* (A2) fueron El Tambo, con 33.877 hectáreas; Ituango, con 21.239; Colombia, con 21.011; Santander de Quilichao, con 19.817; y Ataco, con 19.122. Para la mayor cantidad de áreas con *aptitud baja* (A3) se distinguen los municipios de Santa Rosa del Sur, con 42.750 hectáreas; Mesetas, con 37.426; Yacopí, con 28.486; Dolores, con 27.560, y Valledupar, con 25.023 (ver Tabla 114).

Tabla 114. Principales municipios con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) para la producción de *Pinus oocarpa* en Colombia

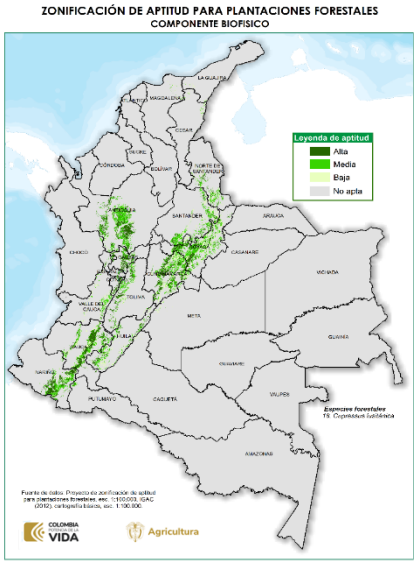
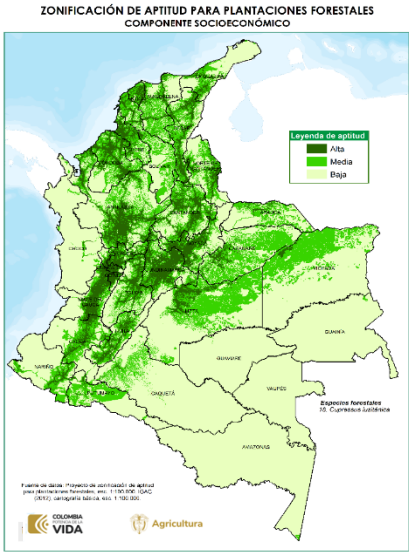
Municipio	Aptitud alta (A1)	Municipio	Aptitud media (A2)	Municipio	Aptitud baja (A3)
El Tambo (Cauca)	52.313	El Tambo (Cauca)	33.877	Santa Rosa del Sur (Bolívar)	42.750
Santa Rosa de Osos (Antioquia)	50.156	Ituango (Antioquia)	21.239	Mesetas (Meta)	37.426
Cajibío (Cauca)	37.327	Colombia (Huila)	21.011	Yacopí (Cundinamarca)	28.486
Pitalito (Huila)	36.438	Santander de Quilichao (Cauca)	19.817	Dolores (Tolima)	27.560
Yolombó (Antioquia)	31.727	Ataco (Tolima)	19.122	Valledupar (Cesar)	25.023
La Plata (Huila)	29.972	La Plata (Huila)	18.683	Colombia (Huila)	20.949
Tuluá (Valle del Cauca)	28.596	Anorí (Antioquia)	16.966	Florencia (Caquetá)	20.039
Pereira (Risaralda)	28.434	Santa Rosa de Osos (Antioquia)	16.739	Puerto Rico (Caquetá)	19.953
Páez-Belalcázar (Cauca)	26.885	Ríoblanco (Tolima)	16.695	Labranzagrande (Boyacá)	19.408
Amalfi (Antioquia)	26.115	Yarumal (Antioquia)	16.348	San Vicente del Caguán (Caquetá)	18.380

Fuente: Elaboración propia.

4.18. Ciprés (*Cupressus lusitanica*)

El mapa biofísico de *Cupressus lusitanica* indicó que la mayor área de aptitud alta (A1) se presentó desde Nariño hasta Antioquia y en el altiplano cundiboyacense. El mapa socioeconómico mostró que la mayor aptitud alta (A1) se encontró en zonas con mejores condiciones de infraestructura, servicios, red vial, apoyos y comunicaciones, especialmente en la cordillera oriental, en el occidente, en Antioquia, Cauca y Nariño, lo cual facilitaa la producción comercial de madera. En la Orinoquia y la Amazonia predominaron la aptitud baja (A3) y la aptitud media (A2), con algunas zonas de aptitud alta (A1) en el occidente de los departamentos del Meta y Casanare (ver Figura 62).

Figura 62. Mapas intermedios de la zonificación de aptitud para la producción de *Cupressus lusitanica* en Colombia a escala 1:100.000

Mapa biofísico	Mapa socioeconómico
	

Fuente: Elaboración propia.

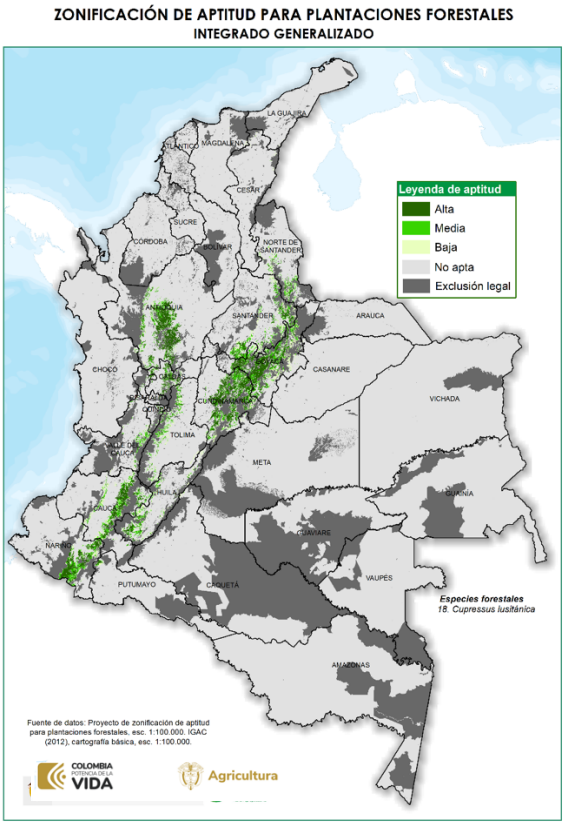
El mapa de la zonificación de aptitud para el desarrollo del cultivo con fines comerciales *Cupressus lusitanica* mostró que en Colombia se disponen de 3.592.760 hectáreas aptas para esta especie, lo que significa el 3,1 % del área continental del país y el 8,3 % de la frontera agrícola nacional. Del total de áreas aptas, el 51,5 % correspondió a *aptitud alta* (A1); el 29,4 %, a *aptitud media* (A2); y el 19,1 %, a *aptitud baja* (A3). Las zonas no aptas (N1) abarcaron 83.450.234 hectáreas (ver Tabla 115 y Figura 63).

Tabla 115. Áreas según categorías de aptitud para la producción de *Cupressus lusitanica* en Colombia a escala 1:100.000

Ciprés (*Cupressus lusitanica*)	Aptitud	Área (ha)	% nacional	% frontera agrícola nacional*
A1	**Alta**	1.848.831	1,6	4,3
A2	**Media**	1.057.055	0,9	2,5
A3	**Baja**	686.874	0,6	1,6
Total del área apta		3.592.760	3,1	8,3
N1	No apto técnico	83.450.234	73,2	—
N2	No apto legal	27.031.977	23,7	—
Total del territorio nacional		114.074.970	100,0	—
*Frontera agrícola nacional: 43.070.364 ha.				

Fuente: Elaboración propia.

Figura 63. Mapa integrado de aptitud para la producción de *Cupressus lusitanica* en Colombia a escala 1:100.000



Fuente: Elaboración propia.

Los departamentos con mayor aptitud total para el desarrollo productivo de *Cupressus lusitanica* fueron Boyacá, con 615.941 hectáreas; Cundinamarca, con 597.092; Antioquia, con 560.504; Cauca, con 403.093; y Nariño, con 336.665. Estos departamentos sumaron 2.513.295 hectáreas, que equivalen al 70,0 % del total del área apta en Colombia para esta especie maderable (ver Tabla 116).

Tabla 116. Principales departamentos aptos para la producción de *Cupressus lusitanica* en Colombia

Departamento	Total de aptitud (ha)
Boyacá	615.941
Cundinamarca	597.092
Antioquia	560.504
Cauca	403.093
Nariño	336.665
Santander	331.261
Huila	195.659
Tolima	181.324
Norte de Santander	118.368
Caldas	106.912

Fuente: Elaboración propia.

Los departamentos con mayor *aptitud alta* (A1) fueron Antioquia, con 403.078 hectáreas; Cundinamarca, con 403.043; Boyacá, con 337.895; Cauca, con 188.883; y Nariño, con 186.252. Los departamentos con mayor *aptitud media* (A2) fueron Boyacá, con 162.170 hectáreas; Cundinamarca, con 139.787; Cauca, con 133.430; Santander, con 128.210; y Antioquia, con 114.400. La mayor aptitud baja (A3) se presentó en los departamentos de Boyacá, con 115.876; Santander, con 108.776; Cauca, con 80.780; Huila, con 70.804; y Tolima, con 65.087 (ver Tabla 117).

Tabla 117. Principales departamentos con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Cupressus lusitanica* en Colombia

Departamento	Aptitud alta (A1)	Departamento	Aptitud media (A2)	Departamento	Aptitud baja (A3)
Antioquia	403.078	Boyacá	162.170	Boyacá	115.876
Cundinamarca	403.043	Cundinamarca	139.787	Santander	108.776
Boyacá	337.895	Cauca	133.430	Cauca	80.780
Cauca	188.883	Santander	128.210	Huila	70.804

Nariño	186.252	Antioquia	114.400	Tolima	65.087
Santander	94.275	Nariño	108.396	Cundinamarca	54.261
Caldas	77.412	Huila	76.904	Norte de Santander	46.391
Huila	47.951	Tolima	74.035	Antioquia	43.026
Tolima	42.202	Norte de Santander	45.728	Nariño	42.017
Norte de Santander	26.248	Valle del Cauca	34.745	Valle del Cauca	22.198

Fuente: Elaboración propia.

La mayor aptitud total para el cultivo comercial de *Cupressus lusitanica* se localizó en los municipios de Santa Rosa de Osos, con 66.924 hectáreas; Silvia, con 38.503; Yarumal, con 34.616; Sotará, con 31.473; y Páez, con 31.368 (ver Tabla 118).

Tabla 118. Principales municipios aptos para la producción de *Cupressus lusitanica* en Colombia

Municipio	Total de aptitud (ha)
Santa Rosa de Osos (Antioquia)	66.924
Silvia (Cauca)	38.503
Yarumal (Antioquia)	34.616
Sotará-Paispamba (Cauca)	31.473
Páez-Belalcázar (Cauca)	31.368
La Plata (Huila)	29.981
La Vega (Cauca)	25.301
Buesaco (Nariño)	24.878
Bogotá (Cundinamarca)	24.319
Totoró (Cauca)	23.783

Fuente: Elaboración propia.

Los municipios con la mayor superficie con *aptitud alta* (A1) fueron Santa Rosa de Osos, con 57.575 hectáreas; Silvia, con 32.09; Sotará, con 23.898; y Yarumal, con 20.384. Los municipios con la mayor superficie con *aptitud media* (A2), fueron Pitalito, con 15.156 hectáreas; Páez- Belalcázar, con 13.261; Tuluá, con 12.378; Roncesvalles, con 12.324 Yarumal; y La Plata, con 10.857. En cuanto a la *aptitud baja* (A3) se destacan los municipios de Aquitania, con 16.538 hectáreas; La Plata, con 13.108; Gámbita, con 11.916; Bogotá, con 11.211; y Colombia, con 9.930 (ver Tabla 119).

Tabla 119. Principales municipios con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Cupressus lusitanica* en Colombia

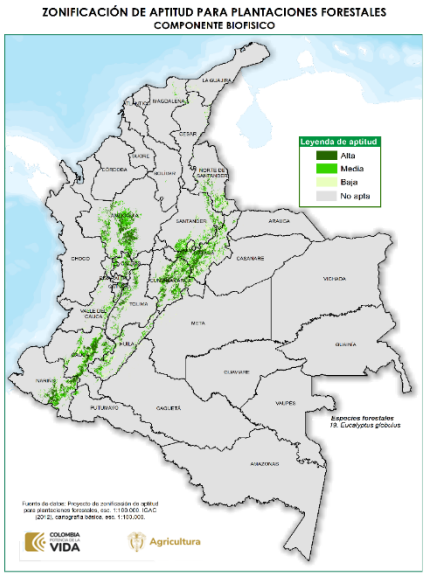
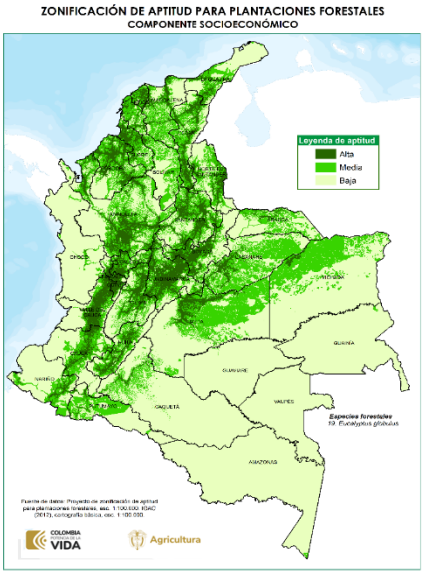
Municipio	Aptitud alta (A1)	Municipio	Aptitud media (A2)	Municipio	Aptitud baja (A3)
Santa Rosa de Osos (Antioquia)	57.575	Pitalito (Huila)	15.156	Aquitania (Boyacá)	16.538
Silvia (Cauca)	32.091	Páez-Belalcázar (Cauca)	13.261	La Plata (Huila)	13.108
Sotará-Paispamba (Cauca)	23.898	Tuluá (Valle del Cauca)	12.378	Gámbita (Santander)	11.916
Yarumal (Antioquia)	20.384	Roncesvalles (Tolima)	12.324	Bogotá (Cundinamarca)	11.211
Chocontá (Cundinamarca)	19.134	Yarumal (Antioquia)	11.084	Colombia (Huila)	9.930
San Vicente (Antioquia)	18.598	La Plata (Huila)	10.857	Bolívar (Cauca)	9.289
San Pedro (Antioquia)	17.787	Ipiales (Nariño)	9.960	Suratá (Santander)	9.270
Pacho (Cundinamarca)	17.528	Puente Nacional (Santander)	9.497	Socotá (Boyacá)	9.267
Saboyá (Boyacá)	16.939	Puracé-Coconuco (Cauca)	9.394	El Tambo (Cauca)	8.272
Entrerríos (Antioquia)	15.203	Totoró (Cauca)	8.956	Labranzagrande (Boyacá)	8.128

Fuente: Elaboración propia.

4.19. Eucalipto blanco, común o azul (*Eucalyptus globulus*)

La mayor área con aptitud alta (A1) para el desarrollo productivo de *Eucalyptus globulus*, según el mapa biofísico, se presentó desde Nariño hasta Antioquia, en el altiplano cundiboyacense, en Huila y Tolima. El mapa socioeconómico indicó que la mayor aptitud alta (A1) se localizó en las zonas con mejores condiciones de infraestructura, vías, servicios, apoyos y comunicaciones, especialmente en la cordillera oriental, en el occidente y en Antioquia, lo que facilita la producción comercial de madera. En la Orinoquia y en la Amazonia predominaron las aptitudes baja (A3) y media (A2), con algunas zonas de aptitud alta (A1) en el piedemonte del Meta y Casanare (ver Figura 64).

Figura 64. Mapas intermedios de la zonificación de aptitud para la producción de *Eucalyptus globulus* en Colombia a escala 1:100.000

Mapa biofísico	Mapa socioeconómico
	

Fuente: Elaboración propia.

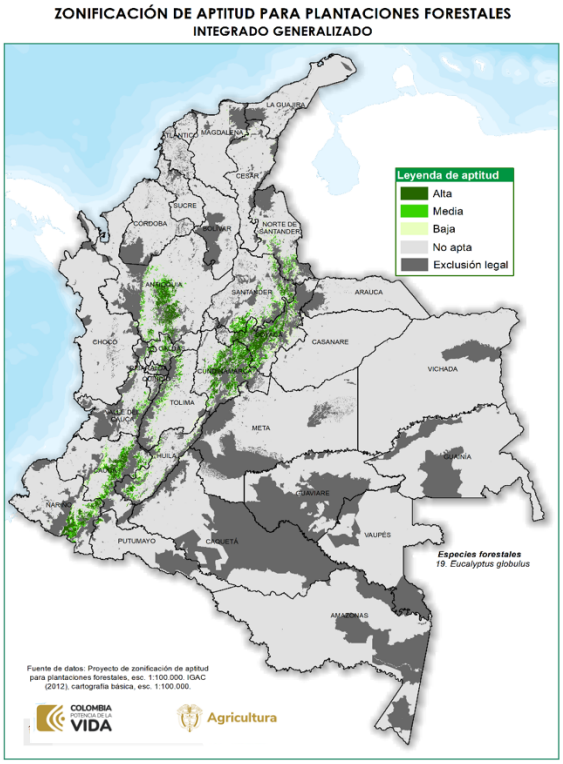
El mapa de la zonificación de aptitud para el cultivo con fines comerciales de *Eucalyptus globulus* mostró que Colombia dispone de 3.697.157 hectáreas aptas para esta especie forestal maderable, lo que equivale al 3,4 % del área continental del país y al 9,0 % de la frontera agrícola nacional. Del total de áreas aptas, el 48,4 % correspondió a *aptitud alta* (A1); el 30,4 %, a *aptitud media* (A2); y el 21,1 %, a *aptitud baja* (A3). Las zonas no aptas (N1) abarcaron 83.172.787 hectáreas (ver Tabla 120 y Figura 63).

Tabla 120. Áreas según categorías de aptitud para la producción de *Eucalyptus globulus* en Colombia a escala 1:100.000

Eucalipto blanco, común o azul (*Eucalyptus globulus*)	Aptitud	Área (ha)	% nacional	% frontera agrícola nacional*
A1	**Alta**	1.874.577	1,6	4,4
A2	**Media**	1.177.187	1,0	2,7
A3	**Baja**	818.443	0,7	1,9
Total del área apta		3.870.206	3,4	9,0
N1	No apto técnico	83.172.787	72,9	—
N2	No apto legal	27.031.977	23,7	—
Total del territorio nacional		114.074.970	100,0	—
*Frontera agrícola nacional: 43.070.364 hectáreas.				

Fuente: Elaboración propia.

Figura 65. Mapa integrado de aptitud para la producción de *Eucalyptus globulus* en Colombia a escala 1:100.000



Fuente: Elaboración propia.

Los departamentos que mostraron la mayor aptitud total para el desarrollo de plantaciones de *Eucalyptus globulus* fueron Boyacá, con 639.781 hectáreas; Cundinamarca, con 619.877; Antioquia, con 598.425; Cauca, con 474.531; y Santander, con 349.123. Estos departamentos sumaron 2.681.737 hectáreas, lo que representa el 69,3 % del total de área apta en Colombia para esta especie (ver Tabla 121).

Tabla 121. Principales departamentos aptos para la producción de *Eucalyptus globulus* en Colombia

Departamento	Total de aptitud (ha)
Boyacá	639.781
Cundinamarca	619.877
Antioquia	598.425
Cauca	474.531
Santander	349.123
Nariño	333.136
Huila	211.363
Tolima	182.509
Norte de Santander	155.030
Caldas	116.383

Fuente: Elaboración propia.

Los departamentos con mayor *aptitud alta* (A1) fueron Cundinamarca, con 393.381 hectáreas; Antioquia, con 375.276; Boyacá, con 345.638; Cauca, con 228.713; y Nariño, con 181.772. Los departamentos con mayor *aptitud media* (A2) se localizó en Boyacá, con 173.706 hectáreas; Cundinamarca, con 170.606; Antioquia, con 158.075; Cauca, con 155.774; y Santander, con 129.420. La mayor *aptitud baja* (A3) se concentró en Boyacá, con 120.437 hectáreas; Santander, con 110.296; Huila, con 95.358; Cauca, con 90.044; y Norte de Santander, con 70.343, que sumaron 486.478 hectáreas (ver Tabla 122).

Tabla 122. Principales departamentos con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) para la producción de *Eucalyptus globulus* en Colombia

Departamento	Aptitud alta (A1)	Departamento	Aptitud media (A2)	Departamento	Aptitud baja (A3)
Cundinamarca	393.381	Boyacá	173.706	Boyacá	120.437
Antioquia	375.276	Cundinamarca	170.606	Santander	110.296
Boyacá	345.638	Antioquia	158.075	Huila	95.358
Cauca	228.713	Cauca	155.774	Cauca	90.044
Nariño	181.772	Santander	129.420	Norte de Santander	70.343
Santander	109.407	Nariño	95.301	Tolima	68.874
Caldas	69.744	Tolima	69.954	Antioquia	65.075
Huila	47.179	Huila	68.826	Nariño	56.062
Tolima	43.681	Norte de Santander	56.021	Cundinamarca	55.890
Norte de Santander	28.665	Caldas	37.338	Valle del Cauca	26.813

Fuente: Elaboración propia.

Los municipios que presentan la mayor aptitud total para el desarrollo productivo de *Eucalyptus globulus* fueron Santa Rosa de Osos, con 66.441 hectáreas; El Tambo, con 48.878; Páez, con 38.032; Yarumal, con 36.256; y Silvia, con 35.459 (ver Tabla 123).

Tabla 123. Principales municipios aptos para la producción de *Eucalyptus globulus* en Colombia

Municipio	Total de aptitud (ha)
Santa Rosa de Osos (Antioquia)	66.441
El Tambo (Cauca)	48.878
Páez-Belalcázar (Cauca)	38.032
Yarumal (Antioquia)	36.256
Silvia (Cauca)	35.459
La Plata (Huila)	34.771
Sotará-Paispamba (Cauca)	32.034
Popayán (Cauca)	29.613
Buesaco (Nariño)	25.837
Pacho (Cundinamarca)	25.780

Fuente: Elaboración propia.

Los municipios con la mayor superficie con *aptitud alta* (A1) fueron Santa Rosa de Osos, con 52.555 hectáreas; Silvia, con 30.699; Sotará, con 23.546; Pacho, con 18.759; y Popayán, con 18.425. Los municipios con la mayor superficie con *aptitud media* (A2) fueron Yarumal, con 19.337 hectáreas; Páez, con 16.993; El Tambo, con 16.961; Santa

Rosa de Osos, con 12.947; y Roncesvalles, con 12.037. En cuanto a la *aptitud baja* (A3) destacan los municipios de La Plata, con 17.963 hectáreas; El Tambo, con 15.500; Colombia, con 14.572; Gámbita, con 14.413 y Aquitania, con 12.671 (ver Tabla 124).

Tabla 124. Principales municipios con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Eucalyptus globulus* en Colombia

Municipio	Aptitud alta (A1)	Municipio	Aptitud media (A2)	Municipio	Aptitud baja (A3)
Santa Rosa de Osos (Antioquia)	52.555	Yarumal (Antioquia)	19.337	La Plata (Huila)	17.963
Silvia (Cauca)	30.699	Páez-Belalcázar (Cauca)	16.993	El Tambo (Cauca)	15.500
Sotará-Paispamba (Cauca)	23.546	El Tambo (Cauca)	16.961	Colombia (Huila)	14.572
Pacho (Cundinamarca)	18.759	Santa Rosa de Osos (Antioquia)	12.947	Gámbita (Santander)	14.413
Popayán (Cauca)	18.425	Roncesvalles (Tolima)	12.037	Aquitania (Boyacá)	12.671
Chocontá (Cundinamarca)	18.247	Tuluá (Valle del Cauca)	11.399	Ábrego (Norte de Santander)	11.828
San Pedro (Antioquia)	18.044	Ituango (Antioquia)	10.699	Planadas (Tolima)	11.222
San Vicente (Antioquia)	17.662	Moniquirá (Boyacá)	10.403	Labranzagrande (Boyacá)	9.834
Saboyá (Boyacá)	16.888	La Vega (Cauca)	9.888	Chitagá (Norte de Santander)	8.291
El Tambo (Cauca)	16.417	La Plata (Huila)	9.874	Bolívar (Cauca)	8.114

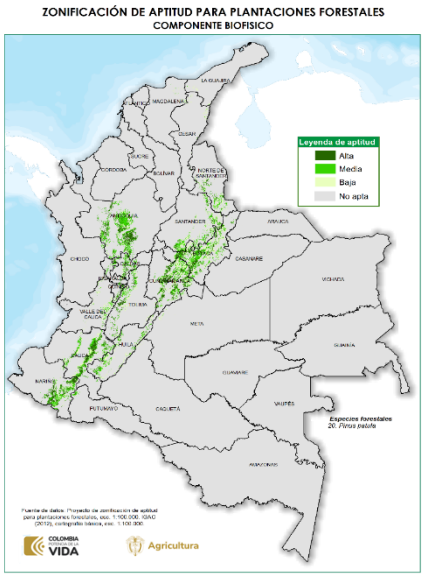
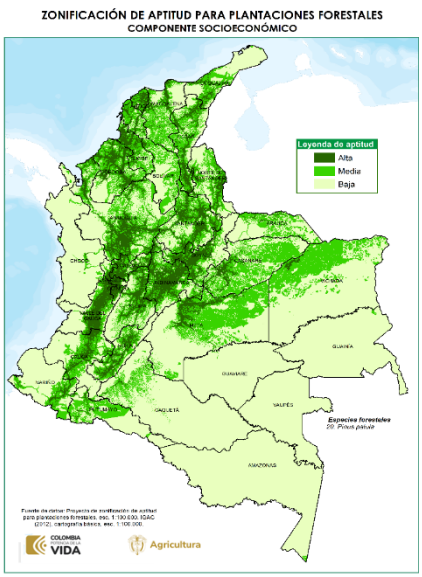
Fuente: Elaboración propia.

4.20. Pino pátula (*Pinus patula*)

La mayor área con aptitud alta (A1) para el desarrollo productivo de *Pinus patula*, según el mapa biofísico, reveló que la mayor superficie con aptitud alta (A1) se presentó en Antioquia, Nariño, Cauca, el altiplano cundiboyacense, algunos sectores del Eje Cafetero, Huila, Tolima y Santander. El mapa socioeconómico mostró que la mayor aptitud alta (A1) se sitúa en zonas con las mejores condiciones de infraestructura, vías, servicios, apoyos y comunicaciones, especialmente en las tres cordilleras, en Antioquia, Santander, Norte de Santander, Córdoba, Sucre, Atlántico,

Magdalena y Cesar, y el piedemonte de Casanare y Meta, lo cual facilita la producción comercial de madera. En la Orinoquia y en la Amazonia predominaron la aptitud baja (A3) y media (A2) (ver Figura 66).

Figura 66. Mapas intermedios de la zonificación de aptitud para la producción de *Pinus patula* en Colombia a escala 1:100.000

Mapa biofísico	Mapa socioeconómico
	

Fuente: Elaboración propia.

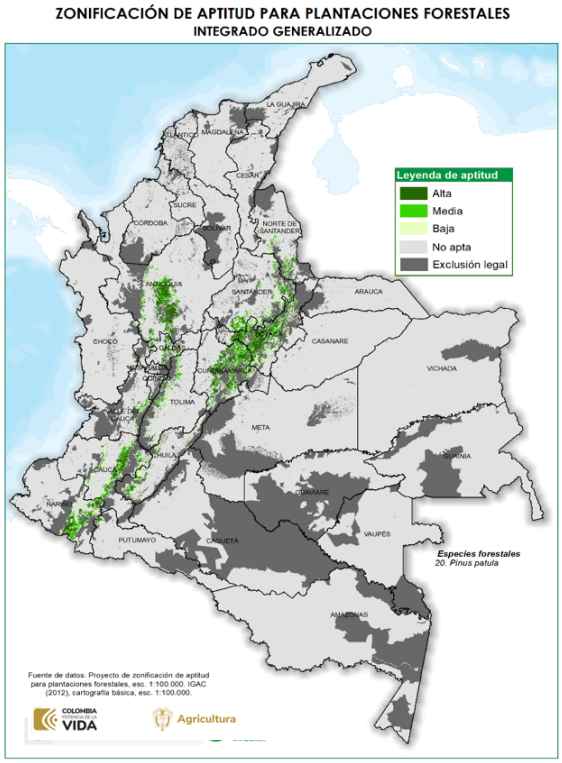
El mapa de zonificación de aptitud para el desarrollo productivo con fines comerciales de *Pinus patula* indicó que Colombia dispone de 3.317.479 hectáreas aptas para esta especie, lo que significa el 2,9 % del área continental del país y el 7,7 % de la frontera agrícola nacional. Del total de áreas aptas, 44,9 % correspondió a *aptitud alta* (A1); el 32,1 %, a *aptitud media* (A2); y el 23,0 %, a *aptitud baja* (A3). Las zonas no aptas (N1) abarcaron 83.725.514 hectáreas (ver Tabla 125 y Figura 65).

Tabla 125. Áreas según categorías de aptitud para la producción de *Pinus patula* en Colombia a escala 1:100.000

Pino pátula (*Pinus patula*)	Aptitud	Área (ha)	% nacional	% frontera agrícola nacional*
A1	**Alta**	1.488.579	1,3	3,5
A2	**Media**	1.066.231	0,9	2,5
A3	**Baja**	762.669	0,7	1,8
Total del área apta		3.317.479	2,9	7,7
N1	No apto técnico	83.725.514	73,4	—
N2	No apto legal	27.031.977	23,7	—
Total del territorio nacional		114.074.970	100,0	—
*Frontera agrícola nacional: 43.070.364 hectáreas.				

Fuente: Elaboración propia.

Figura 67. Mapa integrado de aptitud para la producción de *Pinus patula* en Colombia a escala 1:100.000



Fuente: Elaboración propia.

Los departamentos con la mayor aptitud total para el cultuvo comercial de *Pinus patula* fueron Boyacá, con 592.164 hectáreas; Cundinamarca, con 554.165; Antioquia, con 526.471; Cauca, con 376.894; y Nariño, con 313.876. Estos departamentos sumaron 2.363.571 hectáreas, las cuales equivalen al 71,2 % del total del área apta en Colombia para esta especie (ver Tabla 126).

Tabla 126. Principales departamentos aptos para la producción de *Pinus patula* en Colombia

Departamento	Total de aptitud (ha)
Boyacá	592.164
Cundinamarca	554.165
Antioquia	526.471
Cauca	376.894
Nariño	313.876
Santander	304.157
Tolima	157.834
Huila	152.445
Norte de Santander	111.651
Caldas	94.999

Fuente: Elaboración propia.

Los departamentos con mayor *aptitud alta* (A1) fueron Antioquia, con 330.188; Cundinamarca, con 326.188; Boyacá, con 291.715; Nariño, con 148.194 y Cauca, con 139.772. Los departamentos con mayor *aptitud media* (A2) fueron Boyacá, con 175.605 hectáreas; Cundinamarca, con 167.307; Antioquia, con 142.487; Cauca, con 140.019; y Santander, con 123.560. La mayor *aptitud baja* (A3) se concentró en Boyacá, con 124.844; Santander, con 104.094; Cauca, con 97.103; Huila, con 76.506; y Tolima, con 71.761 (ver Tabla 127).

Tabla 127. Principales departamentos con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Pinus patula* en Colombia

Departamento	Aptitud alta (A1)	Departamento	Aptitud media (A2)	Departamento	Aptitud baja (A3)
Antioquia	330.188	Boyacá	175.605	Boyacá	124.844
Cundinamarca	326.188	Cundinamarca	167.307	Santander	104.094
Boyacá	291.715	Antioquia	142.487	Cauca	97.103
Nariño	148.194	Cauca	140.019	Huila	76.506
Cauca	139.772	Santander	123.560	Tolima	71.761
Santander	76.503	Nariño	103.540	Nariño	62.142
Caldas	65.558	Tolima	58.620	Cundinamarca	60.670
Huila	29.260	Huila	46.679	Antioquia	53.797
Tolima	27.453	Norte de Santander	41.674	Norte de Santander	47.036
Norte de Santander	22.941	Valle del Cauca	25.875	Valle del Cauca	28.107

Fuente: Elaboración propia.

Los municipios con mayor aptitud total para el desarrollo productivo de *Pinus patula* fueron Santa Rosa de Osos, con 66.335 hectáreas; Silvia, con 35.466; Yarumal, con 34.340; Páez, con 30.980; y Sotará, con 30.554 (ver Tabla 128).

Tabla 128. Principales municipios aptos para la producción de *Pinus patula* en Colombia

Municipio	Total de aptitud (ha)
Santa Rosa de Osos (Antioquia)	66.335
Silvia (Cauca)	35.466
Yarumal (Antioquia)	34.340
Páez-Belalcázar (Cauca)	30.980
Sotará-Paispamba (Cauca)	30.554
La Plata (Huila)	27.801
Buesaco (Nariño)	23.988
La Vega (Cauca)	23.750
Roncesvalles (Tolima)	22.860
Chocontá (Cundinamarca)	21.646

Fuente: Elaboración propia.

Los municipios con la mayor superficie de *aptitud alta* (A1) para le cultivo de *Pinus patula* fueron Santa Rosa de Osos, con 48.113 hectáreas; Silvia, con 26.461; Sotará,

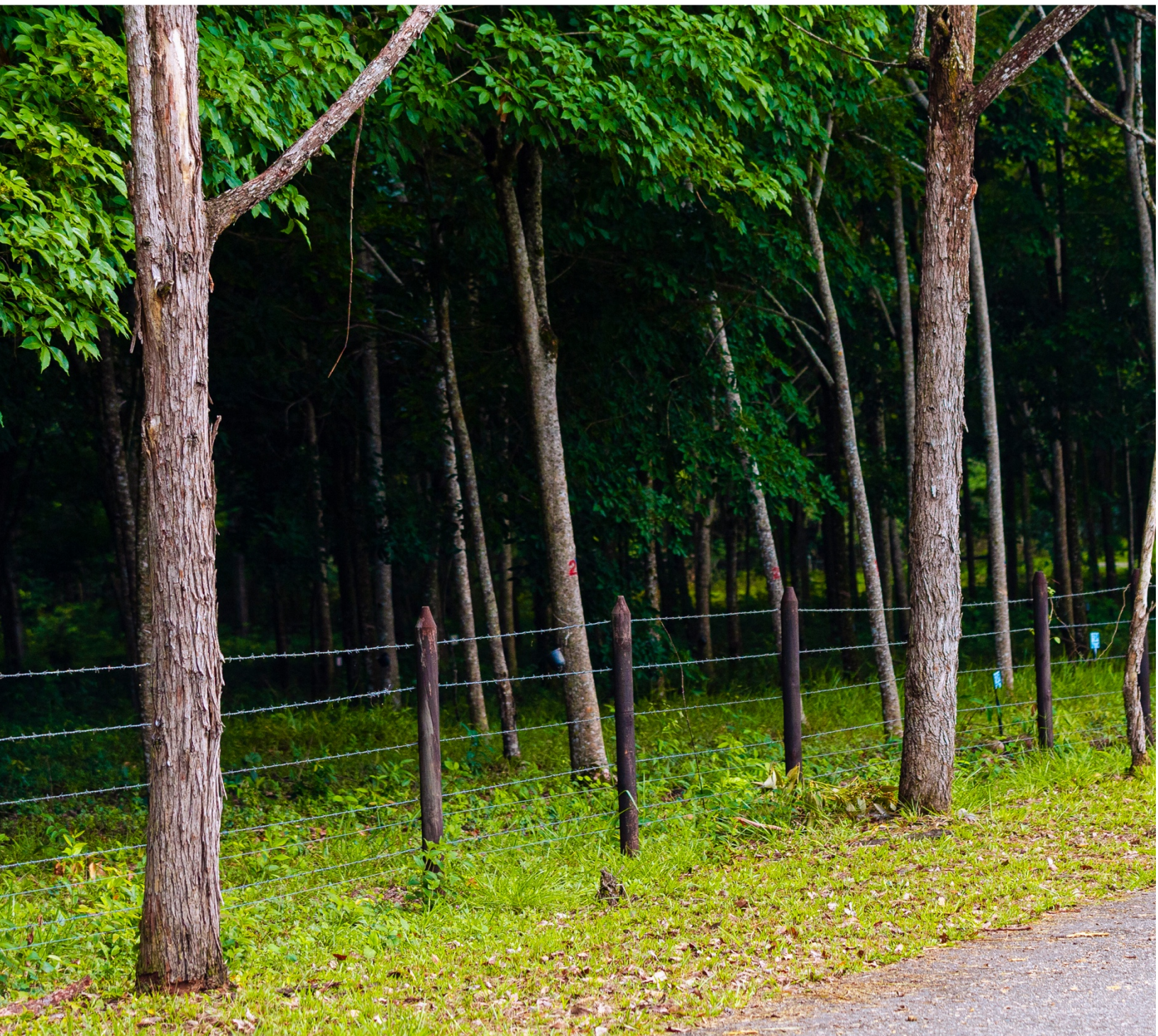
con 20.511; San Vicente, con 17.046; y Pacho, con 15.802. Los municipios con la mayor superficie de *aptitud* media (A2) fueron Yarumal, con 16.087 hectáreas; Santa Rosa de Osos, con 15.015; Páez, con 14.854; Roncesvalles, con 12.018; e Ipiales, con 10.012. En cuanto a la mayor superficie *de aptitud baja* (A3), cabe destacar los municipios de La Plata, con 16.685 hectáreas; Aquitania, con 12.904; Bolívar, con 10.788 Suratá, con 10.624; y Gámbita, con 10.520 (ver Tabla 129).

Tabla 129. Principales municipios con mayor aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) en hectáreas para la producción de *Pinus patula* en Colombia

Municipio	Aptitud alta (A1)	Municipio	Aptitud media (A2)	Municipio	Aptitud baja (A3)
Santa Rosa de Osos (Antioquia)	48.113	Yarumal (Antioquia)	16.087	La Plata (Huila)	16.685
Silvia (Cauca)	26.461	Santa Rosa de Osos (Antioquia)	15.015	Aquitania (Boyacá)	12.904
Sotará-Paispamba (Cauca)	20.511	Páez-Belalcázar (Cauca)	14.854	Bolívar (Cauca)	10.788
San Vicente (Antioquia)	17.046	Roncesvalles (Tolima)	12.018	Suratá (Santander)	10.624
Pacho (Cundinamarca)	15.802	Ipiales (Nariño)	10.012	Gámbita (Santander)	10.520
Chocontá (Cundinamarca)	15.206	San Agustín (Huila)	9.461	La Vega (Cauca)	10.171
San Pedro (Antioquia)	15.157	Totoró (Cauca)	9.388	Colombia (Huila)	9.601
Saboyá (Boyacá)	14.802	Caldono (Cauca)	9.330	Tuluá (Valle del Cauca)	9.102
Yarumal (Antioquia)	14.317	Puente Nacional (Santander)	9.072	El Tambo (Cauca)	8.727
Sonsón (Antioquia)	12.686	Tuluá (Valle del Cauca)	9.044	Ubalá (Cundinamarca)	8.679

Fuente: Elaboración propia.

5. Conclusiones



5. Conclusiones

Colombia dispone de suficiente área apta para la producción forestal comercial. Las especies con mayor aptitud en el territorio nacional, en el que se destacan los departamentos del Meta, Córdoba, Vichada, Antioquia y Caquetá, son *Eucalyptus tereticornis*, con 25.630.937 hectáreas, *Eucalyptus urograndis* y *Eucalyptus pellita*, dada su alta adaptabilidad a diversas condiciones de suelos en clima cálido. En contraste, las especies con menor superficie con aptitud, en los departamentos de Boyacá, Cundinamarca, Cauca, Antioquia, Tolima y Nariño, son *Pinus maximinoi,* con 2.893.528 hectáreas, *Pinus patula* y *Eucalyptus globulus*, propias de clima frío.

Por piso térmico, se identificaron los siguientes tres grupos para las veinte especies forestales evaluadas: para el piso cálido, *Eucalyptus tereticornis*, *Eucalyptus urograndis*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus pellita*, *Ochroma pyramidale*, *Pinus caribeae* y *Acacia mangium*; para el piso medio, *Eucalyptus camaldulensis*, *Pinus tecunumanii*, *Cordia alliodora*, *Eucalyptus grandis* y *Pinus oocarpa*; y para el piso frío, *Eucalyptus globulus*, *Cupressus lusitanica*, *Pinus patula* y *Pinus maximinoi*.

La región Caribe presentó una aptitud para establecer todas las especies forestales de clima cálido, de las cuales se resaltan el roble o flormorado (*Tabebuia rosea*); la teca (*Tectona grandis*); la melina (*Gmelina arborea*); y la ceiba tolúa (*Bombacopsis quinata*). Por su mayor valor comercial y por los altos requerimientos de fertilidad, concentran una oferta a importante en esta región.

En la Orinoquia, se presentaron extensas áreas con aptitud para *Eucalyptus tereticornis*; *Eucalyptus urograndis*; *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus pellita*, *Ochroma pyramidale*; *Pinus caribeae*; y *Acacia mangium*. De estas especies se resaltan *Eucalyptus pellita* y *Pinus caribeae*, dado que preentan las mayores áreas con aptitud alta (A1) en esta región.

En la región Andina se destacan las especies forestales de los climas medio y frío en las tres cordilleras, a saber: *Eucalyptus camaldulensis*, *Pinus tecunumanii*, *Cordia alliodora*, *Eucalyptus grandis*, *Pinus oocarpa*, *Eucalyptus globulus*, *Cupressus lusitanica*, *Pinus patula* y *Pinus maximinoi*. En las regiones de la Amazonia y el Pacífico, no se resaltan importantes áreas de aptitud para la actividad forestal comercial de las especies evaluadas, en comparación con las otras regiones del país. La razón estriba

en las importantes áreas de exclusión legal por la presencia de bosques naturales, salvo en los departamentos de Caquetá y Meta.

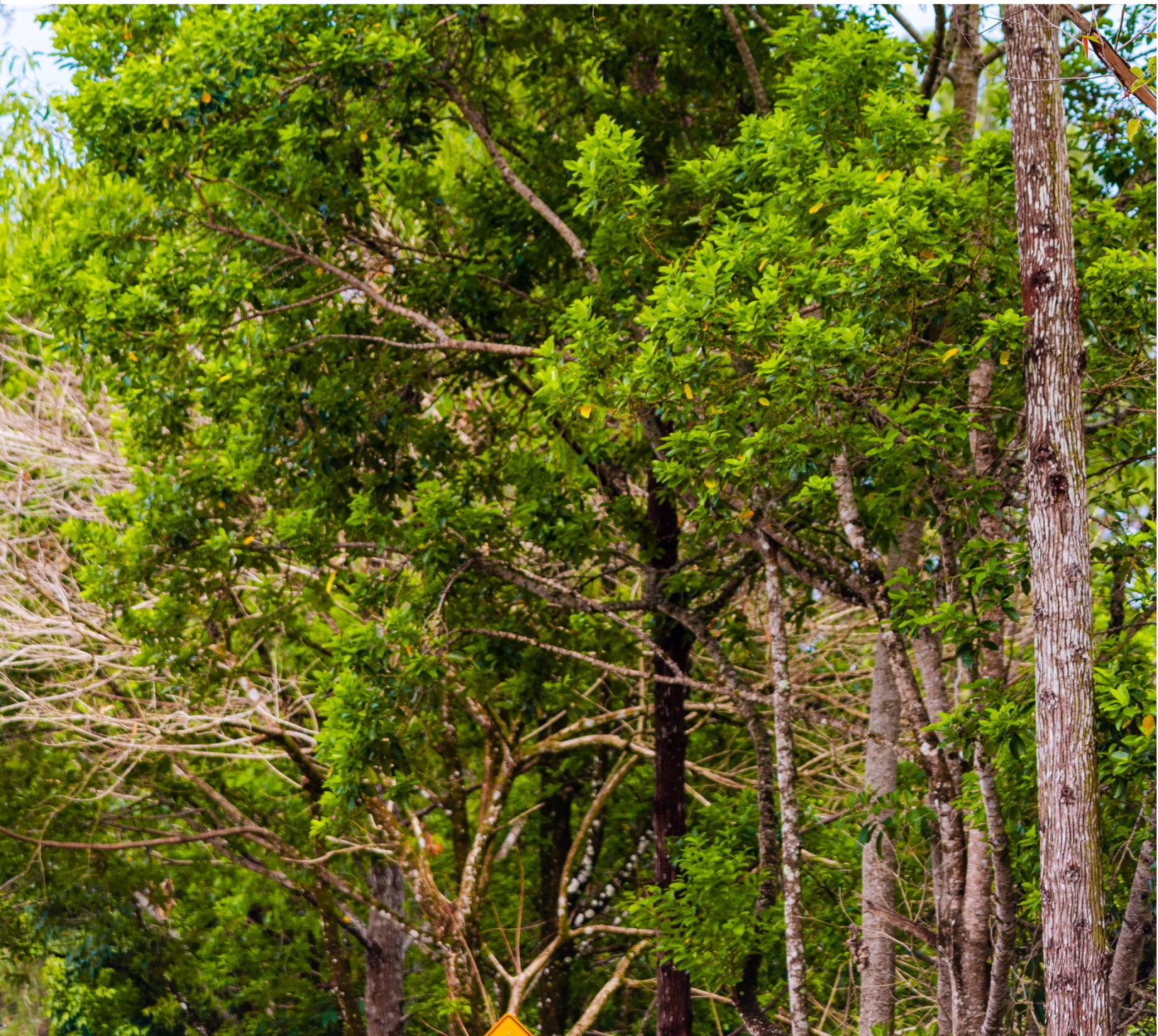
Tectona grandis y *Eucalyptus urograndis* son especies destacadas por su demanda exportable. Presentan áreas con tierras promisorias en el Caribe colombiano, debido a la oferta de suelos fértiles y sin restricción ambiental, que dispone de los tres principales puertos marítimos del país, condición que favorece la logística para el comercio internacional.

De las especies evaluadas, las nativas —*Tabebuia rosea*, *Bombacopsis quinata*, *Cordia alliodora* y *Ochroma pyramidale*— presentaron un menor impacto sobre la integridad ecológica frente a las especies introducidas, ya que podrían convertirse en parches y corredores ecológicos que favorecerían la conectividad y disminuirían la fragmentación de áreas transformadas. La mayor afectación a la integridad ecológica actual se refleja en la Amazonia y en el Pacífico.

La actividad forestal comercial requiere de grandes extensiones por largos periodos de tiempo. El fraccionamiento predial y los altos precios de la tierra de la región Andina se conforman como una desventaja frente a la Orinoquia, donde las amplias áreas y los menores precios de los predios son más asequibles para la actividad forestal.

Por último, la región Andina mostró la mejor viabilidad para la transformación de la madera en diversos usos, debido no sólo a la facilidad de acceso, sino también a la cercanía de las plantaciones comerciales a las plantas de procesamiento, principalmente, con respecto a los pinos y a los eucaliptos.

6. Bibliografía



6. Bibliografía

Arévalo, R. y Londoño, A. (2005). *Manual para la identificación de maderas que se comercializan en el departamento del Tolima*. Corporación Autónoma Regional del Tolima (CORTOLIMA), Facultad de Ingeniería Forestal, Universidad del Tolima. https://n9.cl/izkam

Banco Mundial, Departamento Nacional de Planeación, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y Program on Forests (2015). *Colombia: potencial de reforestación comercial. Diagnóstico*. Program on Forests (Profor). https://n9.cl/bbwlp

Blanco, J., Medrano, L.A. y Mora, E. (2020). *Caracterización de las 30 especies forestales maderables más movilizadas en Colombia provenientes del bosque natural. Consolidación de la gobernanza forestal en Colombia-Fase IV*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Unión Europa (UE) y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). https://n9.cl/pv6ra

Castañeda, F.M. (2020). *Evaluación de la cadena productiva forestal (productos maderables y no maderables) en la Amazonía intervenida y diseño de estrategias competitivas y empresariales para fortalecerlas*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. https://n9.cl/tzdx90

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (2023). *Banco de semillas forestales*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). https://n9.cl/o13sr

Ciontescu, N. (2012). *Instructivo metodológico para la evaluación de atributos ecológicos e integridad ecológica en áreas protegidas ArcGIS-Fragstats*. Bogotá, Colombia: Grupo de Planeación y Manejo, Subdirección de Gestión y Manejo, Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNN).

Congreso Nacional de la República de Colombia (1959). *Ley 2 de 1959, por la cual se dictan normas sobre economía forestal de la Nación y conservación de recursos naturales renovables*. Diario Oficial 29.861. Congreso Nacional de la República de Colombia.

Congreso de la República de Colombia (1991). *Ley 21 de 1991, por medio de la cual se aprueba el Convenio número 169 sobre pueblos indígenas y tribales en países independientes, adoptado por la 76ª reunión de la Conferencia General de la O.I.T., Ginebra 1989*. Diario Oficial 39.720. Congreso de la República de Colombia.

Congreso de la República de Colombia (1993a). *Ley 99 de 1993, por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones*. Diario Oficial 41.146. Congreso de la República de Colombia.

Congreso de la República de Colombia (1993b). *Ley 101 de 1993, Ley General de Desarrollo Agropecuario y Pesquero*. Diario Oficial 41.149. Congreso de la República de Colombia.

Congreso de la República de Colombia (1993c). *Ley 70 de 1993, por la cual se desarrolla el artículo transitorio 55 de la Constitución Política*. Diario Oficial 41.013. Congreso de la República de Colombia.

Congreso de la República de Colombia (1994a). *Ley 139 de 1994, por la cual se crea el Certificado de Incentivo Forestal y se dictan otras disposiciones*. Diario Oficial 41.401. Congreso de la República de Colombia.

Congreso de la República de Colombia (1994b). *Ley 160 de 1994, por la cual se crea el Sistema Nacional de Reforma Agraria y Desarrollo Rural Campesino, se establece un subsidio para la adquisición de tierras, se reforma el Instituto Colombiano de la Reforma Agraria y se dictan otras disposiciones*. Diario Oficial 41.479. Congreso de la República de Colombia.

Congreso de la República de Colombia (1997). *Ley 388 de 1997, por la cual se modifica la Ley 9 de 1989, y la Ley 2 de 1991 y se dictan otras disposiciones*. Diario Oficial 43.091. Congreso de la República de Colombia.

Congreso de la República de Colombia (2000a). *Ley 811 de 2003, por medio de la cual se modifica la Ley 101 de 1993, se crean las organizaciones de cadenas en el sector agropecuario, pesquero, forestal, acuícola, las Sociedades Agrarias de Transformación, SAT, y se dictan otras disposiciones*. Diario Oficial 45.236. Congreso de la República de Colombia.

Congreso de la República de Colombia (2000b). *Ley 599 de 2000, por la cual se expide el Código Penal*. Diario Oficial 44.097. Congreso de la República de Colombia.

Congreso de la República de Colombia (2001). *Ley 685 de 2001, por la cual se expide el Código de Minas y se dictan otras disposiciones*. Diario Oficial 44.522. Congreso de la República de Colombia.

Congreso de la República de Colombia (2009). *Ley 1328 de 2009, por la cual se dictan normas en materia financiera, de seguros, del mercado de valores y otras disposiciones*. Diario Oficial 47.411. Congreso de la República de Colombia.

Congreso de la República de Colombia (2011). *Ley 1450 de 2011, por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo, 2010-2014*. Diario Oficial 48.102. Congreso de la República de Colombia.

Congreso de la República de Colombia (2012a). *Ley 1523 de 2012, por la cual se expide el Código de Minas y se dictan otras disposiciones*. Diario Oficial 48.411. Congreso de la República de Colombia.

Congreso de la República de Colombia (2012b). *Ley 1551 de 2012, por la cual se dictan normas para modernizar la organización y el funcionamiento de los municipios*. Diario Oficial 48.483. Congreso de la República de Colombia.

Congreso de la República de Colombia (2014). *Ley 1731 de 2014, por medio de la cual se adoptan medidas en materia de financiamiento para la reactivación del sector agropecuario, pesquero, acuícola, forestal y agroindustrial, y se dictan otras disposiciones relacionadas con el fortalecimiento de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica)*. Dirario Oficial 49.229. Congreso de la República de Colombia.

Congreso de la República de Colombia (2015). *Ley 1753 de 2015, por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 "Todos por un nuevo país*. Diario Oficial 49.538. Congreso de la República de Colombia.

Congreso de la República de Colombia (2016a). *Ley 1801 de 2016, por la cual se expide el Código Nacional de Seguridad y Convivencia Ciudadana*. Diario Oficial 49.949. Congreso de la República de Colombia.

Congreso de la República de Colombia (2016b). *Ley 1776 de 2016, por la cual se crean y se desarrollan las Zonas de Interés de Desarrollo Rural, Económico y Social, ZIDRES*. Diario Oficial 49.770. Congreso de la República de Colombia.

Congreso de la República de Colombia (2018). *Ley 1930 de 2018, por medio de la cual se dictan disposiciones para la gestión integral de los páramos en Colombia*. Diario Oficial 50.667. Congreso de la República de Colombia.

Congreso de la República de Colombia (2019). *Ley 1955 de 2019, por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad*. Diario Oficial 50.964. Congreso de la República de Colombia.

Congreso de la República de Colombia (2023). *Ley 2294 de 2023, por el cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 "Colombia, Potencia Mundial de la Vida*. Diario Oficial 52.400. Congreso de la República de Colombia.

Cortés, A. y Malagón, D. (1984). *Los levantamientos agrológicos y sus aplicaciones múltiples*. Universidad Jorge Tadeo Lozano.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2022). *Cuenta Satélite Ambiental (CSA)*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). https://n9.cl/omstu

Departamento Nacional de Planeación (2010). *Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014: "prosperidad para todos"*. Departamento Nacional de Planeación (DNP). https://n9.cl/918nd

Departamento Nacional de Planeación (2023). *Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026:* Colombia, Potencia Mundial de la Vida. Departamento Nacional de Planeación (DNP). https://n9.cl/fmosg""Departamento Nacional de Planeación (2023). *Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026:* Colombia, Potencia Mundial de la Vida. Departamento Nacional de Planeación (DNP). https://n9.cl/fmosg

Doorenbos, J. y Kassam, A. (1979). Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. FAO. *Riego y Drenaje*, 33, 212.

Eastman, J.R., Weigen, J., Kyem, P.A., & Toledano, J. (1995). Raster procedures for multi-criteria/multi objective decisions. *Photogramm Eng Remote Sens 61*(5), 539-547. https://n9.cl/vmkyl

FAOSTAT (2022). *Forestal: producción y comercio*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). https://www.fao.org/faostat/es/#data/FO

Fedemaderas (2019). Un pacto para el sector forestal. *Revista Fedemaderas*, *40*, 10-13. https://n9.cl/1i6u9y

Federación Nacional de Industriales de la Madera (2022). *Boletín estadístico forestal 2022*. Federación Nacional de Industriales de la Madera (Fedemaderas). https://n9.cl/2m659

Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario (2022). *Incentivo al seguro agropecuario-ISA*. Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario (Finagro). https://n9.cl/gd3k0

Food and Agriculture Organization of the United Nations (1976). *A framework for land evaluation*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI). https://edepot.wur.nl/149437

Food and Agriculture Organization of the United Nations (2007). *Land evaluation: towards a revised framework. Land and water discussion paper 6*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). https://edepot.wur.nl/488269

Food and Agriculture Organization of the United Nations (2017). *Sustainable woodfuel for food security. A smart choice: green, renewable and affordable*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). http://www.fao.org/3/a-i7917e.pdf

Food and Agriculture Organization of the United Nations (2018). *The state of the world's forests: forest pathways to sustainable development*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). https://n9.cl/v8u84

Food and Agriculture Organization of the United Nations (2020). *Global Forest Resources Assessment 2020*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). https://n9.cl/pp5gu

Food and Agriculture Organization of the United Nations (2022a). *FAO yearbook of forest products 2020*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). https://n9.cl/hx5gc

Food and Agriculture Organization of the United Nations (2022b). *Forest products trade and marketing*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). https://n9.cl/70g5d

Forbes, T., Rossiter, D. & Wambeke, V. (1987). *Guidelines for evaluating the adequacy of soil resource inventories*. https://www.css.cornell.edu/faculty/dgr2/_static/files/pdf/AdequacyGuidelines1982.pdf

Garavito, F. (1979). *Propiedades químicas de los suelos* (2.ª ed). Ministerio de Hacienda y Crédito Público, Instituto Geográfico "Agustín Codazzi" (IGAC), Subdirección Agrológica.

Gómez, E.A, Ríos, L.A. y Peña, J.D. (2012). Madera: un potencial material lignocelulósico para la producción de biocombustibles en Colombia. *Inf Tecnol*, *23*(6), 73-86. DOI: http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642012000600009

Grupo de Investigación Sostenibilidad, Infraestructura y Territorio (2014). *Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá*. Grupo de Investigación Sostenibilidad, Infraestructura y Territorio (SITE), Universidad EIA. https://catalogofloravalleaburra.eia.edu.co/

Harms, B., Brough, D., Philip, S., Bartley, R., Clifford, D., Thomas, M., Willis, R., & Gregory, L. (2015). Digital soli assessment for regional agricultural land evaluation. *Glob Food Sec*, *5*, 25-36. DOI: https://doi.org/10.1016/j.gfs.2015.04.001

Instituto Colombiano de Antropología e Historia (2019). *Parques y áreas arqueológicas protegidas*. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Antropología e Historia (Icanh). Recuperado de https://n9.cl/j0a8p

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2010). *Estudio nacional del agua 2010*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). https://n9.cl/d8gxj

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2015). *Estudio nacional del agua 2014*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). https://n9.cl/3e10e

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2011). *Resolución 0070 de 2011, por la cual se reglamenta técnicamente la formación catastral, la actualización de la formación catastral y la conservación catastral*. Diario Oficial 47986. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Klingebiel, A.A. & P.H. Montgomery (1961). *Land-capability classification: agriculture handbook n.º 210*. United States Department of Agriculture (USDA), Soil Conservation Service.

Mackey, B. (2005). La integridad ecológica: un compromiso hacia la vida en la Tierra. En Corcoran, P.B., Vilela, M. y Roerink, A. (Eds.) *La carta de la tierra en acción: hacia un mundo sostenible* (pp. 67-71). KIT Publishers BV.

Malagón, D. y Montenegro, H. (1990). *Propiedades físicas de los suelos*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2012). *Resolución 148 de 2012, por la cual el MADR delega a Finagro la evaluación, verificación de campo, seguimiento y control del plan de establecimiento y manejo forestal - PEMF, y la realización del respectivo contrato de reforestación*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2014). *Resolución 411 de 2014, por la cual se modifica la Resolución 148 de 2012». Amplía la delegación establecida por el MADR a Finagro, en relación con la administración del CIF*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2018). *Resolución 0261 del 2018, por medio de la cual se define la Frontera Agrícola Nacional y se adopta al metodología para la identificación general*. Diario Oficial 50.632. Bogotá, Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2019a). *Resolución 0080 del 2019, por la cual se fija el listado de especies forestales a ser beneficiadas con el Certificado de Incentivo Forestal – CIF*. Diario Oficial 48733. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2019b). *Resolución 0189 de 2019, por la cual se adoptan los lineamientos de política para las plantaciones forestales con fines comerciales para la obtención de madera y su cadena productiva y el plan de acción 2018-2038 y se dictan otras disposiciones*. Diario Oficial 50.984. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2019c). *Resolución 0299 del 2019, por la cual se delegan unas funciones en el Director General, en el Jefe de la Oficina de Tecnologías de Información y Comunicaciones y en el Director Técnico de Uso Eficiente del Suelo y Adecuación de Tierras de la Unidad de*

Planificación de Tierras Rurales, Adecuación de Tierras y Usos Agropecuarios – UPRA. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2020). *Resolución 255 de 2020, por la cual se establece el valor de los costos de establecimiento y mantenimiento de plantaciones forestales comerciales, el valor de los costos de mantenimiento de bosque natural asociados al proyecto de reforestación y se fija el incentivo por árbol, para efectos del Incentivo Forestal para la vigencia 2021*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2021a). Resolución 1294 de 2021, *por la cual se establecen los lineamientos para el desarrollo de actividades agropecuarias de bajo impacto y ambientalmente sostenibles en páramos y se adoptan otras disposiciones*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2021b). *Cadena forestal*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). https://n9.cl/bwy84

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2021c). *Resolución 0324 de 2021, por la cual se señala el valor de los costos de establecimiento y mantenimiento de plantaciones forestales comerciales, el valor de los costos de mantenimiento de bosque natural asociados al proyecto de reforestación y se fija el incentivo por árbol, para efectos del Incentivo Forestal para el año 2022*. Diario Oficial 51.842. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2013a). *Resolución 1922 de 2013, por la cual se adopta la zonificación y el ordenamiento de la Reserva Forestal Central, establecida en la Ley 2ª de 1959, y se toman otras determinaciones*. Diario Oficial 49.053. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2013b). *Resolución 1923 de 2013, por la cual se adopta la zonificación y ordenamiento de la Reserva Forestal de la Serranía de los Motilones, establecida en la Ley 2ª de 1959, y se toman otras determinaciones*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2013c). *Resolución 1924 de 2013, por la cual se adopta la zonificación y el ordenamiento de la Reserva Forestal del río Magdalena, establecida en la Ley 2ª de 1959, y se toman otras*

determinaciones. *Diario Oficial 49.053*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2013d). *Resolución 1925 de 2013, por la cual se adopta la zonificación y el ordenamiento de la Reserva Forestal de la Amazonia, establecida en la Ley 2ª de 1959, en los departamentos de Caquetá, Guaviare y Huila y se toman otras determinaciones*. Diario Oficial 49.053. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2013e). *Resolución 1926 de 2013, por la cual se adopta la zonificación y el ordenamiento de la Reserva Forestal del Pacífico, establecida en la Ley 2ª de 1959, y se toman otras determinaciones*. Diario Oficial 49.053. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2014a). *Resolución 1275 de 2014, por la cual se adopta la zonificación y el ordenamiento de la Reserva Forestal del Cocuy, establecida en la Ley 2ª de 1959, y se toman otras determinaciones*. Diario Oficial 49.255. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2014b). *Resolución 1276 de 2014, por la cual se adopta la zonificación y el ordenamiento de la Reserva Forestal de la Sierra Nevada de Santa Marta, establecida en la Ley 2ª de 1959, y se toman otras determinaciones*. Diario Oficial 49.255. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2014c). *Resolución 1277 de 2014, por la cual se adopta la zonificación y el ordenamiento de la Reserva Forestal de la Amazonia, establecida en la Ley 2ª de 1959, en los departamentos de Amazonas, Cauca, Guainía, Putumayo y Vaupés y se toman otras determinaciones*. Diario Oficial 49.255. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018). *Resolución 0886 de 2018, por la cual se adoptan los lineamientos para la zonificación y régimen de usos en las áreas de páramos delimitados y se establecen las directrices para diseñar, capacitar y poner en marcha programas de sustitución y reconversión de las actividades agropecuarias y se toman otras determinaciones*. Diario Oficial 50.603. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

Ministerio de Cultura (2011). *Resolución 2079 de 2011, por la cual se reconoce el Paisaje Cultural Cafetero como Patrimonio Cultural de la Nación y como bien inscrito en la lista de Patrimonio Mundial de la UNESCO*. Diario Oficial 48.226. Ministerio de Cultura.

Ministerio del Medio Ambiente (1995). *Resolución 1602 de 1995, por medio de la cual se dictan medidas para garantizar la sostenibilidad de los manglares en Colombia*. Ministerio del Medio Ambiente (MMA).

Muro, J.I., De Souza, D.P., De Souza, H.P., De Souza, J.L., Garcia, G. y Cancio, O. (2021). Reporte de descripción técnico-científica del *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake introducido en Guatemala. *Revista Naturaleza, Sociedad y Smbiente, 8*(1), 1-13. DOI: https://doi.org/10.37533/cunsurori.v8i1.57

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (1990). *Evaluación de tierras para la agricultura de regadío: directivas. Boletín de suelos 55*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2003). *Evaluación de tierras con metodologías de FAO: documento de trabajo*. Santiago, Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (1971). *Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitat de Aves Acuáticas*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco). https://n9.cl/047nh

Organización Internacional del Trabajo (2014). *Convenio Núm. 169 de la OIT sobre pueblos indígenas y tribales en países independientes: declaración de las Naciones Unidas sobre los derechos de los pueblos indígenas*. Organización Internacional del Trabajo (OIT), Oficina Regional para América Latina y el Caribe. https://n9.cl/jkso

Organización Meteorológica Mundial y Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2012). *Glosario hidrológico internacional*. Organización Meteorológica Mundial (OMM). https://n9.cl/7k8qk

Ortiz-Lozano, L., Granados-Barba, A. & Espejel, I. (2009). Ecosystemic zonification as a management tool for marine protected areas in the coastal zone: applications for the Sistema Arrecifal Veracruzano National Park, México. *Ocean Coast Manage*, *52*(6), 317-323. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2009.03.004

Pandey, D. (1987). Noticia técnica de Unasylva: modelo para el estudio del rendimiento de las plantaciones en las zonas tropicales. *Unasylva*, *39*(157-158). https://www.fao.org/3/s4550s/s4550s0b.htm

Porter, M. (1980). *Competitive strategy: techniques for analyzing industries and competitors*. Free Press.

Porter, M. (1985). *The competitive advantage: creating and sustaining superior performance*. Free Press.

Presidencia de la República de Colombia (1974). *Decreto 2811 de 1974, por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente*. Diario Oficial 34.243. Presidencia de la República de Colombia.

Presidencia de la República (1976). *Decreto 877 de 1976, por el cual se señalan prioridades referentes a los diversos usos del recurso forestal, a su aprovechamiento y al otorgamiento de permisos y concesiones y se dictan otras disposiciones*. Diario Oficial 34.568. Presidencia de la República.

Presidencia de la República de Colombia (1977a). *Decreto 622 de 1977, por el cual se reglamentan parcialmente el capítulo V, título II, parte XIII, libro II del Decreto-Ley número 2811 de 1974 sobre «sistema de parques nacionales»; la Ley 23 de 1973 y la Ley 2a de 1959*. Diario Oficial 34.759. Presidencia de la República de Colombia.

Presidencia de la República de Colombia (1977b). *Decreto 1449 de 1977, por el cual se reglamentan parcialmente el inciso 1 del numeral 5 del artículo 56 de la Ley número 135 de 1961 y el Decreto-ley número 2811 de 1974*. Diario Oficial 34.827. Presidencia de la República de Colombia.

Presidencia de la República de Colombia (1989a). *Decreto 1989 de 1989, por el cual se declara Área de Manejo Especial La Macarena, la Reserva Sierra de La Macarena, se clasifica y zonifica su territorio y se fijan sus límites reales*. Diario Oficial 38.963. Presidencia de la República de Colombia.

Presidencia de la República de Colombia (1989b). *Ley 37 de 1989, Por la cual se dan las bases para estructurar el Plan Nacional de Desarrollo Forestal y se crea el Servicio Forestal*. Diario Oficial 38.761. Presidencia de la República de Colombia.

Presidencia de la República de Colombia (1994). *Decreto 1824 de 1994, por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 139 de 1994*. Diario Oficial 41.473. Presidencia de la República de Colombia.

Presidencia de la República de Colombia (1995). *Decreto 2164 de 1995, por el cual se reglamenta parcialmente el Capítulo XIV de la Ley 160 de 1994 en lo relacionado con la dotación y titulación de tierras a las comunidades indígenas para la constitución, reestructuración, ampliación y saneamiento de los Resguardos Indígenas en el territorio nacional*. Diario Oficial 42.140. Presidencia de la República de Colombia.

Presidencia de la República de Colombia (1996). *Decreto 1791 de 1996, por medio del cual se establece el régimen de aprovechamiento forestal*. Diario Oficial 42.894. Presidencia de la República de Colombia.

Presidencia de la República de Colombia (2002). *Decreto 833 de 2002, por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 397 de 1997 en materia de Patrimonio Arqueológico Nacional y se dictan otras disposiciones*. Diario Oficial 44786. Presidencia de la República de Colombia.

Presidencia de la República de Colombia (2007). *Decreto 3600 de 2007, por el cual se reglamentan las disposiciones de las Leyes 99 de 1993 y 388 de 1997 relativas a las determinantes de ordenamiento del suelo rural y al desarrollo de actuaciones urbanísticas de parcelación y edificación en este tipo de suelo y se adoptan otras disposiciones*. Diario Oficial 46.757. Presidencia de la República de Colombia.

Presidencia de la República de Colombia (2008). *Decreto 1498 de 2008, por el cual se reglamenta el parágrafo 3° del artículo 5° de la Ley 99 de 1993 y el artículo 2° de la Ley 139 de 1994*. Diario Oficial 46.982. Presidencia de la República de Colombia.

Presidencia de la República de Colombia (2010). *Decreto 2372 de 2010, por el cual se reglamenta el Decreto-ley 2811 de 1974, la Ley 99 de 1993, la Ley 165 de 1994 y el Decreto-ley 216 de 2003, en relación con el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, las categorías de manejo que lo conforman y*

se dictan otras disposiciones. Diario Oficial 47.757. Presidencia de la República de Colombia.

Presidencia de la República de Colombia (2011a). *Decreto-Ley 4145 de 2011, por el cual se crea la Unidad de Planificación de Tierras Rurales, Adecuación de Tierras y Usos Agropecuarios - UPRA y se dictan otras disposiciones*. Diario Oficial 48.242. Presidencia de la República de Colombia.

Presidencia de la República de Colombia (2011b). *Decreto-Ley 3570 de 2011, por el cual se modifican los objetivos y la estructura del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y se integra el Sector Administrativo de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Diario Oficial 48.205. Presidencia de la República de Colombia.

Presidencia de la República de Colombia (2012a). *Decreto 1640 de 2012, por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones*. Diario Oficial 48.510. Presidencia de la República de Colombia.

Presidencia de la República de Colombia (2012b). *Decreto 019 de 2012, por el cual se dictan normas para suprimir o reformar regulaciones, procedimientos y trámites innecesarios existentes en la Administración Pública*. Diario Oficial 48.308. Presidencia de la República de Colombia.

Presidencia de la República de Colombia (2012c). *Decreto 2448 de 2012, por el cual se modifica parcialmente el Decreto número 1824 de 1994*. Diario Oficial. 48.633. Presidencia de la República de Colombia.

Presidencia de la República de Colombia (2015a). *Decreto 1076 de 2015, por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Diario Oficial 49523. Presidencia de la República de Colombia.

Presidencia de la República de Colombia (2015b). *Decreto 1071 de 2015, por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo Agropecuario, Pesquero y de Desarrollo Rural*. Dirario Oficial 49.523. Presidencia de la República de Colombia.

Presidencia de la República de Colombia (2019). *Decreto 2398 de 2019, por el cual se sustituye el Título 3 de la Parte 3 del Libro 2 del Decreto Único Reglamentario del Sector Agropecuario, Pesquero y de Desarrollo Rural*

1071 de 2015, relacionado con el certificado de movilización de plantaciones forestales comerciales. Diario Oficial 51.179. Presidencia de la República de Colombia.

Presidencia de la República de Colombia (2020). *Decreto 130 de 2020, por el cual se sustituye el Título 1 de la Parte 3 del Libro 2 del Decreto 1071 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Agropecuario, Pesquero y de Desarrollo Rural, relacionado con el Certificado de Incentivo Forestal -CIF*. Diario Oficial 51.212. Presidencia de la República de Colombia.

Rodiek, J. (2009). Landscape an urban planning cover for 2009. *Landsc Urban Plan*, *89*(1-2), 1-2. DOI: https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.10.001

Rossiter, D. (2009). Land evaluation: towards a revised framework; Land and Water Discussion Paper 6, FAO. FAO, Rome (2007), 107 pp., ISSN: 1729-0554; Only available in PDF format as www.fao.org/nr/lman/docs/lman_070601_en.pdf; free. *Geoderma*, *148*(3-4), 428-429. DOI: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.11.001

Salvagiotti, F., Specht, J.E., Cassman, K.G., Walters, D.T., Weiss, A. & Dobermann, A. (2009). Growth and nitrogen fixation in high-yielding soybean: impact of nitrogen fertilization. *Agronomy Journal*, *101*(4), 958-970. https://doi.org/10.2134/agronj2008.0173x

Servicio Geológico Colombiano (2023). *Evaluación de amenaza por movimientos en masa*. Servicio Geológico Colombiano (SGC). https://n9.cl/4xh57

Siraj, S., Mikhalilov, L., y Keane, J. (2013). PriEsT: An interactive decision support too to estimate priorities from pairwise comparison judgments. *International Transactions in Operational Research*, *22*(2), 217-235.

Soil Science Society of America (2018). *Glossary of soil science terms. Term of the day: thermal gravimetric analysis (TGA)*. Soil Science Society of America (SSSA). Recuperado de https://n9.cl/aeca3

Soil Survey Staff (2014). *Claves para la taxonomía de suelos* (12.ª ed.). U.S. Department of Agriculture (USDA), Natural Resources Conservation Service. https://n9.cl/z5h7x

TradeMap (2022). *44-Wood and articles of wood; wood charcoal: Colombia*. International Trade Centre. https://www.trademap.org

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria y Universidad Nacional de Colombia (2013). *Evaluación de tierras para la zonificación con fines agropecuarios a nivel nacional: metodología a escala general (1:100.000)*. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). http://hdl.handle.net/20.500.12324/36447

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (2014). *Metodología de zonificación de aptitud para plantaciones forestales a escala semidetallada 1:25.000*. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (2016). *Metodología de zonificación de aptitud para plantaciones forestales comerciales a escala semidetallada (1:25.000)*. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (2017). *Lineamientos para la implementación de la estrategia de ordenamiento territorial agropecuario*. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (2019). *Metodología de evaluación de tierras para la zonificación con fines agropecuarios a escala general*. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

7. Fichas metodológicas de criterios y variables

Tabla de contenido

1. Fichas metodológicas del componente físico 268
1.1. **Criterio *condiciones climáticas*** 268
1.1.1. Variable *temperatura media anual* 277
1.1.2. Variable *índice de disponibilidad de humedad para el cultivo (IDHC)* 285
1.1.3. Variable *meses secos consecutivos* 290
1.1.4. Variable *brillo solar medio diario anual* 294
1.2. **Criterio *disponibilidad de nutrientes*** 298
1.2.1. Variable *acidez (pH)* 305
1.2.2. Variable *saturación de bases* 311
1.2.3. Variable *carbono orgánico* 315
1.2.4. Variable *capacidad de intercambio catiónico (CIC)* 315
1.3. **Criterio *toxicidad por sales, sodio y aluminio*** 326
1.3.1. Variable *salinidad y sodicidad* 332
1.3.2. Variable *saturación de aluminio* 337
1.4. **Criterio *condiciones de enraizamiento*** 342
1.4.1. Variable *profundidad efectiva* 346
1.4.2. Variable *textura* 351
1.4.3. Variable *pedregosidad* 356
1.5. **Criterio *disponibilidad de oxígeno*** 360
1.5.1. Variable *susceptibilidad de inundaciones* 362
1.5.2. Variable *drenaje natural* 368
1.6. **Criterio *disponibilidad de humedad*** 372
1.6.1. Variable *régimen de humedad* 373
1.6.2. Variable *textura* 381
1.7. **Criterio *capacidad de laboreo*** 386

1.7.1. Variable *pendiente* 390
1.7.2. Variable *textura* 394
1.7.3. Variable *pedregosidad* 398
1.8. **Criterio *susceptibilidad a la pérdida de suelos*** 403
2. Fichas metodológicas del componente socioecosistémico 410
2.1. **Criterio *integridad ecológica*** 410
2.1.1. Variable *fragmentación y conectividad estructural de las coberturas naturales (FCECN)* 421
2.1.2. Variable *índice de naturalidad (INAT)* 437
2.1.3. Variable *áreas de concentración de especies sensibles (ACES)* 442
2.2. **Criterio *apropiación del agua*** 452
2.2.1. Variable *diferencia del uso consuntivo* 462
2.2.2. Variable *diferencia del uso del agua* 472
2.3. **Criterio *variación del contenido estimado de carbono*** 481
2.4. **Criterio *cambio de cobertura*** 506
2.5. **Criterio *susceptibilidad de la cobertura vegetal a incendios*** 527
2.5.1. Variable *condiciones de pirogenicidad de las coberturas* 535
2.5.2. Variable *influencia del fuego sobre los ecosistemas* 555
2.6. **Criterio *potencial de absorción de nitrógeno*** 564
3.Fichas metodológicas del componente socioeconómico 570
3.1. **Criterio *infraestructura y logística*** 570
3.1.1. Variable *existencia de plantaciones* 583
3.1.2. Variable *cercanía a las plantas de transformación* 591
3.1.3. Variable *movilización de madera* 598
3.1.4. Variable *cercanía a los viveros registrados* 607
3.1.5. Variable *cercanía a las vías* 611
3.1.6. Variable *costos de movilización* 616
3.1.7. Variable *cercanía a los puertos fluviales* 620

3.1.8. Variable *cercanía a los centros de servicios* 624
3.1.9. Variable *cercanía a los puertos marítimos* 629
3.1.10. Variable *cobertura de internet móvil* 633
3.1.11. Variable *energía eléctrica rural* 639
3.2. **Criterio *dinámica del mercado de tierras*** 649
3.2.1. Variable *tendencia a la formalidad* 655
3.2.2. Variable *tamaño predial rural* 661
3.2.3. Variable *avalúo catastral rural* 669
3.2.4. Variable *arriendo rural* 676
3.3. **Criterio *institucionalidad y asociatividad*** 682
3.3.1. Variable *cercanía al ICA* 687
3.3.2. Variable *cercanía a las CAR* 691
3.3.3. Variable *presencia del gremio* 695
3.3.4. Variable *asociaciones de empresas privadas* 699
3.3.5. Variable *cercanía a Agrosavia* 703
3.4. **Criterio *disponibilidad de mano de obra*** 707
3.4.1. Variable *densidad de la población en edad de trabajar* 712
3.4.2. Variable *oferta educativa técnica y tecnológica* 719
3.4.3. Variable *oferta educativa universitaria* 725
3.5. **Criterio *indicadores económicos*** 730
3.5.1. Variable *valor agregado forestal municipal* 735
3.5.2. Variable *créditos otorgados* 740
3.5.3. Variable *programas de desarrollo con enfoque territorial (PDET)* 745
3.5.4. Variable *zonas más afectadas por el conflicto armado (ZOMAC)* 750
3.5.5. Variable *desempeño municipal* 754
3.6. **Criterio *seguridad ciudadana*** 765
3.6.1. Variable *extorsiones rurales* 770
3.6.2. Variable *hurtos rurales* 775

3.6.3 Variable *secuestros rurales* 780
3.6.4. Variable *homicidios rurales* 785
3.6.5 Variable *decomisos de madera comercial* 790
3.7. **Criterio *condiciones de vida*** 794
3.7.1. Variable *trabajo* 800
3.7.2. Variable *salud* 806
3.7.3. Variable *condiciones educativas del hogar* 812
3.7.4. Variable *condiciones de vivienda y acceso a servicios públicos* 818
3.7.5. Variable *condiciones de la niñez y de la juventud* 824
4. Fichas metodológicas de exclusiones legales 830
4.1. **Criterio *exclusiones legales*** 830
4.1.1. Variable *ecosistemas estratégicos (páramos)* 839
4.1.2. Variable *áreas protegidas* 843
4.1.3. Variable *planes de ordenación forestal* 848
4.1.4. Variable *parques arqueológicos* 852
4.1.5. Variable *zonas de reserva forestal nacional, Ley 2 de 1959, tipo A* 856
5.Fichas metodológicas de condiciones legales 860
5.1. **Criterios *condicionantes legales*** 860
5.1.1. Variable *ecosistemas estratégicos* 865
5.1.2. Variable *áreas protegidas* 870
5.1.3. Variable *planes de ordenación forestal* 875
5.1.4. Variable *zonas de reserva forestal nacional, Ley 2 de 1959, tipos B y C* 880
5.1.5. Variable *distinciones internacionales* 885
5.1.6. Variable *áreas de interés cultural y social* 890
5.1.7. Variable *agricultura de bajo impacto* 898
5.1.8.Variable *gestión de riesgo* 902

1. Fichas metodológicas del componente físico

1.1. Criterio *condiciones climáticas*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: físico. Subcomponente: climático		
Criterio: *condiciones climáticas*		
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	✓
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Variables asociadas al criterio

Temperatura media anual, expresada en grados centígrados (°C).
Índice de disponibilidad de humedad para el cultivo (IDHC), expresado como índice.
Meses secos consecutivos, expresados en número de meses.
Brillo solar medio diario anual, expresado en horas sol por día.

Definición

Conjunto de propiedades del sistema climático, definidas como variables, que interactúan en las capas inferiores de la atmósfera, lo cual afecta directamente la fisiología de las plantas (UPRA, 2013; FAO, 1976).

Importancia del criterio

Incide en la fisiología de las especies forestales priorizadas (coníferas y latifoliadas) que afectan la tasa fotosintética, la respiración, la actividad enzimática, la nutrición mineral, la absorción, el transporte del agua y el metabolismo del nitrógeno, los cuales condicionan la posibilidad del establecimiento, crecimiento, desarrollo y producción de especies forestales (Campos, 2005; Doorembos y Kassam, 1979).

Limitantes de la evaluación del criterio

Debido a que no está disponible la normal climatológica 1981-2010 para algunas estaciones meteorológicas operadas por el Ideam que registran los diferentes parámetros del clima —por ejemplo, la evapotranspiración de referencia—, se generaron inconvenientes para conocer la distribución espacial más detallada y actualizada del clima en algunas regiones productoras de especies forestales en el país.

Metodología de evaluación

El criterio se definió a partir de un árbol de decisión en el que se integraron las variables *temperatura media anual*, *índice de disponibilidad de humedad para el cultivo (IDHC)* en función de la precipitación total y la evapotranspiración de los cultivos forestales (coníferas y latifoliadas) y *brillo solar medio diario anual*, construidas a partir de las normales climatológicas de los años 1981 y 2010 del Ideam.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

Este criterio presenta los siguientes rangos de aptitud, con base en la comparación de rangos, a través de un árbol de decisión:

Integración de la humedad

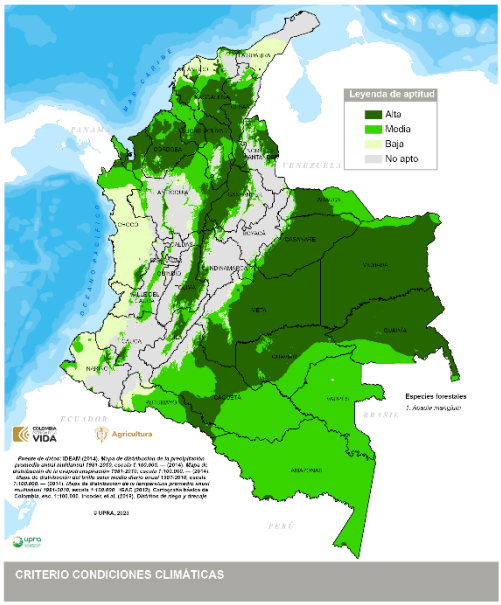
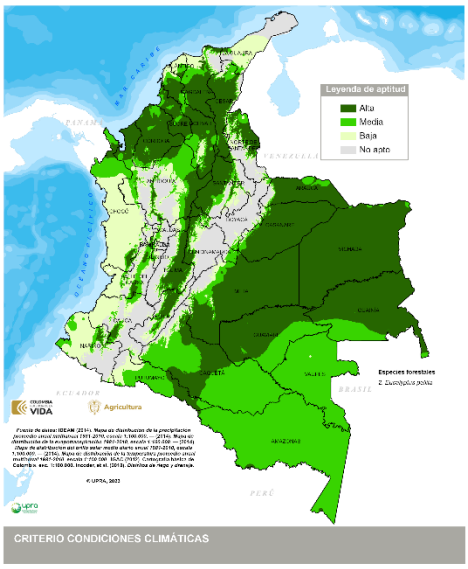
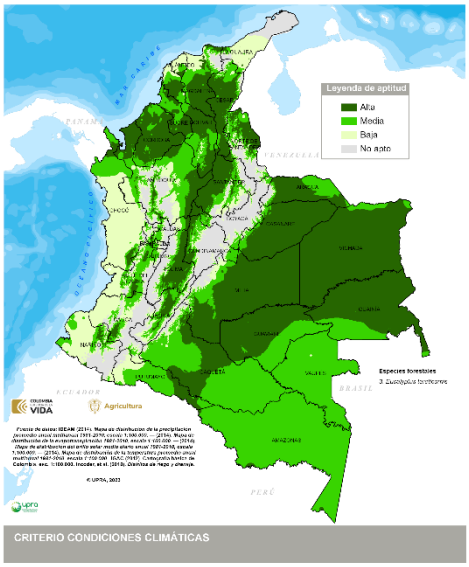
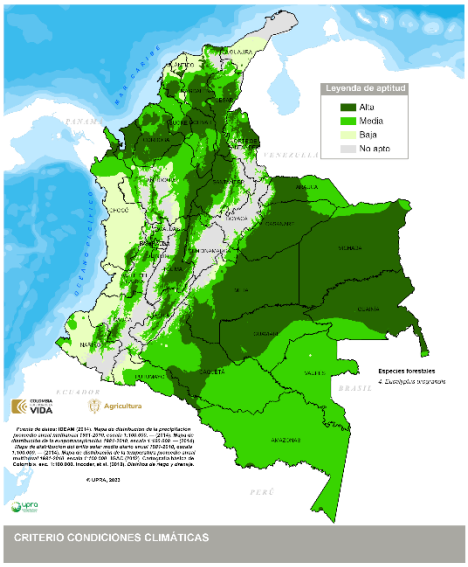
Índice de disponibilidad de humedad para el cultivo (IDHC): excesos	Meses secos consecutivos	Distritos de riego	Integración humedad
A1	A1	Sin distrito	A1
	A2	Sin distrito	A1
	A3	Sin distrito	A3
A2	A1	Sin distrito	A2
	A2	Sin distrito	A2
	A3	Sin distrito	A3
A3	A1	Sin distrito	A3
	A2	Sin distrito	A3
	A3	Sin distrito	A3
N1	Cualquiera	Sin distrito	N1
Cualquiera	Cualquiera	Con distrito	A1

Árbol de decisión

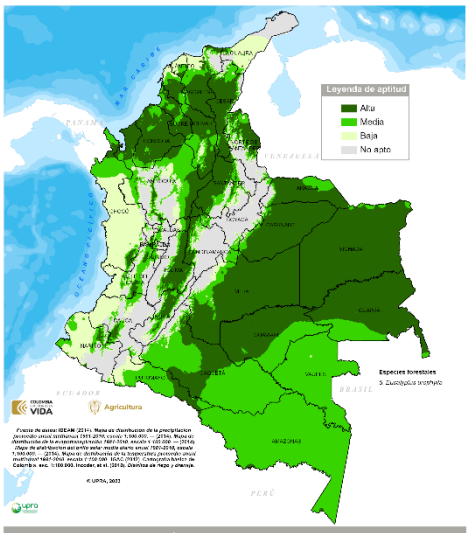
Temperatura	Integración de la humedad	Brillo solar medio diario anual	Aptitud
A1	A1	A1	A1
		A2	A1
		A3	A3
	A2	A1	A2
		A2	A2
		A3	A3
	A3	A1	A3
		A2	A3
		A3	A3
A2	A1	A1	A2
		A2	A2

		A3	A3
	A2	A1	A2
		A2	A2
		A3	A3
	A3	A1	A3
		A2	A3
		A3	A3
A3	A1	A1	A3
		A2	A3
		A3	A3
	A2	A1	A3
		A2	A3
		A3	A3
	A3	A1	A3
		A2	A3
		A3	A3
Cualquiera	N1	Cualquiera	N1
N1	Cualquiera	Cualquiera	N1

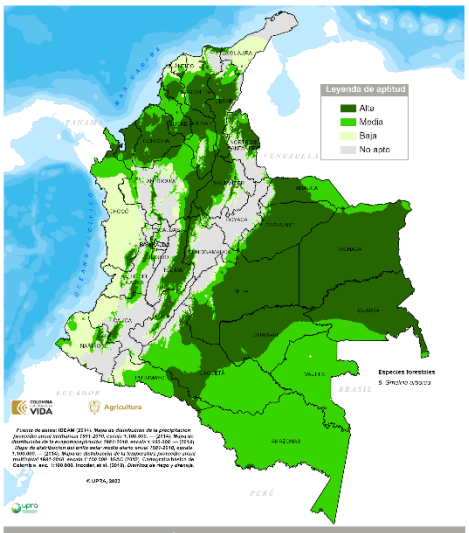
Representación cartográfica del criterio

Acacia mangium 	*Eucalyptus pellita* 
Eucalyptus tereticornis 	*Eucalyptus urugrandis* 

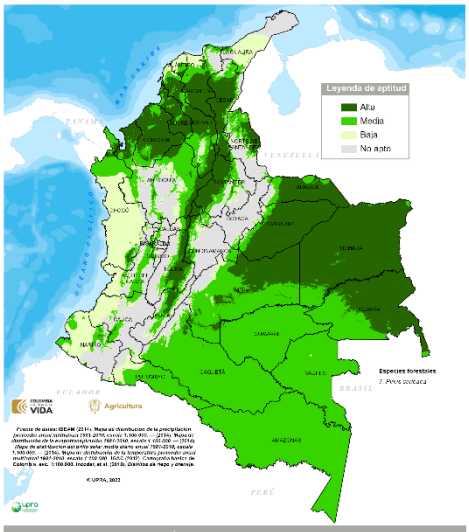
Eucalyptus urophylla



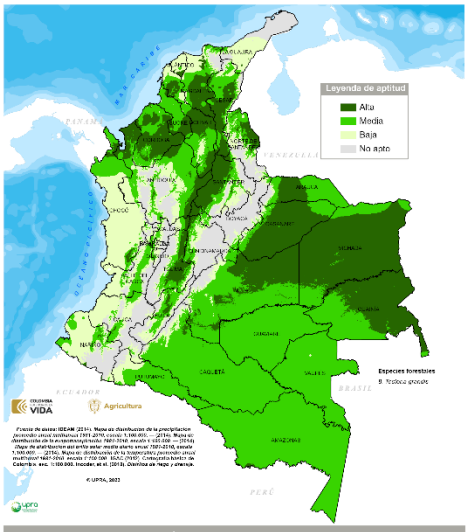
Gmelina arborea



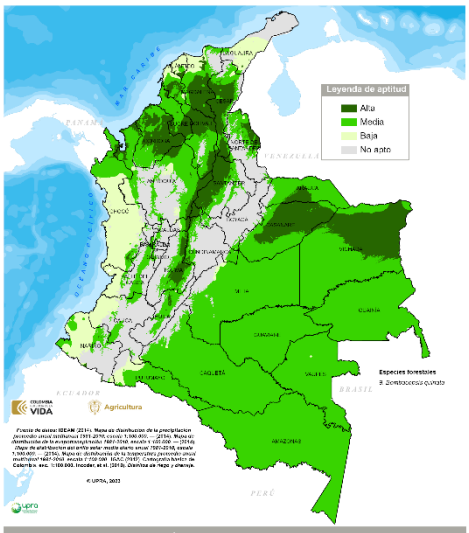
Pinus caribaea



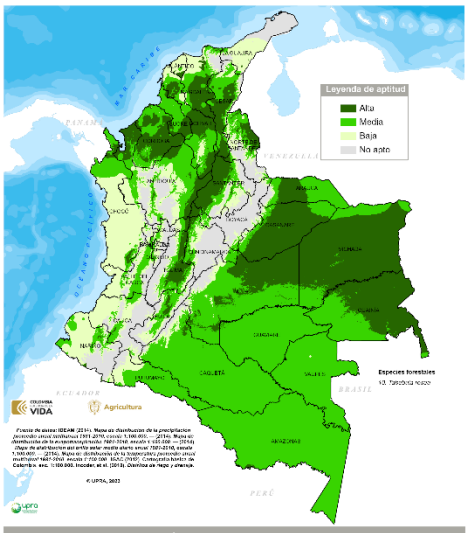
Tectona grandis



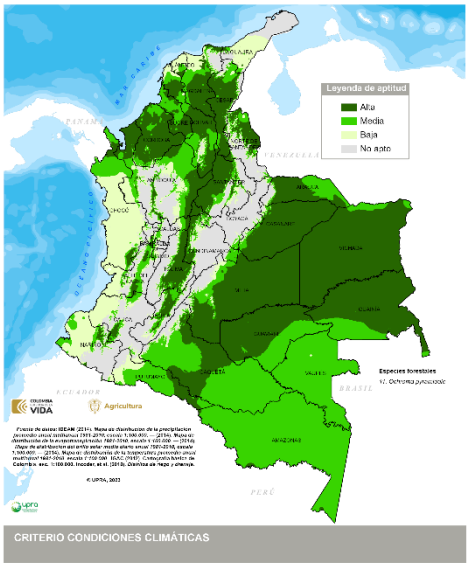
Bombacopsis quinata



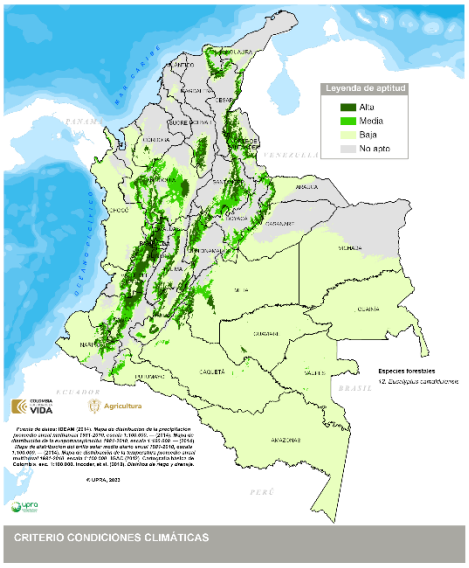
Tabebuia rosea



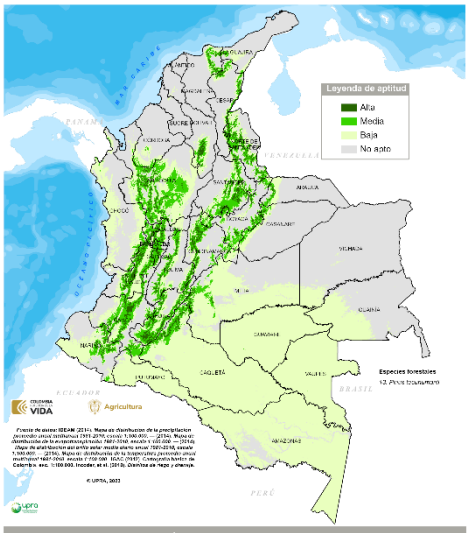
Ochroma pyramidale



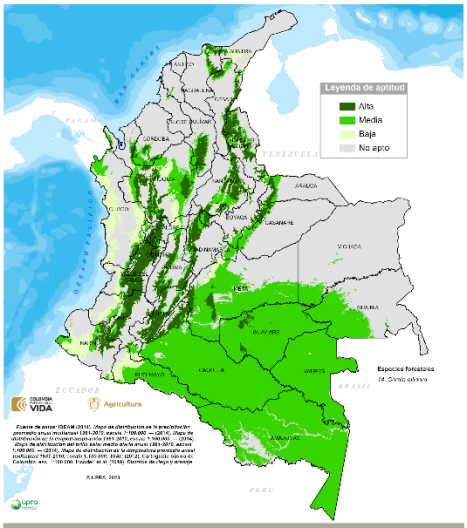
Eucalyptus camaldulensis



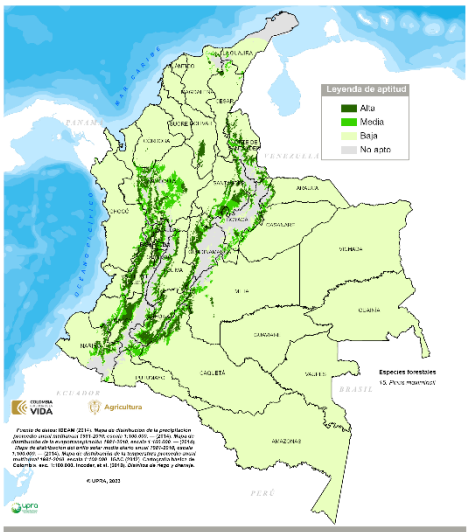
Pinus tecunumanii



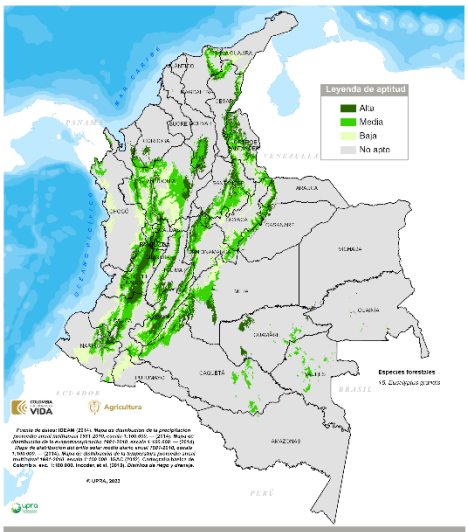
Cordia alliodora



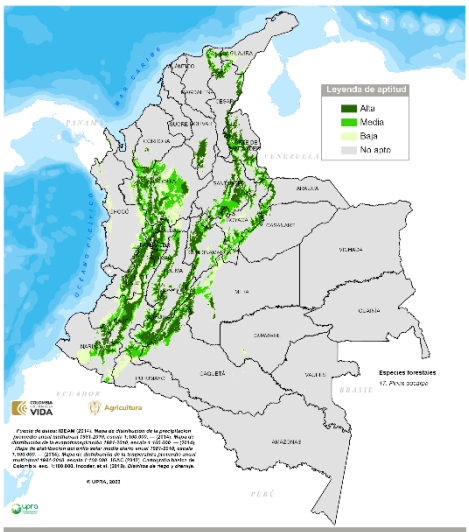
Pinus maximinoi



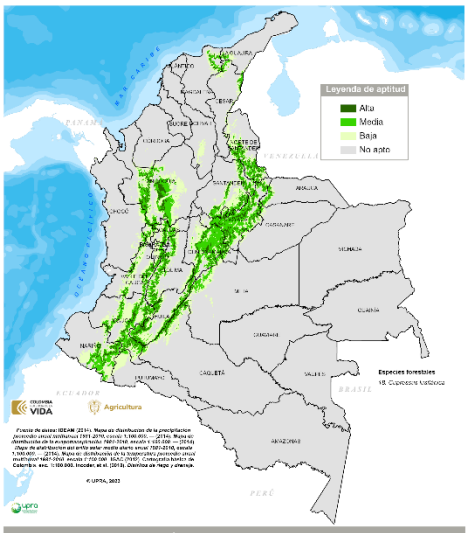
Eucalyptus grandis



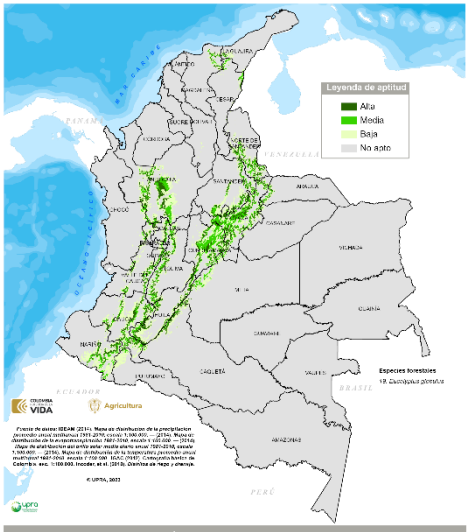
Pinus oocarpa



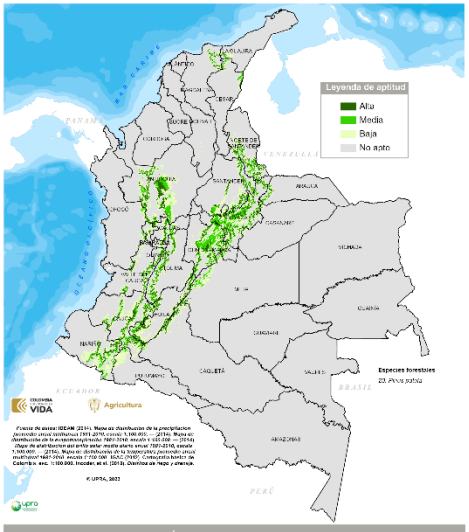
Cupressus lusitanica



Eucalyptus globulus



Pinus patula



Fuentes de información

Campos, D. (2005). *Agroclimatología cuantitativa de cultivos*. Trillas. https://n9.cl/hes1e

Cuesta *et al.* (2005). Metodología operativa para la obtención del coeficiente de cultivo desde imágenes de satélite. *ITEA, 101*(3), 212-224. https://n9.cl/g9ef9w

Doorembos, J., Kassam, A. (1979). *Yield response to water*. Estudio de riego y drenaje N°33, FAO.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (1976). *A framework for land evaluation*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI). https://edepot.wur.nl/149437

Fondo Nacional del Café y CeniCafé (2006). *Guías silviculturales*. Fondo Nacional del Café.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2014). *Mapa de distribución de la temperatura media anual, promedio multianual 1981-2010, escala: 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2014). *Mapa de distribución del brillo solar medio diario anual (horas), promedio multianual 1981-2010, escala: 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2014). *Tabla de promedios mensuales multianuales de precipitación, periodo 1981-2010*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales e Instituto Nacional Forestal (2002). *Guía de especies forestales de Nicaragua*. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (Marena).

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (2013). *Evaluación de tierras para la zonificación con fines agropecuarios: metodología a escala general (1:100.000)*. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA)

1.1.1. Variable *temperatura media anual*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: físico. Subcomponente: climático		
Criterio asociado: *condiciones climáticas*		
Variable: *temperatura media anual*	Unidad de medida: °C	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	✓
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Medida del estado térmico del aire con respecto a la habilidad de transmitir calor alrededor. Depende de la latitud y la altitud, y se toma como un índice de balance calórico expresado en grados centígrados (Ideam, 2014).

Importancia de la variable para el cultivo

La temperatura del aire ejerce un efecto en todos los procesos fisiológicos de las plantas. La velocidad de crecimiento está limitada por cierto rango de temperatura que comprende valores máximos y mínimo, fuera de los cuales aquella se afecta y cuyo valor óptimo se encuentra entre estos dos. Los efectos acumulativos de la temperatura tienen directa incidencia en el crecimiento y desarrollo de las especies forestales.

Para la evaluación de tierras es fundamental conocer la distribución espacial anual de la temperatura del aire ya que es la base para establecer áreas con condiciones térmicas diferenciales, lo cual permite diferenciar zonas con aptitudes alta, media, baja y no apta, para las 20 especies forestales contempladas.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

Los valores asignados para la construcción de rangos de temperatura se realizaron de acuerdo con los requerimientos térmicos de cada una de las especies forestales (FNC y CeniCafé, 2006; 2010; 2011; Marena e Inafor, 2002).

Especies	Temperatura media anual (°C)			
	A1	A2	A3	N1
Acacia mangium	>25	23-25	22-23	<22
Eucalyptus pellita	>24	22-24	19-22	<19
Eucalyptus tereticornis		20-24	17-20	<17
Eucalyptus urograndis		19-24	17-19	<17
Eucalyptus urophylla		21-24	19-21	<19
Gmelina arborea		22-24	20-22	<20
Pinus caribaea	>26	22-26	20-22	<20
Tectona grandis			18-22	<18
Bombacopsis quinata	>27	22-27	—	<22
Tabebuia rosea	>26	22-26	18-22	<18
Ochroma pyramidale	>24	22-24	20-22	<20
Eucalyptus camaldulensis	20-24	17-20	15-17 y 24-27	<15 y >27
Pinus tecunumanii	19-21	16-19 y 21-23	14-16 y 23-26	<14 y >26
Cordia alliodora	18-25	25- 26	17-18	<17 y >26
Pinus maximinoi	18-22	16-18	12-16 y >22	<12
Eucalyptus grandis	22-25	18-22	15-18	<15 y >25
Pinus oocarpa	18-23	16-18	14-16 y 23-24	<14 y >24
Cupressus lusitanica	14-16	10-14 y 16-18	8-10 y 18-22	<8 y >22
Eucalyptus globulus		12-14	10-12 y 16-19	<10 y >19
Pinus patula				

Limitantes de la evaluación de la variable

No se dispuso de una base de datos actualizada y normalizada de la información de temperatura de todo el territorio nacional generado por la red de estaciones meteorológicas, ya que la que se tiene sólo está hasta el año 2010. En consecuencia, el análisis espacial anual no reflejó la condición térmica actual del país.

Metodología del procesamiento de la información

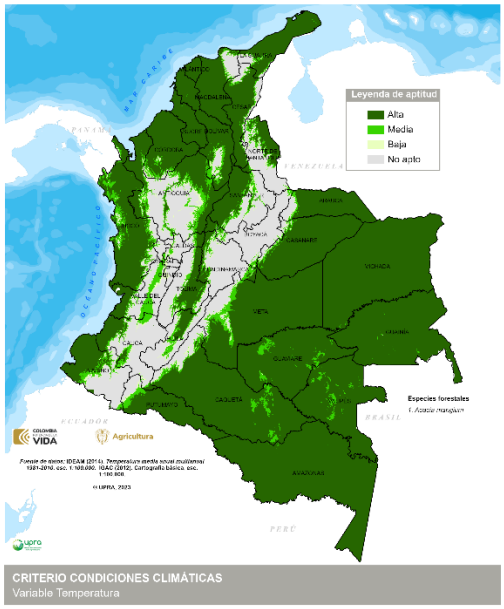
La información de base para las unidades térmicas se tomó del mapa de isotermas anuales elaborado por el Ideam en 2014 a escala 1:100.000 y basado en la serie histórica 1981-2010. Se realizó la delimitación a nivel espacial de acuerdo con los rangos establecidos por el equipo profesional de trabajo del componente físico, actividad que fue soportada por el grupo TIC de la UPRA.

Unidad de análisis

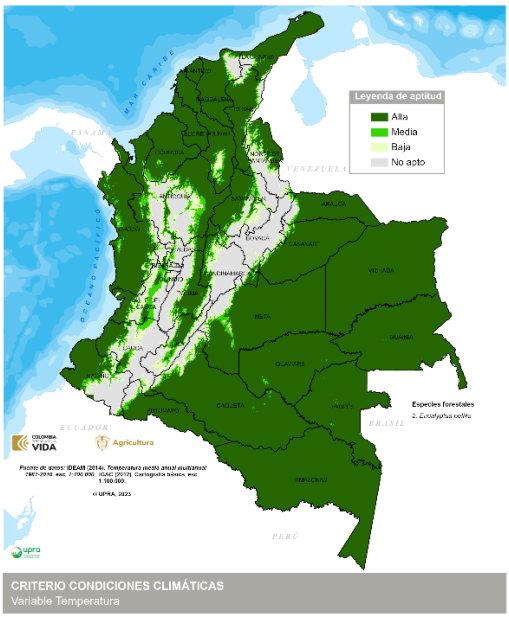
Distribución de la temperatura media anual en el territorio nacional.

Representación cartográfica de la variable

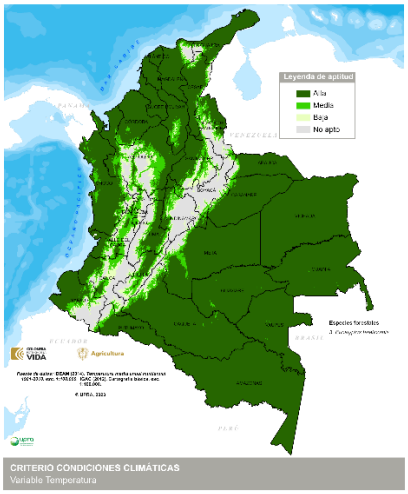
Acacia mangium



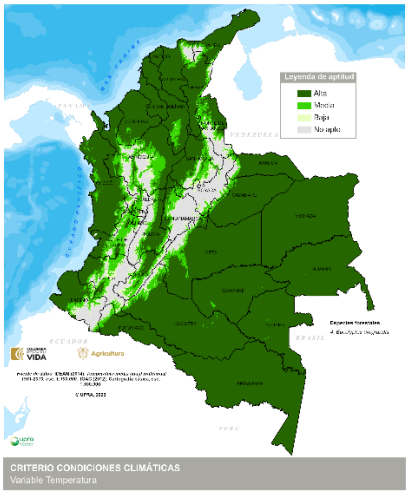
Eucalyptus pellita



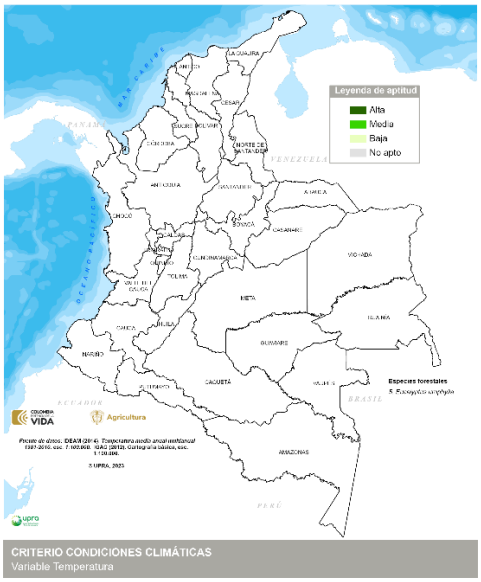
Eucalyptus tereticornis



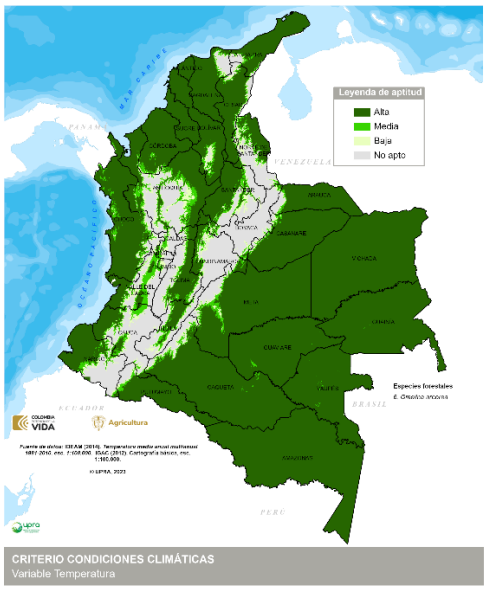
Eucalyptus urugrandis



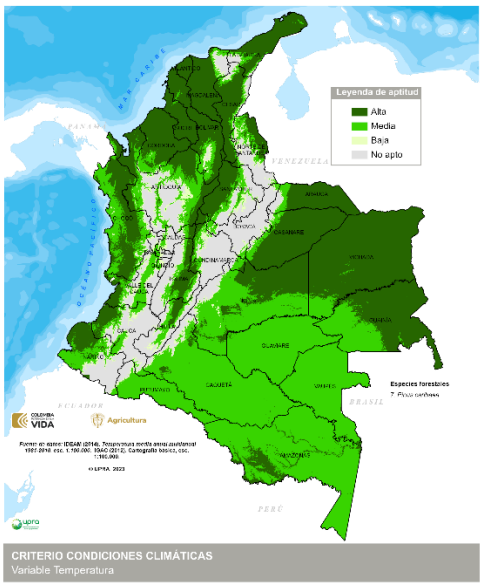
Eucalyptus urophylla



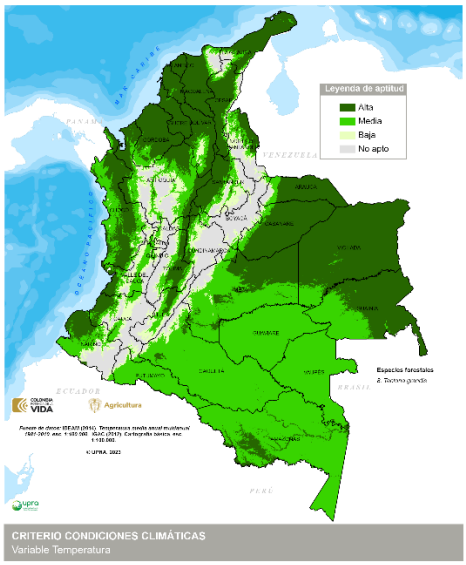
Gmelina arborea



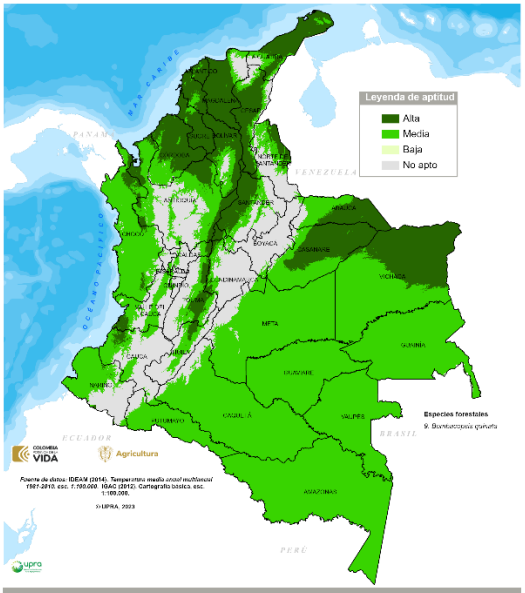
Pinus caribaea



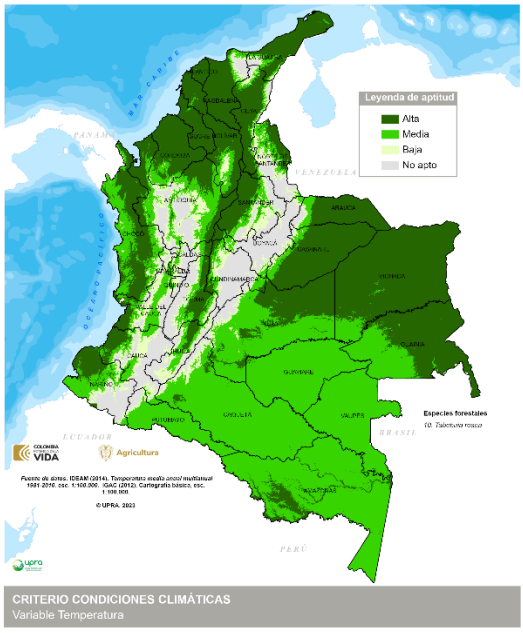
Tectona grandis



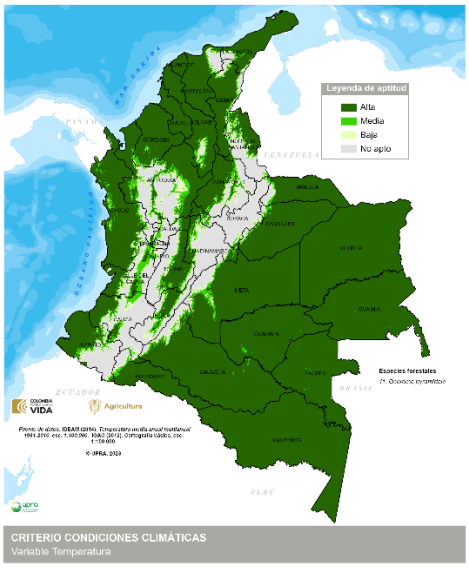
Bombacopsis quinata



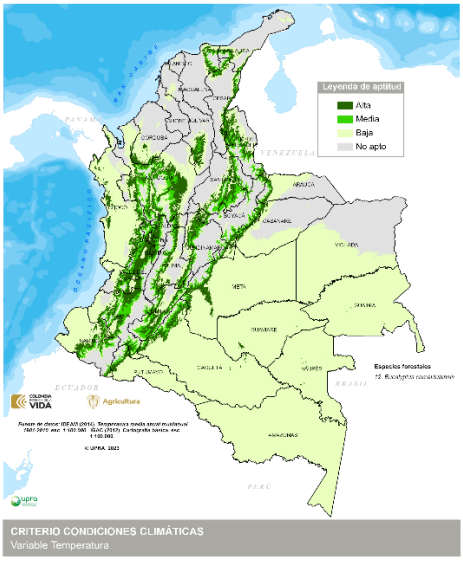
Tabebuia rosea



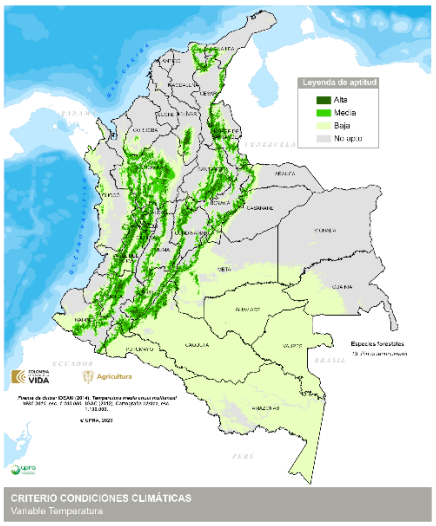
Ochroma pyramidale



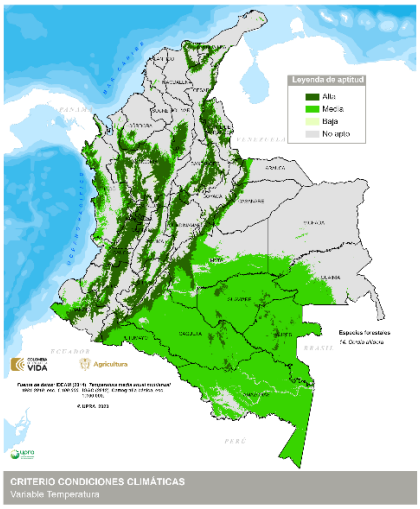
Eucalyptus camaldulensis



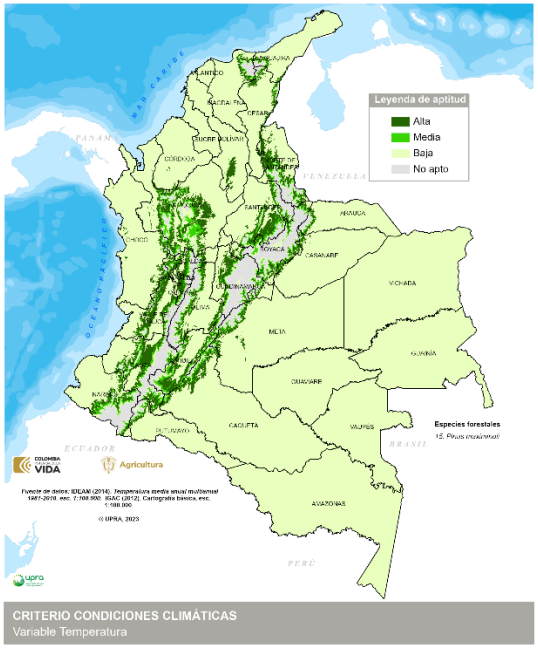
Pinus tecunumanii



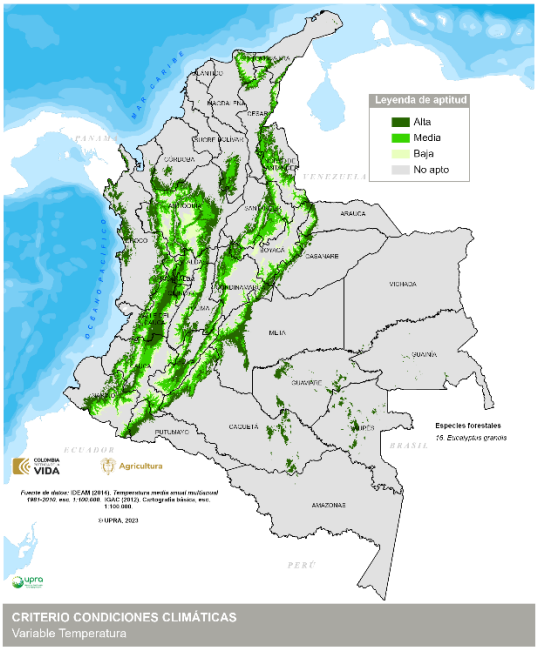
Cordia alliodora



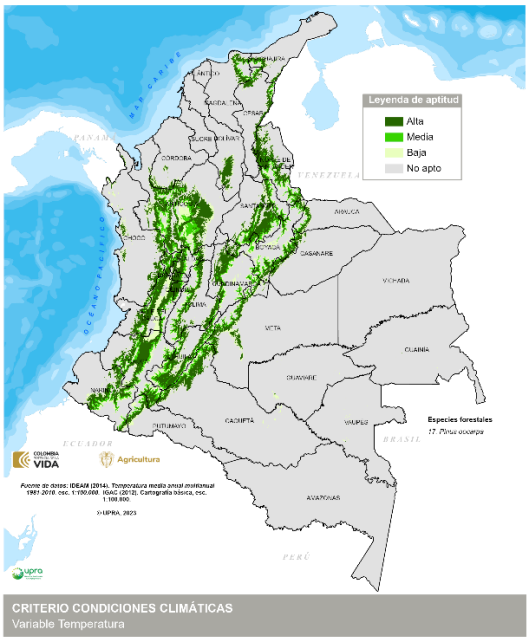
Pinus maximinoi



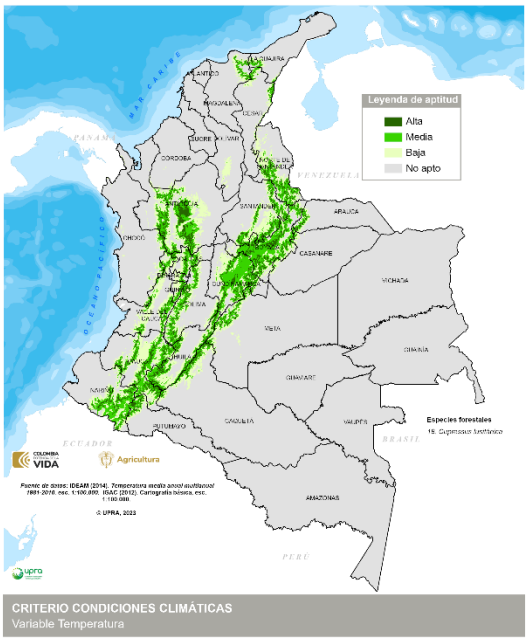
Eucalyptus grandis



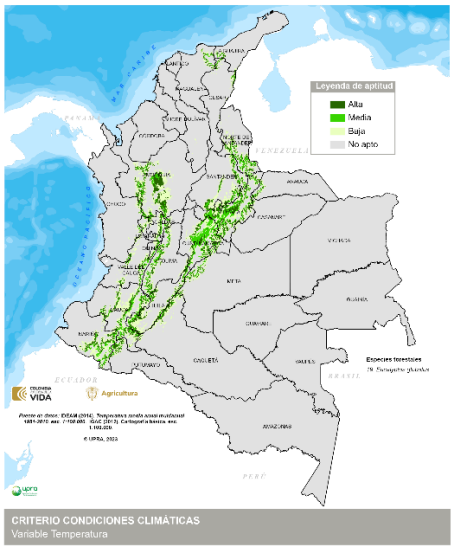
Pinus oocarpa



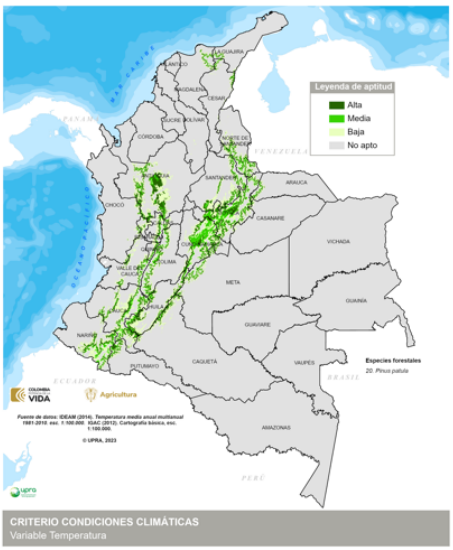
Cupressus lusitanica



Eucalyptus globulus



Pinus patula



Fuentes de información

Campos, D. (2005). *Agroclimatología cuantitativa de Cultivos*. Trillas. https://n9.cl/hes1e

Cuesta *et al.* (2005). Metodología operativa para la obtención del coeficiente de cultivo desde imágenes de satélite. *ITEA, 101*(3), 212-224. https://n9.cl/g9ef9w

Doorembos, J., Kassam, A. (1979). *Yield response to water*. Estudio de riego y drenaje N°33, FAO.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (1976). *A framework for land evaluation*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI). https://edepot.wur.nl/149437

Fondo Nacional del Café y CeniCafé (2006). *Guías silviculturales*. Fondo Nacional del Café.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2014). *Mapa de distribución de la temperatura media anual, promedio multianual 1981-2010, escala: 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2014). *Mapa de distribución del brillo solar medio diario anual (horas), promedio multianual 1981-2010, escala: 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2014). *Tabla de promedios mensuales multianuales de precipitación, periodo 1981-2010*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales e Instituto Nacional Forestal (2002). *Guía de especies forestales de Nicaragua*. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (Marena).

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (2013). *Evaluación de tierras para la zonificación con fines agropecuarios: metodología a escala general (1:100.000)*. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

1.1.2. Variable *índice de disponibilidad de humedad para el cultivo (IDHC)*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: físico. Subcomponente: climático		
Criterio asociado: *condiciones climáticas*		
Variable: *índice de disponibilidad de humedad para el cultivo (IDHC)*	Unidad de medida: índice	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	✓
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Relación mensual entre la precipitación y la evapotranspiración actual del cultivo.

Importancia de la variable para el cultivo

Se refiere al potencial del agua que se podría suministrar por la precipitación. Las necesidades de agua para las especies forestales se estiman a través de la evapotranspiración actual se suplen en la medida en que la precipitación esté disponible. Esta relación indica que cuando los valores estén cercanos o iguales a 1, las necesidades del agua están siendo compensadas; y, en la medida en que se alejan, aumentan los déficits hídricos, lo cual afecta el potencial de abastecimiento de agua para el crecimiento y desarrollo de los cultivos.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

Como valor de exclusión técnica (N1), se estableció menos del 0,4 de IDHC que ocasiona estrés hídrico y la imposibilidad de establecer plantaciones forestales y permitir el crecimiento, desarrollo y producción de este tipo de cultivos.

Índice de disponibilidad de humedad para el cultivo (IDHC)	IDHC: exceso	Aptitud
>0,77	No aplica	Alta (A1)
0,705-0,77	2,2-3,2	Media (A2)
0,4-0,705	>3,2	Baja (A3)
<0,4	—	No apta (N1)

Limitantes de la evaluación de la variable

Colombia presenta una amplia gama de condiciones climáticas que van desde lo semidesértico (como en La Guajira) hasta lo muy húmedo (como en el Chocó); y desde el nivel del mar (costas Caribe y Pacífica) hasta la criósfera (nevados). Esto dificulta considerablemente establecer mapas nacionales, dado que en muchas regiones del país los modelos de estimación de la evapotranspiración —evapotranspiración de referencia Eto Penman-Monteith y del cultivo Etc— se sobreestima o subestima, sobre todo en las regiones con condiciones evaporativas bajas.

Este análisis de humedad para el cultivo se centra únicamente en lo climático y excluye el suelo —almacenamiento de agua del suelo—, porque no se cuenta con información nacional de humedad aprovechable, por ejemplo: la capacidad de campo menos el punto de marchitez permanente. Además, la información de suelos que tiene cubrimiento nacional son los estudios generales de suelos del país a escala 1:100.000, los cuales contienen asociaciones como unidades cartográficas de suelos. De este modo, al no incluir en el modelo la capacidad de almacenamiento del suelo, no es conveniente incluir en el modelo el almacenamiento mes a mes, lo que implica la inconveniencia de incluir las pérdidas de agua por escorrentía, como se sugiere con la precipitación efectiva (80%, FAO/AGLW, USDA por Crowat 8,0 y otras recomendadas).

Metodología del procesamiento de la información

El procesamiento de esta variable se realizó en un sistema de información geográfico a través de mapas *raster* de precipitación, evapotranspiración de referencia y evapotranspiración del cultivo mes a mes. El índice de disponibilidad de humedad para el cultivo (IDHC) se calculó en función de la siguiente ecuación:

$$IDHC = [(Etaene/Etcene) + (Etafeb/Etcfeb) \ldots\ldots\ldots (Etadic/Etcdic)]/12$$

$$ETa = Etc \text{ cuando } P \geq Etc \text{ y } ETa = P, \text{ cuando } P < Etc,$$

donde

P = precipitación mensual multianual.
Etc = evapotranspiración del cultivo mensual bajo condiciones estándares.
Eta = evapotranspiración actual, lo cual se refiere a la cantidad de agua que suministra la precipitación en tal mes y es evapotranspirada. Esto se generó a partir de la normal climatológica 1981-2010.

La evapotranspiración del cultivo (Etc) es

$$Etc = Kc * Eto$$

donde

Kc = coeficiente hídrico de los cultivos forestales, los cuales fueron evaluados mediante la interpretación de imágenes de satélite lanza 8, actividad apoyada por el grupo de TIC, para determinar el índice estandarizado de vegetación (NDVI) para cada una de las veinte especies en estudio.

Eto = evapotranspiración de referencia mensual, es decir, la demanda de evapotranspiración de la atmósfera en función de un cultivo de referencia, específicamente, pasto con una altura de 0,12 metros, resistencia superfial de 70 sm-1 y un albedo de 0,23.

Posteriormente, se aplicó la formula desarrollada por Cuesta *et al.* (2005):

Kc = (1,5625 * NDVI-0,05)

Los resultados de los Kc se registrar en la siguiente tabla:

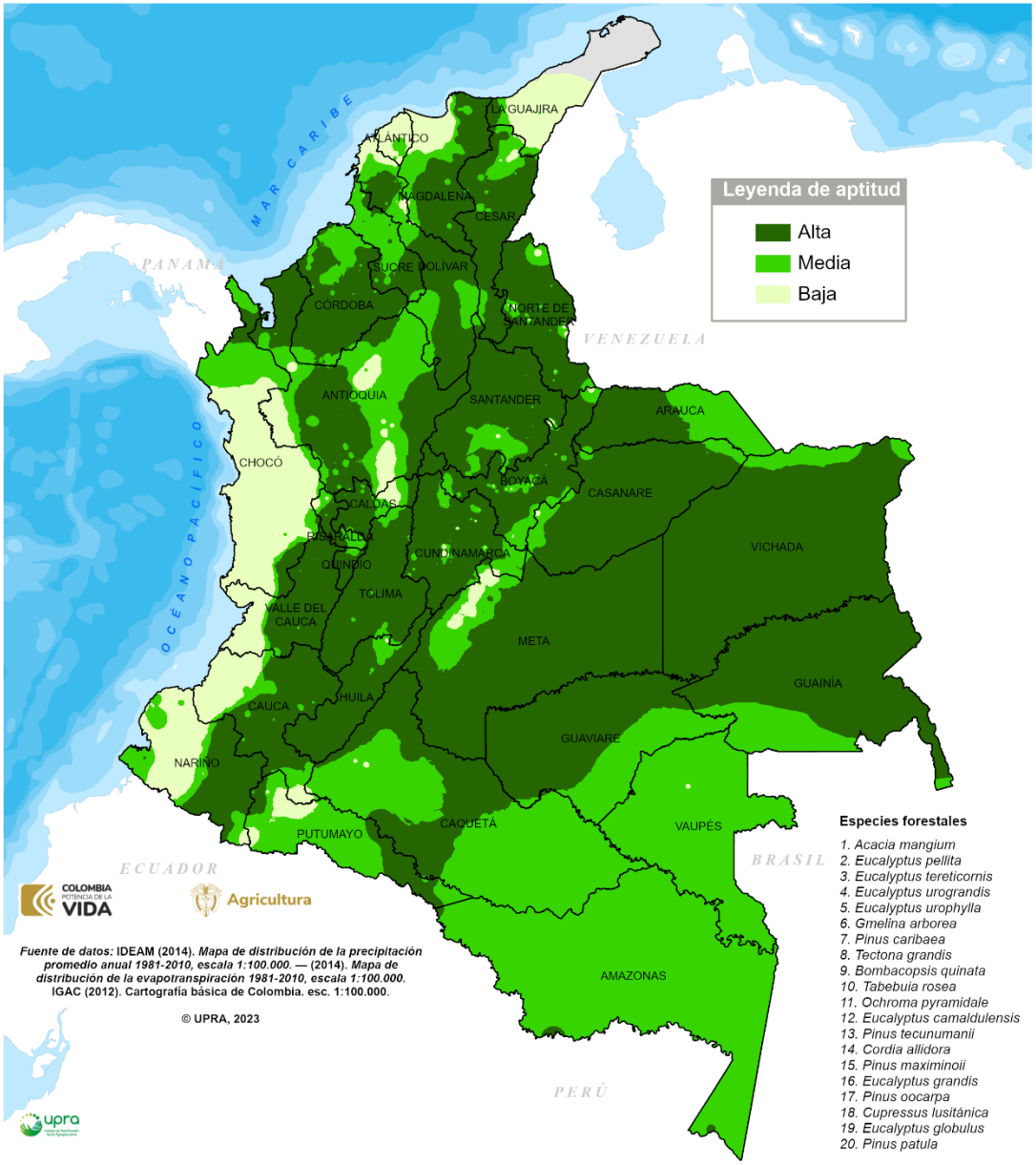
Especie	*Kc*
Acacia mangium	0,84
Eucalyptus pellita	0,72
Eucalyptus tereticornis	0,79
Eucalyptus urograndis	0,89
Eucalyptus urophylla	0,75
Gmelina arborea	0,83
Pinus caribaea	0,71
Tectona grandis	0,90
Bombacopsis quinata	0,84
Tabebuia rosea	0,90
Ochroma pyramidale	0,80
Eucalyptus camaldulensis	0,79
Pinus tecunumanii	0,89
Cordia alliodora	0,91
Pinus maximinoi	0,89
Eucalyptus grandis	0,90
Pinus oocarpa	0,89
Cupressus lusitanica	0,89
Eucalyptus globulus	0,93
Pinus patula	0,96

Una vez calculados los valores de Índice de disponibilidad de humedad para el cultivo (IDHC) mensuales multianuales desde enero hasta diciembre, furon llevados a un promedio anual.

Unidad de análisis

Distribución del IDHC anual.

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO CONDICIONES CLIMÁTICAS
Variable IDHc

Fuentes de información

Campos, D. (2005). *Agroclimatología cuantitativa de Cultivos*. Trillas. https://n9.cl/hes1e

Cuesta *et al.* (2005). Metodología operativa para la obtención del coeficiente de cultivo desde imágenes de satélite. *ITEA, 101*(3), 212-224. https://n9.cl/g9ef9w

Doorembos, J., Kassam, A. (1979). *Yield response to water*. Estudio de riego y drenaje N°33, FAO.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (1976). *A framework for land evaluation*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI). https://edepot.wur.nl/149437

Fondo Nacional del Café y CeniCafé (2006). *Guías silviculturales*. Fondo Nacional del Café.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2014). *Mapa de distribución de la temperatura media anual, promedio multianual 1981-2010, escala: 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2014). *Mapa de distribución del brillo solar medio diario anual (horas), promedio multianual 1981-2010, escala: 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2014). *Tabla de promedios mensuales multianuales de precipitación, periodo 1981-2010*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales e Instituto Nacional Forestal (2002). *Guía de especies forestales de Nicaragua*. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (Marena).

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (2013). *Evaluación de tierras para la zonificación con fines agropecuarios: metodología a escala general (1:100.000)*. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

1.1.3. Variable *meses secos consecutivos*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: físico. Subcomponente: climático		
Criterio asociado: *condiciones climáticas*		
Variable: *meses secos consecutivos*	Unidad de medida: número de meses consecutivos	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Período del año en meses consecutivos cuando el suministro de humedad alimentado por la lluvia es menor que la mitad de la evapotranspiración del cultivo.

Importancia de la variable para el cultivo

Muestra el comportamiento temporal o estacionalidad de las épocas secas que, para cultivos permanentes en secano como las especies forestales, tienen una incidencia importante en el establecimiento, crecimiento, desarrollo y producción de las plantaciones forestales.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

No se presentaron valores de exclusión para esta variable, cuyos rangos de evaluación son:

Especies	Meses secos consecutivos			
	A1	A2	A3	N1
Acacia mangium	<3	3-4	>4	—
Eucalyptus pellita	<3	3-4	>4	—
Eucalyptus tereticornis	<3	3-4	>4	—
Eucalyptus urograndis	<3	3-4	>4	—
Eucalyptus urophylla	<3	3-4	>4	—
Gmelina arborea	<3	3-4	>4	—
Pinus caribaea	3-4	3-5	>5	—
Tectona grandis	3-4	3-5	>5	—
Bombacopsis quinata	3-4	3-5	>5	—
Tabebuia rosea	<3	3-4	>4	—
Ochroma pyramidale	<3	3-4	>4	—
Eucalyptus camaldulensis	<3	3-4	>4	—
Pinus tecunumanii	<3	3-4	>4	—
Cordia alliodora	<3	3-4	>4	—
Pinus maximinoi	<3	3-4	>4	—

Eucalyptus grandis	<3	3-4	>4	—
Pinus oocarpa	<3	3-4	>4	—
Cupressus lusitanica	<3	3-4	>4	—
Eucalyptus globulus	<3	3-4	>4	—
Pinus patula	<3	3-4	>4	—

Limitantes de la evaluación de la variable

Colombia presenta una amplia gama de condiciones climáticas que van desde lo semidesértico (como en La Guajira) hasta lo muy húmedo (como en el Chocó); y desde el nivel del mar (costas Caribe y Pacífica) hasta la criósfera (nevados). Esto dificulta considerablemente establecer mapas nacionales, dado que en muchas regiones del país los modelos de estimación de la evapotranspiración —evapotranspiración de referencia Eto Penman-Monteith y del cultivo Etc— se sobreestima o subestima, sobre todo en las regiones con condiciones evaporativas bajas.

Metodología de procesamiento de la información

El procesamiento de esta variable se realizó en un sistema de información geográfico a través de mapas *raster* de precipitación, evapotranspiración de referencia y evapotranspiración del cultivo mes a mes. La variable *meses secos consecutivos* (MSC) para las venite especies forestales se calculó en función de la siguiente ecuación:

MSC = [(P < 0,5Etcmes) + (P < 0,5Etcmes) .....

donde

P = precipitación mensual multianual.

Etc = evapotranspiración del cultivo mensual multianual bajo condiciones estándar. La base de datos de precipitación (P) y la evapotranspiración de referencia (Eto) del Ideam se tomó de la normal climatológica 1981-2010.

La evapotranspiración del cultivo (Etc) es Etc = Kc * Eto

donde

Kc = coeficientes hídricos de las especies forestales que se relacionan en la ficha metodológica de la variable IDHC.

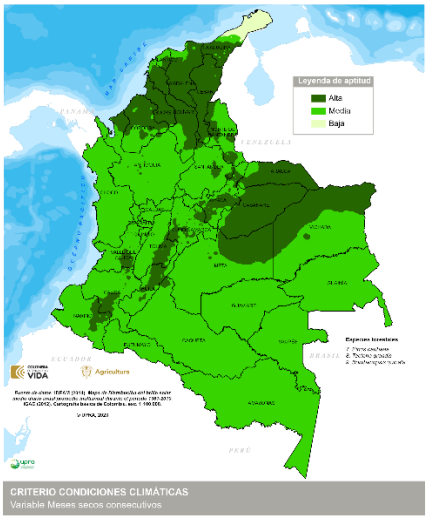
Eto = evapotranspiración de referencia mensual, es decir, la demanda de evapotranspiración de la atmósfera en función de un cultivo de referencia, específicamente, pasto con una altura de 0,12 metros, resistencia superfial de 70 sm-1 y un albedo de 0,23. Al ser calculados los valores de MSC mensuales multianuales enero-diciembre, se suman y se llevan a un periodo anual.

Unidad de análisis

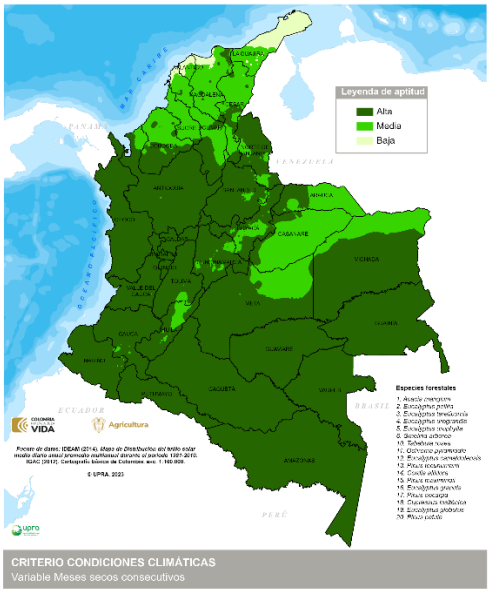
Distribución de meses secos consecutivos en el territorio nacional.

Representación cartográfica de la variable

Pinus caribaea, *Tectona grandis* y *Bombacopsis quinata*



Acacia mangium; *Eucalyptus pellita*, *tereticornis*, *urograndis*, *urophylla*, *camaldulensis*, *grandis* y *globulus*; *Gmelina arborea*; *Tabebuia rosea*; *Ochroma pyramidale*; *Pinus tecunumanii*, *maximinoi*, *oocarpa* y *patula*; *Cordia alliodora* y *Cupressus lusitanica*



Fuentes de información

Campos, D. (2005). *Agroclimatología cuantitativa de Cultivos*. Trillas. https://n9.cl/hes1e

Cuesta *et al.* (2005). Metodología operativa para la obtención del coeficiente de cultivo desde imágenes de satélite. *ITEA, 101*(3), 212-224. https://n9.cl/g9ef9w

Doorembos, J., Kassam, A. (1979). *Yield response to water*. Estudio de riego y drenaje N°33, FAO.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (1976). *A framework for land evaluation*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI). https://edepot.wur.nl/149437

Fondo Nacional del Café y CeniCafé (2006). *Guías silviculturales*. Fondo Nacional del Café.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2014). *Mapa de distribución de la temperatura media anual, promedio multianual 1981-2010, escala: 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2014). *Mapa de distribución del brillo solar medio diario anual (horas), promedio multianual 1981-2010, escala: 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2014). *Tabla de promedios mensuales multianuales de precipitación, periodo 1981-2010*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales e Instituto Nacional Forestal (2002). *Guía de especies forestales de Nicaragua*. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (Marena).

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (2013). *Evaluación de tierras para la zonificación con fines agropecuarios: metodología a escala general (1:100.000)*. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

1.1.4. Variable *brillo solar medio diario anual*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: físico. Subcomponente: climático		
Criterio asociado: *condiciones climáticas*		
Variable: *brillo solar medio diario anual*	Unidad de medida: horas sol/día	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Cantidad de horas en la que los rayos del sol llegan directamente sobre la superficie terrestre. Se denomina *brillo solar* o *insolación* (Ideam, 2014).

Importancia de la variable para el cultivo

Incide directamente en la eficiencia fotosintética, en la tasa de asimilación neta y en la acumulación de materia seca, es decir, en la producción de madera.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

Los valores asignados para la construcción de rangos de brillo solar se realizaron según los requerimientos de cada especie (FNC y CeniCafé, 2006; Marena e Inafor, 2006).

Brillo solar medio diario anual (horas sol/día)	Aptitud
>4	Alta (A1)
3-4	Media (A2)
<3	Baja (A3)
—	No apto (N1)

Limitantes de la evaluación de la variable

No se dispuso de una base de datos actualizada de la información de brillo solar de todo el territorio nacional generado por la red de estaciones meteorológicas, ya que la que se tiene normalizada sólo está hasta el año 2010 del Ideam. En consecuencia, el análisis espacial anual no reflejó la condición de insolación actual del país.

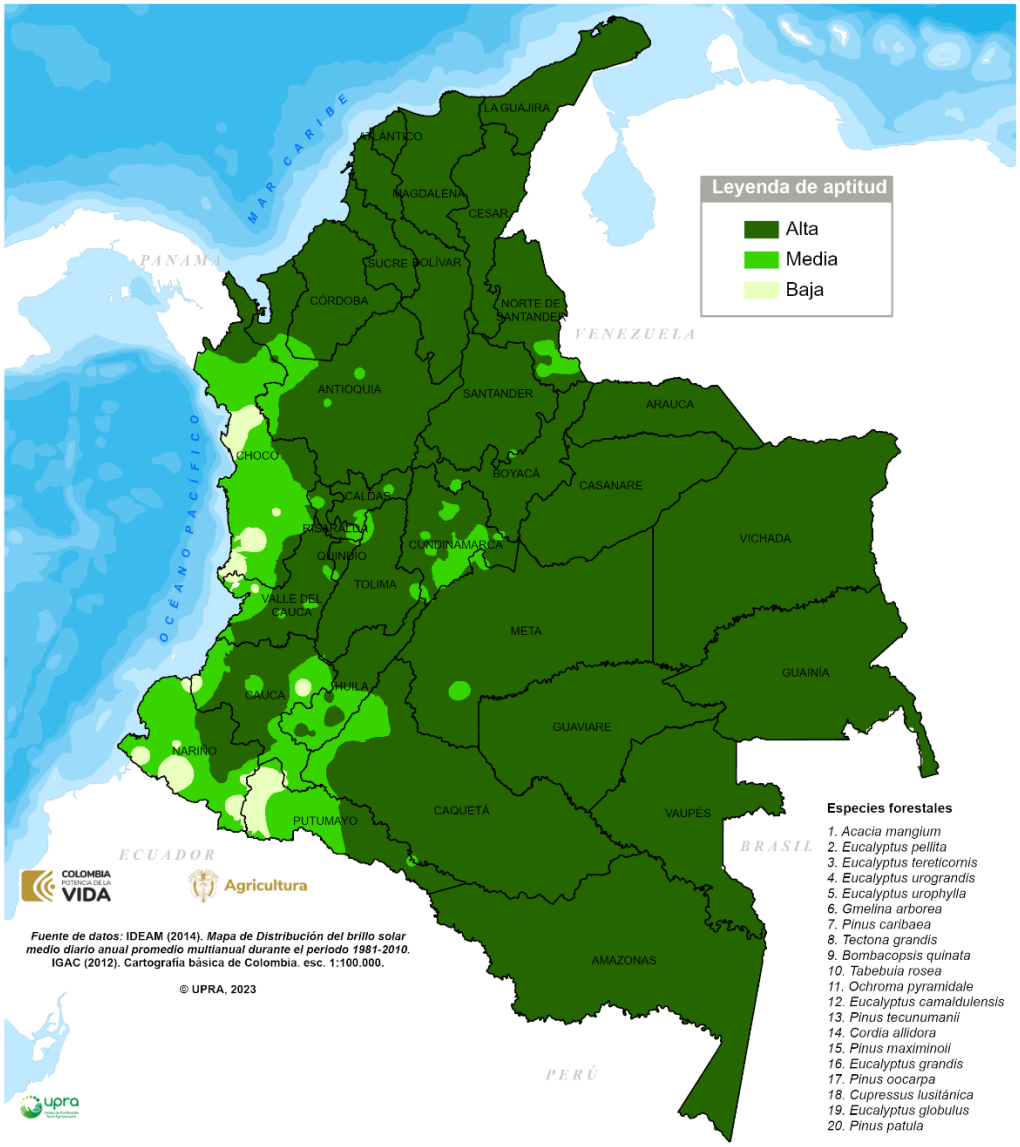
Metodología de procesamiento de la información

La información utilizada de base para las unidades de brillo solar se tomó del mapa de isohelias anuales elaborado por el Ideam (2014) a escala 1:100.000, el cual se basa en la serie histórica 1981-2010. Se realizó una delimitación espacial del brillo solar de acuerdo con los rangos establecidos por el equipo profesional del componente físico. La actividad fue soportada por el grupo TIC de la UPRA.

Unidad de análisis

Distribución del brillo solar medio diario anual.

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO CONDICIONES CLIMÁTICAS
Variable Brillo solar

Fuentes de información

Campos, D. (2005). *Agroclimatología cuantitativa de Cultivos*. Trillas. https://n9.cl/hes1e

Cuesta *et al.* (2005). Metodología operativa para la obtención del coeficiente de cultivo desde imágenes de satélite. *ITEA, 101*(3), 212-224. https://n9.cl/g9ef9w

Doorembos, J., Kassam, A. (1979). *Yield response to water*. Estudio de riego y drenaje N°33, FAO.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (1976). *A framework for land evaluation*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI). https://edepot.wur.nl/149437

Fondo Nacional del Café y CeniCafé (2006). *Guías silviculturales*. Fondo Nacional del Café.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2014). *Mapa de distribución de la temperatura media anual, promedio multianual 1981-2010, escala: 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2014). *Mapa de distribución del brillo solar medio diario anual (horas), promedio multianual 1981-2010, escala: 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2014). *Tabla de promedios mensuales multianuales de precipitación, periodo 1981-2010*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales e Instituto Nacional Forestal (2002). *Guía de especies forestales de Nicaragua*. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (Marena).

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (2013). *Evaluación de tierras para la zonificación con fines agropecuarios: metodología a escala general (1:100.000)*. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

1.2. Criterio *disponibilidad de nutrientes*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: físico. Subcomponente: edáfico		
Criterio: *disponibilidad de nutrientes*		
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Variables asociadas al criterio

Acidez (pH), expresada en rangos de pH.

Capacidad de intercambio catiónico (CIC), expresada en cmol/kg de suelo.

Saturación de bases, expresada en porcentaje.

Carbono orgánico, expresado en porcentaje.

Definición

Cualidad del suelo que le permite proporcionar compuestos en cantidades adecuadas y en un balance apropiado para el crecimiento de plantas, cuando otros factores de crecimiento, como la luz, la humedad, la temperatura y la condición física del suelo, son favorables (Klingebiel & Montgomery, 1961).

Importancia del criterio para el cultivo

Considera las relaciones químicas en la zona radicular del suelo en cuanto a las posibilidades de absorción de nutrientes disponibles para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Estas relaciones, según las características de las unidades de tierra a escala 1:100.000, están en función de la acidez o pH; de la capacidad de intercambio catiónico; de la saturación de bases; y del contenido de carbono orgánico (FAO, 1976).

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado

No se consideraron rangos no aptos (N1), ya que, desde el punto de vista químico, se pueden mejorar las condiciones del suelo, aunque estas prácticas elevan los costos de establecimiento y mantenimiento en el cultivo forestal. Como excepción, se encontraron los suelos denominados *histosoles*, los cuales se calificaron como no aptos (N1), debido a las implicaciones en la liberación de gases de efecto invernadero, especialmente, suelos orgánicos de los páramos y humedales que no han sido intervenidos, es decir, que no han sido drenados ni mecanizados. Esto también conlleva la pérdida de biodiversidad y de sus servicios ecosistémicos de regulación hídrica, reservorios de carbono y fijación de nitrógeno (MADS, 2020).

Limitantes para la evaluación del criterio

La mayoría de las unidades cartográficas de suelos a escala 1:100.000 fueron asociaciones, para cada una de cuyas variables que conforman el criterio se calificó el componente taxonómico de mayor representatividad dentro de la unidad. Esto significa que dentro de la unidad existen áreas de diferentes tamaños que tienen calificaciones diferentes al componente calificado y que corresponden a aptitudes diferentes.

Metodología de procesamiento de la información

En los análisis químicos de los estudios generales de suelos se encontraron los contenidos de los elementos mayores y las variables responsables del almacenamiento, como la materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico y el pH como factor que determina la disponibilidad de cada uno de los elementos. Las clases de aptitud de cada variable involucrada en el criterio se extrajeron del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014). La calificación que se consideró en cada una de las variables se expone e continuación:

Acidez (pH)			Aptitud
Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	
5,0-7,3	de 5,6 a ≤ 7,3	5,0-7,3	Alta (A1)
4,5-4,9; 7,3-7,8	7,3-7,8	4,4-4,9; 7,3-7,8	Media (A2)
< 4,5; >7,8	< 5,6; >7,8	< 4,4; >7,8	Baja (A3)

Saturación de bases (%)		Aptitud
Grupo 1	Grupo 2	
>20	>75	Alta (A1)
10-20	50-75	Media (A2)
<10	<50	Baja (A3)

Carbono orgánico (%)			Aptitud
Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	
>0,5	1,7-7,6; andisoles ≤15	2,6 – 10,0; andisoles ≤15	Alta (A1)
0,2-0,5	0,5-1,7; >7,6; andisoles >15	≥ 1,4-2,6; >10,0; andisoles >15	Media (A2)
<0,2	<0,5	<1,4	Baja (A3)
Histosoles	Histosoles	Histosoles	No apta (N1)

CIC (cmol/kg de suelo)	Aptitud
>20	Alta (A1)
10-20	Media (A2)
< 10	Baja (A3)

Los rangos de aptitud de cada una de las variables están dados de acuerdo con las consultas realizadas con los expertos en cada una de las especies forestales y con la literatura relacionada.

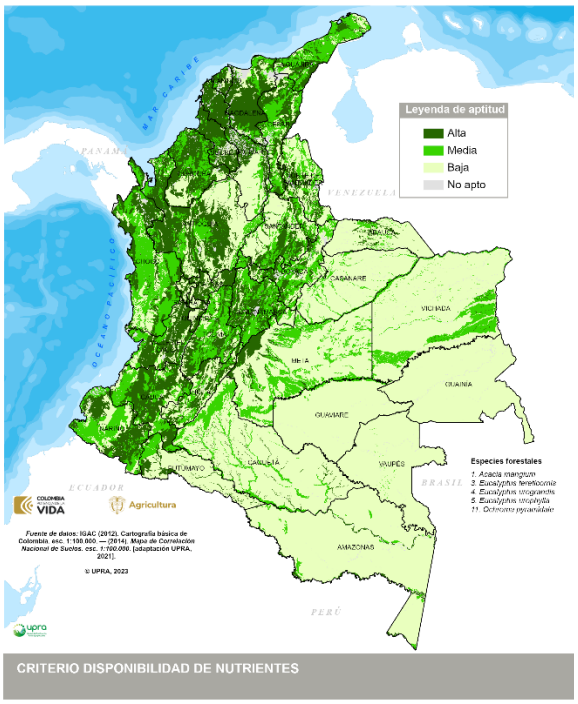
Rangos para la asignación de valores de aptitud

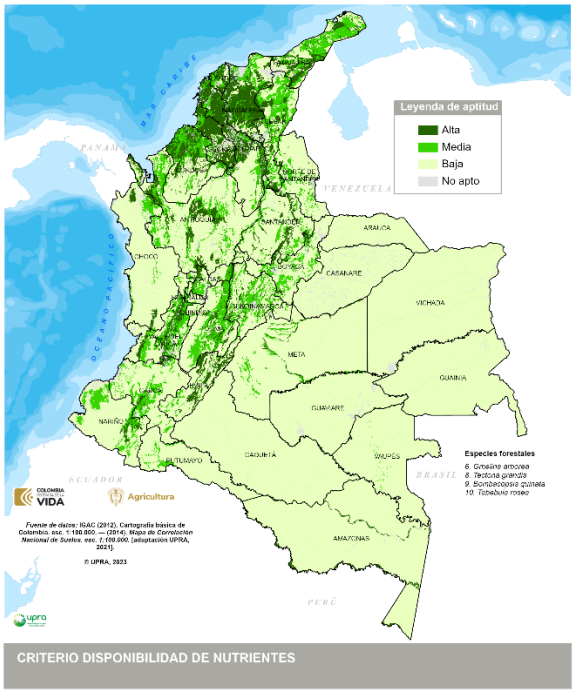
Para discriminar los niveles de aptitud, se construyó una tabla de ponderación mediante la asignación porcentual a cada variable que conforma el criterio de acuerdo con la limitación que cada una representa en el desarrollo del cultivo de las especies forestales. Para los grupos de especies forestales, se realizó las siguiente ponderación: grupo de la teca (pH 20 %, CIC 20 %, carbono orgánico 30 %, saturación de bases 30 %); grupo de la acacia (pH 30 %, CIC 30 %, carbono orgánico 20 %, saturación de bases 20 %); grupo del eucalipto blanco, común o azul (pH 30 %, CIC 20 %, carbono orgánico 40 %, saturación de bases 10 %); grupo de los *pinus tecunumanii* (pH 30 %, CIC 10 %, carbono orgánico 40 % y saturación de bases 20 %).

Unidad de análisis

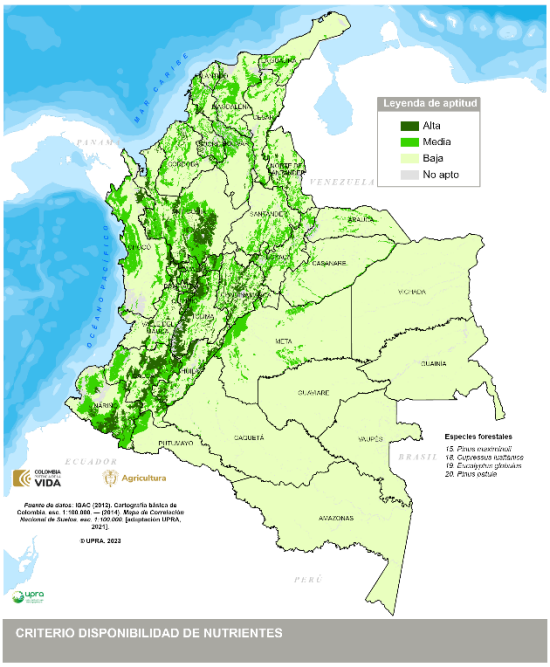
Unidades cartográficas de suelos: asociaciones, consociaciones y complejos.

Representación cartográfica del criterio



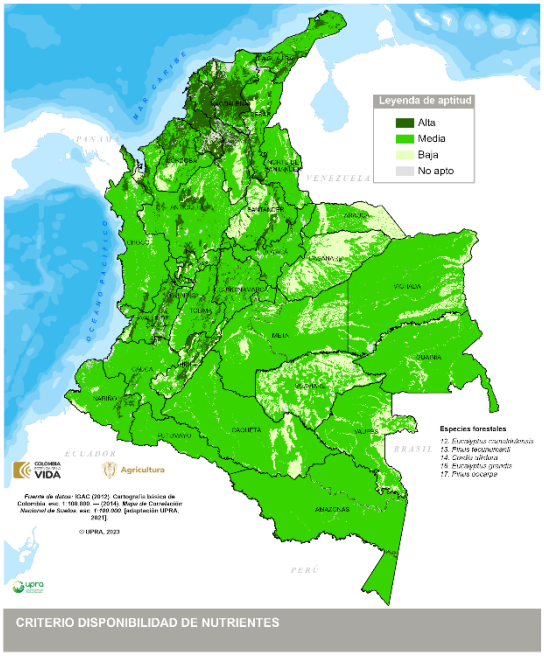


Grupo 1	Grupo 2
1. *Acacia mangium* 3. *Eucalyptus tereticornis* 4. *Eucalyptus urograndis* 5. *Eucalyptus urophylla* 11. *Ochroma pyramidale*	6. *Gmelina arborea* 8. *Tectona grandis* 9. *Bombacopsis quinata* 10. *Tabebuia rosea*



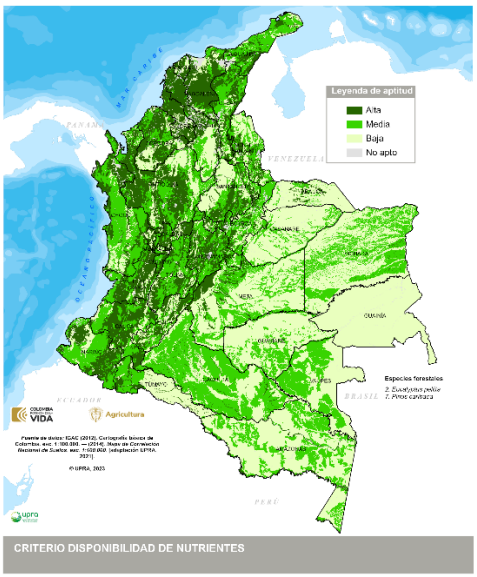
Grupo 3

15. *Pinus maximinoi*
18. *Cupressus lusitanica*
19. *Eucalyptus globulus*
20. *Pinus patula*



Grupo 4

12. *Eucalyptus camaldulensis*
13. *Pinus tecunumanii*
14. *Cordia alliodora*
16. *Eucalyptus grandis*
17. *Pinus oocarpa*



Grupo 5

2. *Eucalyptus pellita*
7. *Pinus caribaea*

Fuentes de información

Food and Agriculture Organization of the United Nations (1976). *A framework for land evaluation*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI). https://edepot.wur.nl/149437

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Klingebiel, A.A. & P.H. Montgomery (1961). *Land-capability classification: agriculture handbook n.° 210*. United States Department of Agriculture (USDA), Soil Conservation Service.

1.2.1. Variable *acidez (pH)*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: físico. Subcomponente: edáfico		
Criterio asociado: *disponibilidad de nutrientes*		
Variable: *acidez (pH)*	Unidad de medida: pH	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Concentración de iones hidrógeno (H^+) y (OH^-) e iones hidróxido en la solución del suelo. Define el grado de acidez o alcalinidad de un suelo expresado como un valor que oscila entre los valores de 0 y 14 de pH (Soil Science Society of América [SSSA], 2018). El término *pH* fue introducido por Sörensen en 1909 para expresar las actividades de los iones H^+ (αH^+) como una función logarítmica. El pH puede definirse como

$$\mathrm{pH} = \log \frac{1}{\log(\propto \mathrm{H}^+)} = -\log \propto \mathrm{H}^+ = -\log(\propto \mathrm{H}^+)$$

Un suelo ácido tiene una concentración de iones hidrógeno mayor a 10-7 o un pH menor de 7. Sin embargo, la acidez del suelo como limitante para el desarrollo de las plantas, por su influencia sobre la disponibilidad de nutrientes y concentración de sustancias tóxicas, sólo adquiere importancia cuando el pH es menor a 5,5 (Garavito, 1979).

Importancia de la variable para el cultivo

El pH es una de las propiedades físico-químicas más importantes de los suelos, del que depende la disponibilidad de nutrientes para las plantas, pues determina la solubilidad o controla la actividad microbiológica y la mineralización de la materia orgánica. Tiene un efecto sobre la concentración de iones y sustancias tóxicas, la CIC de suelos y raíces y las enfermedades de las plantas (Garavito, 1979).

El pH del suelo es importante para la disponibilidad de los iones nutritivos, lo cual incide en el crecimiento vegetal al afectarla disponibilidad de los nutrientes. Los valores extremos de pH provocan la precipitación de nutrientes y la permanencia en formas no disponibles. Las especies vegetales presentan rangos de pH en los que la toma de nutrientes es ideal, fuera de los cuales la absorción se dificulta; si los valores de pH son extremos, se deteriora el sistema radical o surgen toxicidades por la excesiva absorción de elementos fitotóxicos.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

No se consideraron rangos no aptos (N1) para las especies forestales plantadas porque los valores extremos pueden corregirse mediante el uso de enmiendas, aunque esto representa incrementar los costos de producción.

Limitantes de la evaluación de la variable

Debido a que la mayoría de las unidades cartográficas de suelos en la escala 1:100.000 son asociaciones y que se calificó el componente taxonómico de mayor representatividad dentro de la unidad, dentro de la unidad existen áreas de diferentes tamaños que tienen un pH diferente al componente calificado y niveles diferentes de aptitud.

Metodología de procesamiento de la información

El IGAC (2010), en el manual codificado de reconocimiento de suelos, clasifica el pH de la siguiente manera:

pH	Clase
<3,5	Ultraácido
3,5-4,4	Extremadamente ácido
4,5-5,0	Muy fuertemente ácido
5,1-5,5	Fuertemente ácido
5,6-6,0	Moderadamente ácido
6,1-6,5	Ligeramente ácido
6,6-7,3	Neutro
7,4-7,8	Ligeramente alcalino
7,9-8,4	Moderadamente alcalino
8,5-9,0	Fuertemente alcalino
>9,0	Muy fuertemente alcalino

La variable se construyó a partir de la información de los resultados de laboratorio de suelos que proporciona la base de datos del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014). Los valores de pH se tomaron de los horizontes superficiales de los perfiles modales.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

Basados en los rangos recomendados para cada una de las especies forestales se establecen los rangos de calificación de esta variable a partir de los datos de laboratorio que aparecen en el perfil modal del mayor componente de la unidad cartográfica.

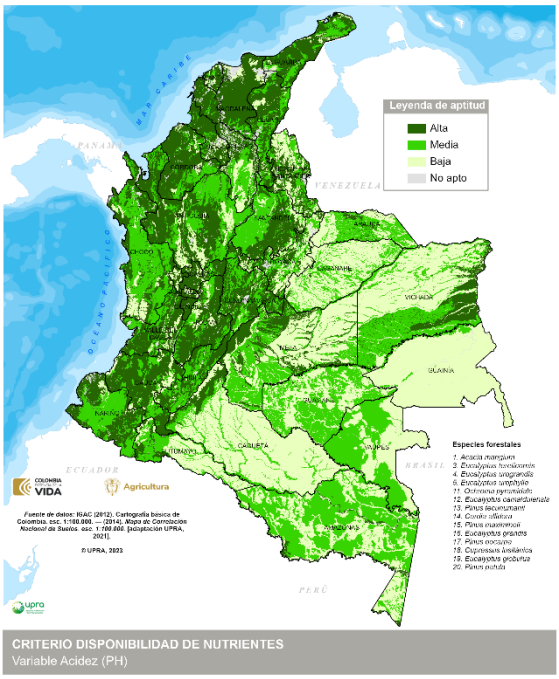
Especies	Acidez (pH)			
	A1	A2	A3	N1
Grupo 1				
1. *Acacia mangium*	5,0-7,3	4,5-4,9; 7.3-7,8	< 4,5; >7,8	—
3. *Eucalyptus tereticornis*				
4. *Eucalyptus urograndis*				
5. *Eucalyptus urophylla*				
11. *Ochroma pyramidale*				
12. *Eucalyptus camaldulensis*				
13. *Pinus tecunumanii*				
14. *Cordia alliodora*				
15. *Pinus maximinoi*				
16. *Eucalyptus grandis*				
17. *Pinus oocarpa*				
18. *Cupressus lusitanica*				
19. *Eucalyptus globulus*				
20. *Pinus patula*				
Grupo 2				
6. *Gmelina arborea*	de 5,6 a ≤7,3	7,3-7,8	<5,6; >7,8	—
8. *Tectona grandis*				
9. *Bombacopsis quinata*				
10. *Tabebuia rosea*				
Grupo 3				
2. *Eucalyptus pellita*	5,0-7,3	4,4-4,9; 7.3-7,8	<4,4; >7,8	—
7. *Pinus caribaea*				

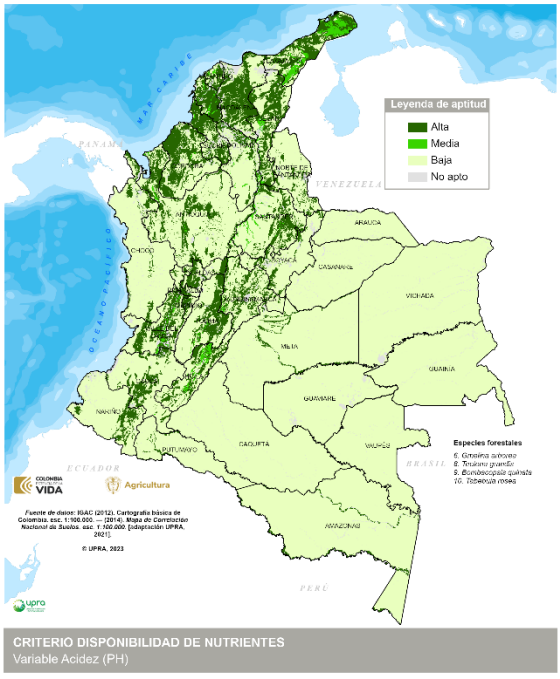
Los rangos de aptitud de la variable, están dados de acuerdo con las diferentes consultas realizadas con los expertos en cada una de las especies forestales y a la literatura relacionada.

Unidad de análisis

Unidades cartográficas de suelos: asociaciones, consociaciones y complejos.

Representación cartográfica de la variable

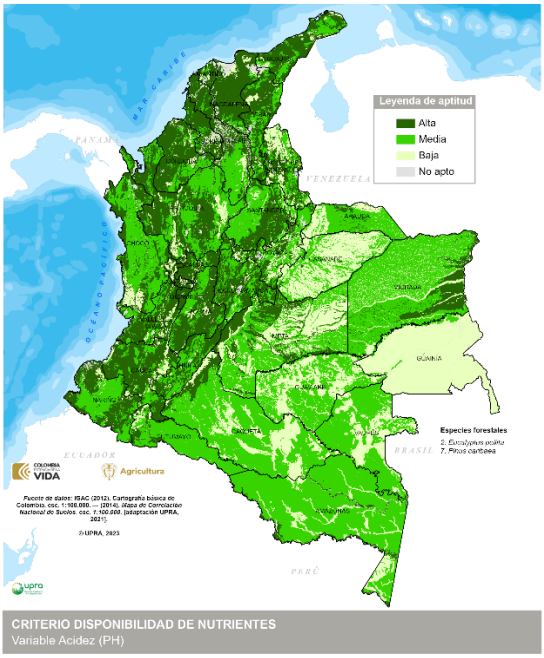




Grupo 1

Grupo 2

1. *Acacia mangium*
3. *Eucalyptus tereticornis*
4. *Eucalyptus urograndis*
5. *Eucalyptus urophylla*
11. *Ochroma pyramidale*
12. *Eucalyptus camaldulensis*
13. *Pinus tecunumanii*
14. *Cordia alliodora*
15. *Pinus maximinoi*
16. *Eucalyptus grandis*
17. *Pinus oocarpa*
18. *Cupressus lusitanica*
19. *Eucalyptus globulus*
20. *Pinus patula*
6. *Gmelina arborea*
8. *Tectona grandis*
9. *Bombacopsis quinata*
10. *Tabebuia rosea*



Grupo 3

2. *Eucalyptus pellita*
7. Pinus caribaea

Fuentes de información

Camino, R, y Morales, J.P. (2013). La teca en América Latina. En Camino, R, y Morales, J.P. (Eds.). *Las plantaciones de teca en América Latina: mitos y realidades* (pp. 30-41). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), División de Investigación y Desarrollo. https://n9.cl/qd1egu

Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (1998). *Guía para plantaciones forestales comerciales: Antioquia*. Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF). https://n9.cl/ej0ru

Garavito, F. (1979). *Propiedades químicas de los suelos* (2.ª ed). Ministerio de Hacienda y Crédito Público, Instituto Geográfico "Agustín Codazzi" (IGAC), Subdirección Agrológica.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Nacional de Bosques (2017a). *Pino caribe (*Pinus caribaea *var.* Hondurensis *(Sénécl.) W. H. Barrett & Golfari)*. Instituto Nacional de Bosques (INB), Paquete Tecnológico Forestal. https://n9.cl/ru814s

Instituto Nacional de Bosques (2017b). *Pino de ocote (*Pinus oocarpa *Schiede ex Schltdl)*. Instituto Nacional de Bosques (INB), Paquete Tecnológico Forestal. https://n9.cl/7a5e9

Instituto Nacional de Bosques (2019). *Paquete tecnológico forestal: pino candelillo* Pinus maximinoi *H.E. Moore*. Instituto Nacional de Bosques (INB), Departamento de Investigación Forestal. https://n9.cl/ppvzq3

Instituto Nacional de Bosques (2020). *Paquete tecnológico forestal: cipres común,* Cupressus lusitanica *Mill*. Instituto Nacional de Bosques (INB), Paquete Tecnológico Forestal. https://n9.cl/eytd2

Murillo, O. y Valerio, J. (1991). *Melina (*Gmelina arborea *Roxb.): especie de árbol de uso múltiple en América Central*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). https://n9.cl/90glf

Ospina, C.M., Hernández, R.J., Rodas, C.A., Urrego, J.B., Riaño, N.M., Aristizábal, F.A., Godoy, J.A. y Osorio, O.I. (2006). *Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana: el Eucalipto (*Eucalyptus grandis *W. Hill ex Maiden)*. Centro Nacional de Investigaciones de Café (CeniCafé). https://n9.cl/3mkdvf

Ospina, C.M., Hernández, R.J., Yandar, S.E., Aristizábal, F.A., Rincón, E.A., Gil, Z.N., García, J.C. y Paternina, N.M. (2008). *Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana: el guayacán rosado o roble (*Tabebuia rosea *(Bertol) DC)*. Centro Nacional de Investigaciones de Café (CeniCafé). https://n9.cl/uye79

Ospina, C.M., Hernández, R.J., Rincón, E.A., Sánchez, F.A., Urrego, J.B., Rodas, C.A, Ramírez, C.A. y Riaño, N.M. (2011). *Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana: el pino pátula (*Pinus patula *Deppe in Schlecht. & Cham)*. Centro Nacional de Investigaciones de Café (CeniCafé). https://n9.cl/afhj4

Soil Science Society of America (2018). *Glossary of soil science terms*. Soil Science Society of America (SSSA). https://n9.cl/1sbib

1.2.2. Variable *saturación de bases*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: físico. Subcomponente: edáfico		
Criterio asociado: *disponibilidad de nutrientes*		
Variable: *saturación de bases*	Unidad de medida: porcentaje	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Relación entre la cantidad de bases intercambiables y la capacidad de intercambio de cationes. El valor de la saturación de la base varía si la capacidad de intercambio catiónico incluye sólo la acidez extraíble de la sal o la acidez determinada a pH 7 u 8. A menudo, se expresa como un porcentaje (SSSA, 2018).

Importancia de la variable para el cultivo

Estima la cantidad de los elementos nutrientes (protones) del suelo, la cual determina el manejo químico de las tierras y su productividad natural. El contenido alto de saturación de bases indica que el complejo de cambio está saturado con elementos nutritivos para las plantas. Una mayor saturación de bases expresa disponibilidad de nutrientes para las plantas, sobre todo cuando la capacidad de intercambio catiónica es elevada. Cuando en condiciones naturales los contenidos de bases son bajos, debe adicionarse fertilizantes, lo que implica aumento de los costos de producción.

La saturación de bases cambiables, que es calculada mediante la proporción que ocupan en la CIC, disminuye a medida que aumenta el grado de lavado y el intemperismo de los suelos (Malagón, 1995). Los requerimientos de bases por las veinte especies forestales analizadas en el presente documento están relacionados con la acidez, aunque no se indica un valor específico: cuanto mayor requerimiento de acidez (pH), tanta mayor exigencia en el contenido de bases (CATIE, 1991; CONIF, 1998;).

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

No se determinaron áreas no aptas (N1) para esta variable, debido a que en las unidades de tierras con baja saturación de bases se pueden aplicar enmiendas para incrementar el contenido como parte del manejo del cultivo de cada una de las especies forestales en análisis.

Limitantes de la evaluación de la variable

La mayoría de las unidades cartográficas de suelos a escala 1:100.000 fueron asociaciones, en las que se calificó el componente taxonómico de mayor representatividad dentro de la unidad. Esto significa que dentro de la unidad existen áreas de diferentes tamaños que tienen saturación de bases diferente al componente calificado que corresponden a aptitudes diferentes.

Metodología de procesamiento de la información

La variable se construyó a partir de la información de los resultados de laboratorio de suelos que proporciona la base de datos del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014). Se tomó como base la siguiente tabla para el cálculo de la fertilidad de los suelos (IGAC, 2010):

Porcentaje de saturación de bases					
Rango	<10	10-35	36-50	51-70	>70

Cabe aclarar que los valores de saturación de bases se tomaron de los horizontes superficiales de cada uno de los perfiles modales.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

Los rangos estimados para la variable de acuerdo con los requerimientos de las especies fueron los siguientes:

Especies	Saturación de bases (%)			
	A1	A2	A3	N1
Grupo 1				
1. *Acacia mangium*	>20	10-20	<10	—
2. *Eucalyptus pellita*				
3. *Eucalyptus tereticornis*				
4. *Eucalyptus urograndis*				
5. *Eucalyptus urophylla*				
7. *Pinus caribaea*				
11. *Ochroma pyramidale*				
12. *Eucalyptus camaldulensis*				
13. *Pinus tecunumanii*				
14. *Cordia alliodora*				
15. *Pinus maximinoi*				
16. *Eucalyptus grandis*				
17. *Pinus oocarpa*				
18. *Cupressus lusitanica*				
19. *Eucalyptus globulus*				

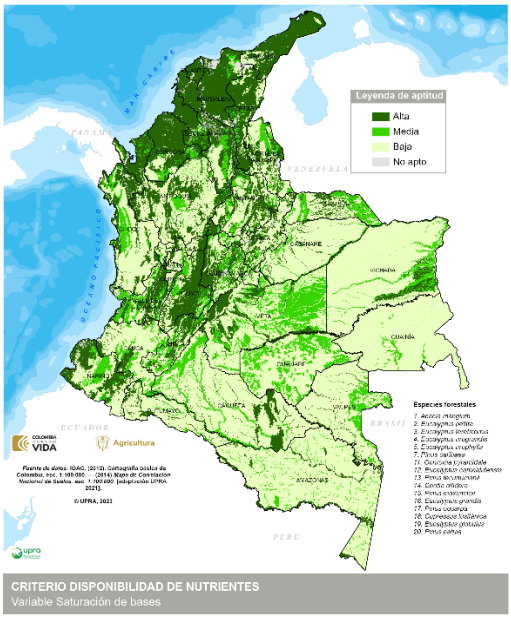
20. *Pinus patula*				
Grupo 2				
6. *Gmelina arborea*	>75	50-75	<50	—
8. *Tectona grandis*				
9. *Bombacopsis quinata*				
10. *Tabebuia rosea*				

Los rangos de aptitud de la variable se determinaron de acuerdo con las consultas realizadas tanto a los expertos en cada una de las especies forestales como a la literatura científica relacionada.

Unidad de análisis

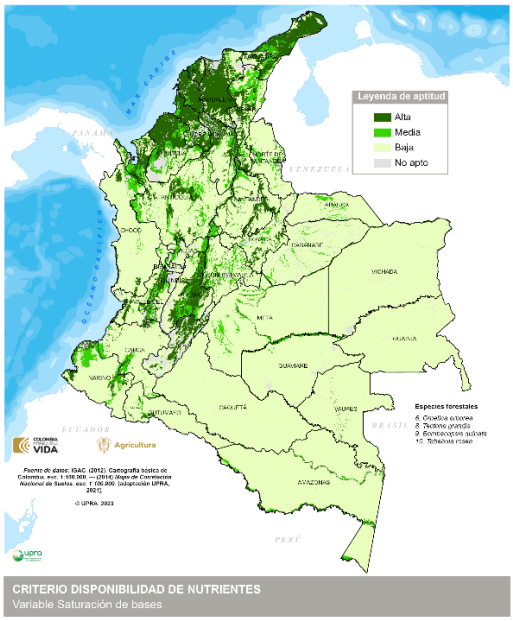
Unidades cartográficas de suelos: asociaciones, consociaciones y complejos.

Representación cartográfica de la variable



Grupo 1

1. *Acacia mangium*
2. *Eucalyptus pellita*
3. *Eucalyptus tereticornis*
4. *Eucalyptus urograndis*
5. *Eucalyptus urophylla*
7. *Pinus caribaea*
11. *Ochroma pyramidale*
12. *Eucalyptus camaldulensis*
13. *Pinus tecunumanii*
14. *Cordia alliodora*
15. *Pinus maximinoi*
16. *Eucalyptus grandis*
17. *Pinus oocarpa*
18. *Cupressus lusitanica*
19. *Eucalyptus globulus*
20. *Pinus patula*



Grupo 2

6. *Gmelina arborea*
8. *Tectona grandis*
9. *Bombacopsis quinata*
10. *Tabebuia rosea*

1.2.3. Variable *carbono orgánico*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: físico. Subcomponente: edáfico		
Criterio asociado: *disponibilidad de nutrientes*		
Variable: *carbono orgánico*	Unidad de medida: porcentaje	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Principal componente de la materia orgánica del suelo (FAO, 2017). El carbono orgánico corresponde a los residuos de plantas, animales y microorganismos que se encuentran en el suelo como carbono elemental, es decir, como carbón vegetal, grafito o carbón).

Importancia de la variable para el cultivo

Se relaciona con la cantidad y disponibilidad de nitrógeno cuyo aporte mineral es escaso. La materia orgánica también modifica el grado de acidez hacia valores cercanos a neutros; aumenta la solubilidad de varios nutrientes; y proporciona coloides de alta capacidad de intercambio catiónico. En cuanto a las propiedades físicas, modifica la estructura y regula la distribución de los poros; en cuanto la parte biológica, el carbono es esencial, pues proporciona fuentes energéticas a los organismos del suelo, generalmente heterótrofos, en forma de carbono lábil, o sea, como hidratos de carbono o compuestos orgánicos de bajo peso molecular) (Borie *et al.*, 1999).

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

No se determinaron unidades de tierra no aptas (N1) para esta variable, debido a que en los suelos con bajos contenidos de carbono orgánico se puede aplicar materia orgánica para mejorar su contenido. Como excepción, se encontraron los suelos denominados *histosoles*, los cuales se calificaron como no aptos (N1), debido a las implicaciones en la liberación de gases de efecto invernadero, especialmente, los suelos orgánicos de los páramos y humedales que no han sido intervenidos, es decir, que no han sido drenados ni mecanizados. Esto implica una pérdida de biodiversidad y de sus servicios ecosistémicos de regulación hídrica, reservorios de carbono y fijación de nitrógeno (MADS, 2020).

Limitantes de la evaluación de la variable

La mayoría de las unidades cartográficas de suelos a escala 1:100.000 fueron asociaciones y se calificó el componente taxonómico de mayor representatividad dentro de la unidad. Esto significa que dentro de la unidad existen áreas de diferentes tamaños que tienen variadas cantidades de carbono orgánico, lo cual se traduce en una aptitud diferente al componente calificado.

Metodología de procesamiento de la información

Se partió de la tabla para el cálculo de la fertilidad de los suelos (IGAC, 2010), la cual discrimina los contenidos de acuerdo al clima donde se encuentra, como se muestra a continuación:

Carbono orgánico (%)					
Clima cálido	<0,2	0,2-0,5	0,51-1,7	1,71-2,9	>3,0
Clima medio	≤0,5	0,6-1,7 > 7,6	1,8-2,9; 6,5-7,6	3,0-4,1; 5,4-6,5	4,2-5,3
Clima frío	<1,3	1,4-2,6; >10	2,7-4,0; 8,1-10	4,1-5,2; 8,0-6,6	5,3-6,5

La variable se construyó a partir del contenido de carbono orgánico registrado en la información de los resultados de laboratorio de suelos que proporciona la base de datos del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014). Por su parte, los valores de los contenidos de carbono orgánico del suelo se tomaron de los horizontes superficiales del perfil modal.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

Los rangos para asignar los valores de aptitud para la variable, se construyen de acuerdo con los requerimientos de las especies forestales de la siguiente forma:

Especies	Textura (clases texturales)			
	A1	A2	A3	N1
Grupo 1				
1. *Acacia mangium*	>0,5	0,2-0,5	<0,2	Histosoles
2. *Eucalyptus pellita*				
3. *Eucalyptus tereticornis*				
4. *Eucalyptus urograndis*				
5. *Eucalyptus urophylla*				
6. *Gmelina arborea*				
7. *Pinus caribaea*				
8. *Tectona grandis*				
9. *Bombacopsis quinata*				
10. *Tabebuia rosea*				
11. *Ochroma pyramidale*				
Grupo 2				

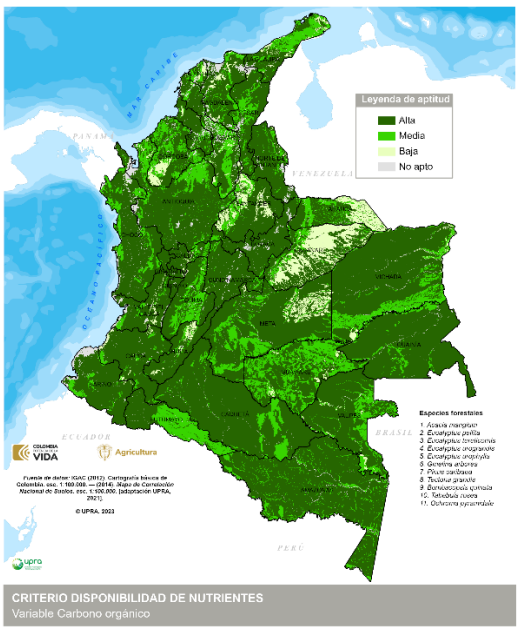
12. *Eucalyptus camaldulensis*	1,7-7,6; andisoles ≤15	0,5-1,7 y >7,6; andisoles >15	<0,5	Histosoles
13. *Pinus tecunumanii*				
14. *Cordia alliodora*				
16. *Eucalyptus grandis*				
17. *Pinus oocarpa*				
Grupo 3				
15. *Pinus maximinoi*	2,6-10,0; andisoles ≤5	≥ 1,4-2,6 y > 10,0; andisoles >15	<1,4	Histosoles
18. *Cupressus lusitanica*				
19. *Eucalyptus globulus*				
20. *Pinus patula*				

Los andisoles tuvieron calificaciones diferentes, porque, en condiciones naturales, tienen altos contenidos de materia orgánica. Los rangos de aptitud de las variables se determinaron de acuerdo con las consultas realizadas tanto a los expertos en cada una de las especies forestales como a la literatura científica relacionada.

Unidad de análisis

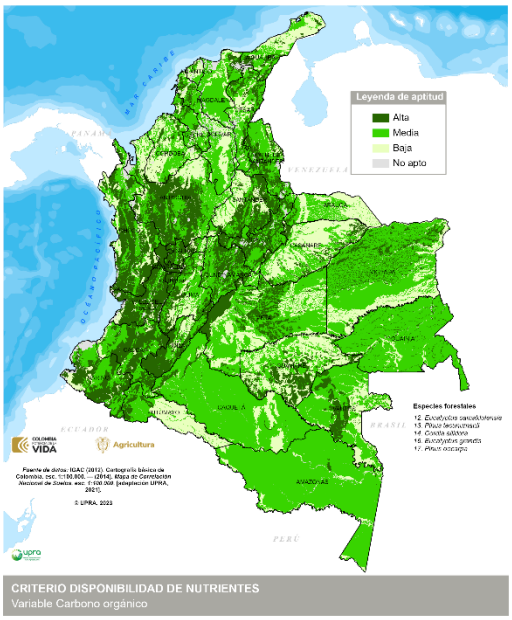
Unidades cartográficas de suelos: asociaciones, consociaciones y complejo.

Representación cartográfica de la variable



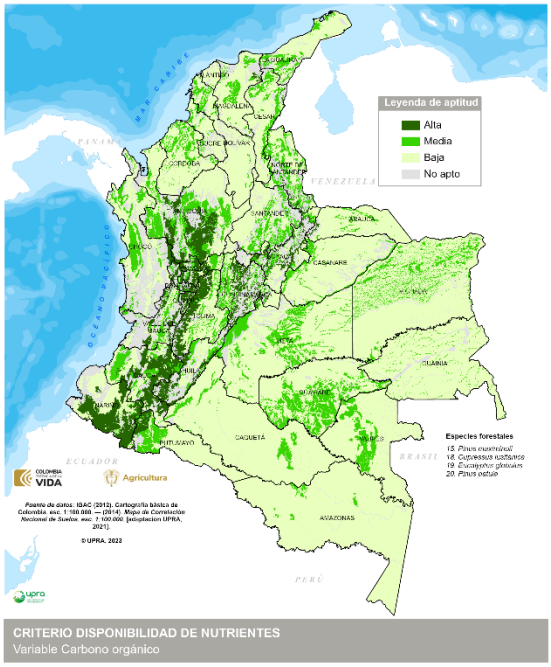
Grupo 1

1. *Acacia mangium*
2. *Eucalyptus pellita*
3. *Eucalyptus tereticornis*
4. *Eucalyptus urograndis*
5. *Eucalyptus urophylla*
6. *Gmelina arborea*
7. *Pinus caribaea*
8. *Tectona grandis*
9. *Bombacopsis quinata*
10. *Tabebuia rosea*
11. *Ochroma pyramidale*



Grupo 2

12. *Eucalyptus camaldulensis*
13. *Pinus tecunumanii*
14. *Cordia alliodora*
16. *Eucalyptus grandis*
17. *Pinus oocarpa*



Grupo 3

4. *Cupressus lusitanica*
6. *Eucalyptus globulus*
15. *Pinus maximinoi*
17. *Pinus patula*

Fuentes de información

Aguilera, S.M. (2000). *Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos*. En Simposio Proyecto Ley Protección de Suelo. Boletín 14. 77-85. https://n9.cl/dfdc1b

Borie, G. Aguilera, S.M. y Peirano, P. (1999). Actividad biológica en suelos. *Frontera Agrícola 5*(1-2), 29-32. https://n9.cl/0ffpk

Dirección Nacional de Planeación (2016). Plan nacional de adaptación al cambio climático: líneas de acción prioritarias para la adaptación al cambio climático en Colombia. Dirección Nacional de Planeación (DNP), Ministerio de Ambiente y Desarrollo Social (MADS), Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), Unidad Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres (UNGRD), Parques Nacionales Naturales (PNN), Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). https://n9.cl/frsn0

Fassbender, H. (1987). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina* (2ª ed.). Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Jackson, M.L. (1958). *Soil chemical analysis*. Prentice-Hall. Englewood Cliffs.

Martínez, E., Fuentes, J.E. y Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *R.C. Suelo Nutr Veg, 8*(1), 68-96. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912008000100006

1.2.4. Variable *capacidad de intercambio catiónico (CIC)*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: físico. Subcomponente: edáfico		
Criterio asociado: *disponibilidad de nutrientes*		
Variable: *capacidad de intercambio catiónico (CIC)*	Unidad de medida: cmol/kg de suelo	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

De acuerdo con Chapman (Malagón y Montenegro, 1990), los cationes retenidos en la superficie de minerales del suelo y dentro del enrejado cristalino de algunos minerales y los que hacen parte de ciertos compuestos orgánicos pueden ser reversiblemente reemplazados por los de las soluciones salinas y ácidas. La suma de estos cationes se define como la capacidad de intercambio catiónico y usualmente se expresa en miliequivalentes por 100 gramos de suelo, centimoles por kilogramo de suelo o milimoles de carga por kilogramo de suelo o del material edáfico al que se le determinó.

Importancia de la variable para el cultivo

La capacidad de intercambio de cationes y aniones es una de las características más importantes del suelo, ya que determina la retención de la mayoría de los elementos requeridos para la nutrición vegetal y constituye gran parte de la capacidad reguladora del medio (Cortés y Malagón, 1984). La CIC tiene gran influencia en las propiedades químicas, físicas y biológicas de los suelos. Además, es un indicador de la fertilidad de los suelos, dado que controla la disponibilidad de nutrientes para las plantas e interviene tanto en los procesos de floculación y dispersión de la arcilla como en la estructura y estabilidad de los agregados.

El suelo no solamente retiene los elementos denominados mayores (N, P, K) y los secundarios (Ca, Mg y S), sino también los elementos menores o micronutrientes (Fe, B, Mn, Zn, Cl, Mo, Cu, Ni), necesarios para la nutrición de las plantas. Es un indicativo de la capacidad reguladora de los suelos es decir, la capacidad de evitar cambios bruscos en el pH del suelo o capacidad amortiguadora contra ellos. Los suelos con baja CIC pueden retener pocos cationes, por lo que requieren dosis más frecuentes de fertilizantes que los suelos con alta (Cortés y Malagón, 1984).

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

No se determinó área no apta (N1) para esta variable, debido a que a las unidades de tierras con baja CIC se les puede aplicar enmiendas como la materia orgánica para mejorar la capacidad de intercambio de cationes.

Limitantes de la evaluación de la variable

La mayoría de las unidades cartográficas de suelos a escala 1:100.000 fueron asociaciones y se calificó el componente taxonómico de mayor representatividad dentro de la unidad. Esto significa que dentro de la unidad existen áreas de diferentes tamaños que tienen CIC de diferente aptitud al componente calificado.

Metodología de procesamiento de la información

La variable se obtuvo a partir de la información de los resultados de laboratorio de suelos que proporciona la base de datos del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014). Cabe aclarar que los valores de CIC se tomaron de los horizontes superficiales de los perfiles modales. Para asignar las calificaciones, se contempló la siguiente tabla de consideraciones generales para interpretar análisis de suelos (IGAC, 2010):

CIC (cmol/kg de suelo)	Aptitud
≥20	Alta (A1)
10-20	Media (A2)
<10	Baja (A3)

Rangos para la asignación de valores de aptitud

Los rangos para asignar los valores de aptitud para la variable se construyeron de acuerdo con los requerimientos de cada una de las especies, como se muestra a continuación:

Especies	CIC (cmol/kg)			
	A1	A2	A3	N1
1. *Acacia mangium*	>20	10-20	<10	—
2. *Eucalyptus pellita*				
3. *Eucalyptus tereticornis*				
4. *Eucalyptus urograndis*				
5. *Eucalyptus urophylla*				
6. *Gmelina arborea*				
7. *Pinus caribaea*				
8. *Tectona grandis*				
9. Bombacopsis *quinata*				
10. *Tabebuia rosea*				
11. *Ochroma pyramidale*				

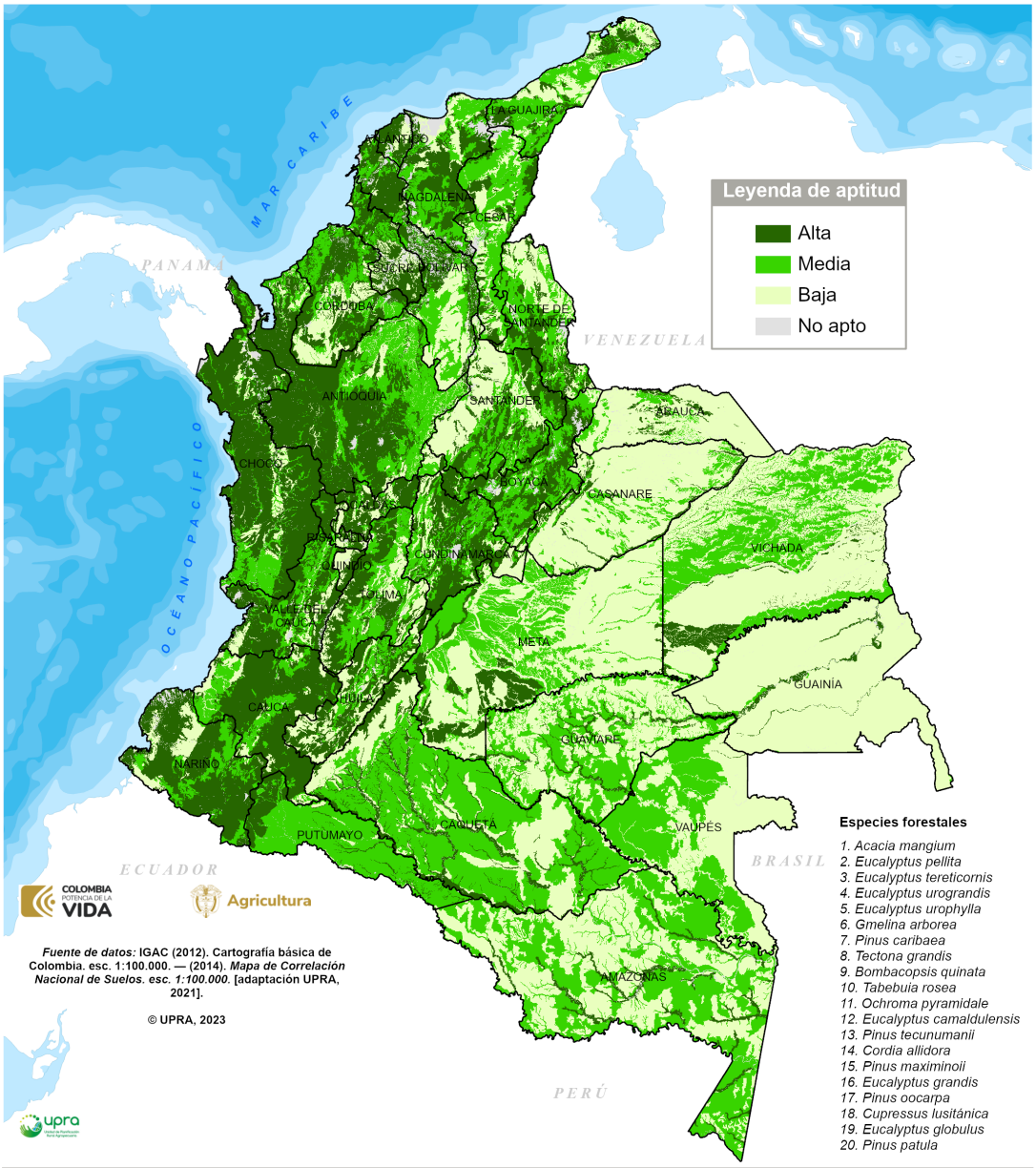
12. *Eucalyptus camaldulensis*				
13. *Pinus tecunumanii*				
14. *Cordia alliodora*				
15. *Pinus maximinoi*				
16. *Eucalyptus grandis*				
17. *Pinus oocarpa*				
18. *Cupressus lusitanica*				
19. *Eucalyptus globulus*				
20. *Pinus patula*				

Los rangos de aptitud de la variable se determinaron de acuerdo con las consultas realizadas tanto a los expertos de cada una de las especies forestales como a la literatura científica relacionada.

Unidad de análisis

Unidades cartográficas de suelos: asociaciones, consociaciones y complejos.

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO DISPONIBILIDAD DE NUTRIENTES
Variable Capacidad de intercambio Cationico

Fuentes de información

Cortés, A. y Malagón, D. (1984). *Los levantamientos agrológicos y sus aplicaciones múltiples*. Universidad Jorge Tadeo Lozano.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (1995). *Suelos de Colombia: origen, evolución, clasificación, distribución y uso*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

1.3. Criterio *toxicidad por sales, sodio y aluminio*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: físico. Subcomponente: edáfico		
Criterio: *toxicidad por sales, sodio y aluminio*		
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	✓
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Variables asociadas al criterio

Salinidad y sodicidad: salinidad expresada en dS/m; sodicidad expresada en porcentaje de saturación de sodio (PSI).

Saturación de aluminio, expresada en porcentaje de saturación.

Definición

Presencia de elementos en el suelo en concentraciones mayores a las requeridas, que son tóxicas para las especies forestales y restringen tanto el crecimiento de las plantas como la producción de madera. Además, produce efectos adversos sobre algunas propiedades de los suelos.

Importancia del criterio para el cultivo

Algunos elementos en cantidades elevadas que no sólo restringen el uso de las tierras y sólo permiten el establecimiento de ciertas plantas resistentes, sino que también incrementan los costos para la adecuación y manejo a través de enmiendas.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

De acuerdo con la fisiología de las plantas con las propiedades de los suelos colombianos, cada una de las variables incluidas en el criterio presenta rangos donde no es posible el desarrollo de las especies forestales. De este modo, se consideraron no aptas (N1) para el cultivo las tierras que presenten saturaciones de sodio (PSI) superior a 15 % y salinidad mayor a 12 dS/m.

Limitantes para la evaluación del criterio

La mayoría de las unidades cartográficas de suelos a escala 1:100.000 fueron asociaciones y para cada variable del criterio se calificó el componente taxonómico de mayor representatividad. Esto significa que dentro de la unidad existen áreas con calificaciones diferentes al componente calificado y que no pueden ser representadas en el mapa. En cuanto a los contenidos de sales y sodio, la base del mapa nacional de correlación de suelos no en todos los casos presentó los valores, sino que se refiere a la presencia o no presencia. En la concentración de aluminio, sí existe una correlación con los rangos propuestos y las calificaciones cualitativas.

Metodología de procesamiento de la información

Las clases de aptitud de cada una de las variables involucradas en el criterio se extractaron de la base de datos del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014), y se dio la calificación que técnicamente se consideró en cada una de las variables, así:

Salinidad o sodicidad		
Salinidad (dS/m)	**Saturación de sodio (%)**	**Aptitud**
<4	<15 (no sódico)	Alta (A1)
4-8	—	Media (A2)
8-12	—	Baja (A3)
>12	>15 (sódico)	No apto (N1)

Saturación de aluminio (%)			
Grupo 1	**Grupo 2**	**Grupo 3**	**Aptitud**
<15	<30	<60	Alta (A1)
15-30	30-60	60-90	Media (A2)
30-60	>60	>90	Baja (A3)
>60	—	—	No apta (N1)

Los rangos de aptitud de las variables se determinaron de acuerdo con las consultas realizadas tanto a los expertos en cada una de las especies forestales como a la literatura científica relacionada.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

El argumento para discriminar los diferentes niveles de aptitud ser trató de la limitación que cada una de las variables representa en el desarrollo del cultivo de cada especie, ya que reduce las posibilidades del adecuado desarrollo de los árboles. En este sentido, se presenta un bajo nivel de formación de las estructuras y, como consecuencia, surgen malos índices de crecimiento y desarrollo.

Árbol de decisión para el criterio

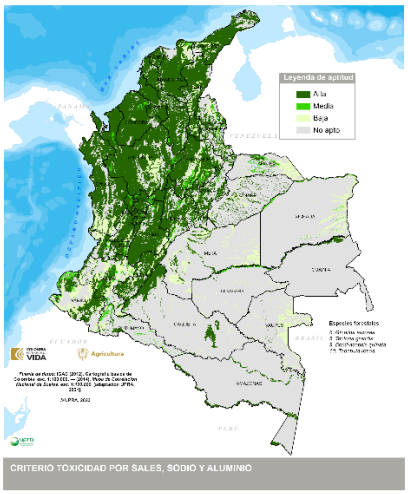
Saturación de aluminio (%)			Salinidad (CE dS/m)	Saturación de sodio (PSI)	Aptitud
Grupo 1	**Grupo 2**	**Grupo 3**			
≤15	≤30	≤60	≤4	No sódico	A1
				Sódico	N1
			4-8	No sódico	A2
				Sódico	N1
			8-12	No sódico	A3
				Sódico	N1
			>12	Cualquiera	N1
15-30	30-60	60-90	≤4	No sódico	A2
				Sódico	N1

			4-8	No sódico	A2
				Sódico	N1
			8-12	No sódico	A3
				Sódico	N1
			>12	Cualquiera	N1
	>60	>90	≤4	No sódico	A3
				Sódico	N1
			4-8	No sódico	A3
				Sódico	N1
			8-12	No sódico	A3
				Sódico	N1
			>12	Cualquiera	N1
>60	—	—	Cualquiera	Cualquiera	N1

Unidad de análisis

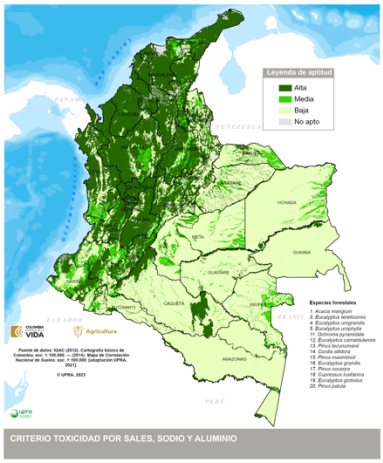
Unidades cartográficas de suelos: asociaciones, consociaciones y complejos.

Representación cartográfica del criterio



Grupo 1

3. *Bombacopsis quinata*
12. *Gmelina arborea*
19. *Tabebuia rosea*
20. *Tectona grandis*

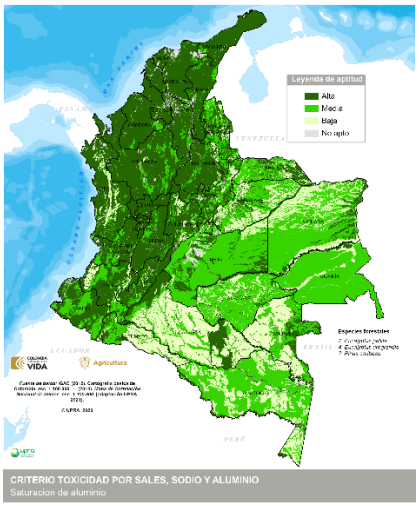


Grupo 2

1. *Acacia mangium*
2. *Ochroma pyramidale*
4. *Cupressus lusitanica*
5. *Eucalyptus camaldulensis*
6. Eucalyptus *globulus*
7. *Eucalyptus grandis*
8. *Eucalyptus pellita*
9. *Eucalyptus tereticornis*
10. *Eucalyptus urograndis*
11. *Eucalyptus urophylla*
13. *Cordia alliodora*
15. *Pinus maximinoi*
16. *Pinus oocarpa*
17. *Pinus patula*
18. *Pinus tecunumanii*

Grupo 3

8. *Eucalyptus pellita*
10. *Eucalyptus urograndis*
14. *Pinus caribaea*



Fuentes de información

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

1.3.1. Variable *salinidad y sodicidad*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: físico. Subcomponente: edáfico		
Criterio asociado: *toxicidad por sales, sodio y aluminio*		
Variable: *salinidad y sodicidad*	Unidad de medida: salinidad (dS/m) y sodicidad (PSI)	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	✓
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Contenido alto de sales solubles o sodio intercambiable en el suelo. El contenido de sales se determina normalmente en términos de conductividad eléctrica (CE), pero puede expresarse con cantidad o porcentaje de sales en el suelo o en cantidad de aniones en la fracción de cambio. El sodio se determina como el porcentaje de sodio intercambiable (PSI).

Importancia de la variable para el cultivo

La salinidad y la sodicidad pueden presentarse en forma natural o adquirida. En forma natural, se asocian con el fenómeno climático de *aridez*, con los materiales cuyo origen es rico en sales —como sucede con algunas rocas sedimentarias— y con los ascensos del nivel freático, el cual deja en la parte superficial del suelo altos contenidos de sales o de sodio. En forma adquirida, se relaciona con los riegos prolongados con aguas de altos contenidos de sales y con aguas de buena calidad pero mal manejadas en climas con regímenes de humedad ústico (Garavito, 1979). En suelos salinos, el catión sodio es el que predomina en la solución del suelo; mientras que el calcio y el magnesio, debido a su mayor fuerza de adsorción, ocupan la mayor proporción de los iones dentro de la doble capa difusa, o sea, de forma intercambiable (Garavito, 1979).

Los contenidos altos de sales solubles o de sodio intercambiable elevan el pH del suelo, lo que afecta el desarrollo de las especies forestales. El principal efecto perjudicial de las sales es la alta presión osmótica en la solución del suelo (Garavito, 1979). La salinidad influye en los valores del pH y en la disponibilidad de nutrientes. Así mismo, afecta no sólo el ritmo de absorción de los iones potasio (K^+), nitrato (NO_3), fósforo (PO_4) y calcio (Ca^+), sino también la translocación y el reciclado de iones en la planta. El sistema radicular no se desarrolla adecuadamente, las raíces profundizan menos y hay menos ramificaciones, pero no, división y crecimiento celular, por lo que las plantas crecen menos. La tolerancia a la salinidad es independiente de cada especie, pero pueden agruparse en rangos en donde adaptación diferentes especies arbóreas.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

Se considera que unidades de tierra con presencia de conductividad eléctrica mayor de 12 dS/m y saturación de sodio mayor de 15 % no son aptas (N1) para el establecimiento de cultivos de especies maderables, debido a las mínimas probabilidades de su buen desarrollo.

Limitantes de la evaluación de la variable

La principal dificultad para evaluar esta variable fue la falta de información. En los estudios generales de suelos a escala: 1:100.000, solamente aparece la presencia o no presencia de sales. Las sales no se presentan de manera uniforme, pues varían tanto de forma horizontal como vertical en el transcurso del año. La presencia se evidencia en forma de manchas y costras —las sales se presentan como afloramientos de costras blancas, mientras que el sodio, en costras negras, debido a la dispersión de la materia orgánica—. Estas características dificultan la toma de información por parte de los edafólogos en el campo para realizar su respectivo mapeo.

Metodología de procesamiento de la información

Los suelos salinos y los sódicos se obtuvieron a partir de la base de datos del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014). La calificación de *salino* o *no salino* y de sódico o *no sódico* se le dio al mayor componente taxonómico dentro de la unidad cartográfica de suelos. Los límites de variación se construyeron a partir de la tabla para el cálculo de la fertilidad (IGA, 2010).

Rangos para la asignación de valores de aptitud

Los suelos con aptitud alta (A1) fueron los que presentan conductividad eléctrica menor de 4 dS/m (no salino) y menos del 15 % de sodio intercambiable; con aptitud media (A2), se calificaron los suelos ligeramente salinos (4 a 8 dS/m) y menos de 15 % de saturación de sodio; los suelos con baja aptitud (A3) fueron los que presentaron de 8 a 12 dS/m; los suelos no aptos (N1) fueron suelos sódicos y salino sódicos, que presentaron más del 15 % de saturación de sodio o más de 12 dS/m de salinidad. Esta variable presentó los siguientes rangos de aptitud:

Especies	Salinidad y sodicidad (% y dS/m)			
	A1	A2	A3	N1
1. *Acacia mangium*	<4 dS/m <15 %	4-8 dS/m —	8-12 dS/m —	>12 dS/m >15 %
2. *Eucalyptus pellita*				
3. *Eucalyptus tereticornis*				
4. *Eucalyptus urograndis*				
5. *Eucalyptus urophylla*				
6. *Gmelina arborea*				
7. *Pinus caribaea*				
8. *Tectona grandis*				
9. *Bombacopsis quinata*				
10. *Tabebuia rosea*				
11. *Ochroma pyramidale*				

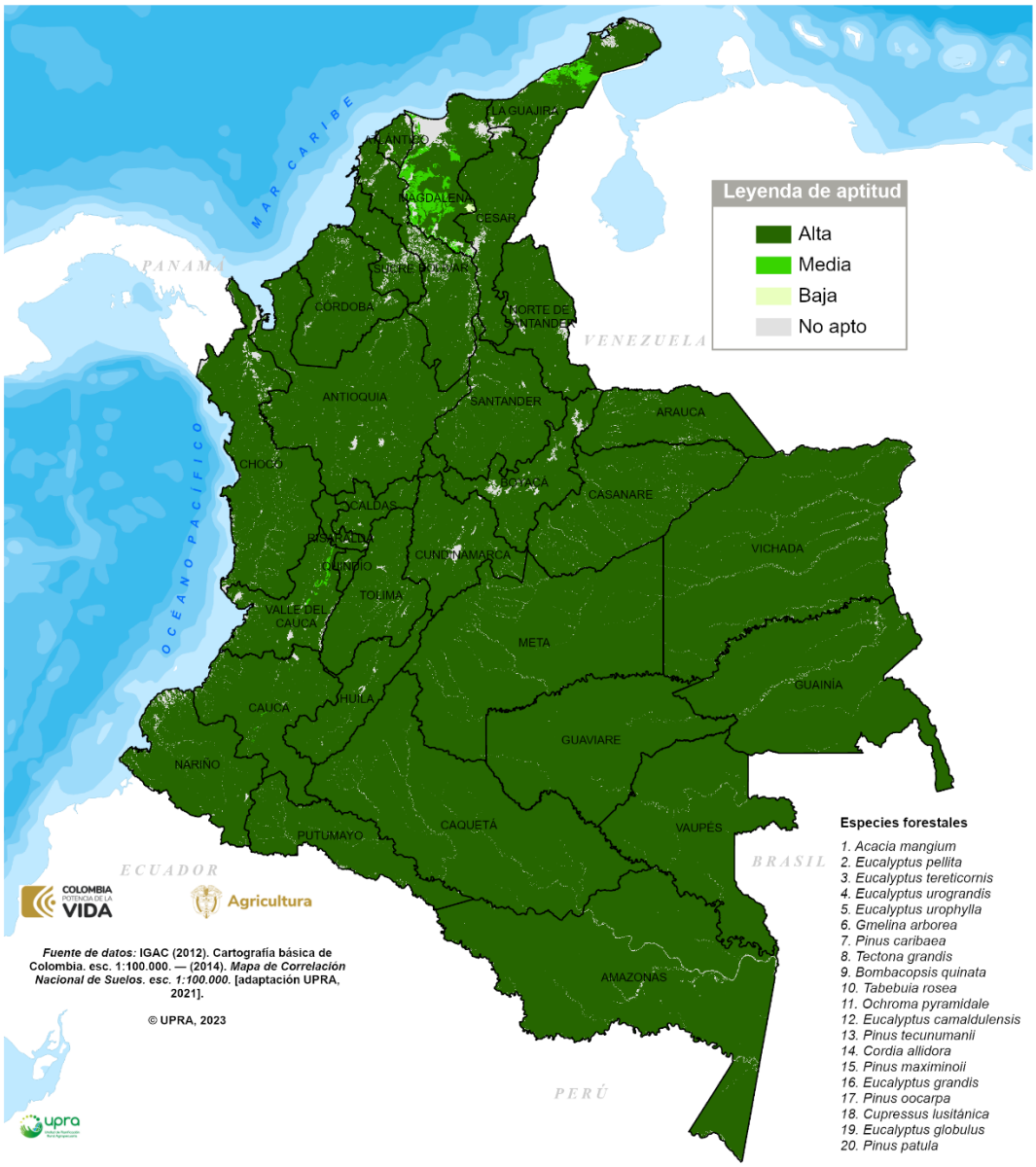
12. *Eucalyptus camaldulensis*				
13. *Pinus tecunumanii*				
14. *Cordia alliodora*				
15. *Pinus maximinoi*				
16. Eucalyptus *grandis*				
17. *Pinus oocarpa*				
18. *Cupressus lusitanica*				
19. Eucalyptus *globulus*				
20. *Pinus patula*				

Los rangos de aptitud de las variables se determinaron de acuerdo con las consultas realizadas tanto a los expertos en cada una de las especies forestales como a la literatura científica relacionada.

Unidad de análisis

Unidades cartográficas de suelos: asociaciones, consociaciones y complejos.

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO TOXICIDAD POR SALES, SODIO Y ALUMINIO
Salinidad y sodicidad

Fuentes de información

Garavito, F. (1979). *Propiedades químicas de los suelos* (2.ª ed). Ministerio de Hacienda y Crédito Público, Instituto Geográfico "Agustín Codazzi" (IGAC), Subdirección Agrológica.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014a). *Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014b). *Metodología para elaborar y actualizar áreas homogéneas de tierras con fines catastrales*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

1.3.2. Variable *saturación de aluminio*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: físico. Subcomponente: edáfico		
Criterio asociado: *toxicidad por sales, sodio y aluminio*		
Variable: *saturación de aluminio*	Unidad de medida: porcentaje	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	✓
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Proporción de iones de aluminio (Al^{+++}) en el complejo de cambio y en la solución del suelo. Se debe a la mezcla de iones de aluminio y de hidrógeno (H^{+}) intercambiables (desplazables) con una sal neutra (KCl). También incluye pequeñas cantidades de hierro, manganeso y zinc intercambiables (Garavito, 1979).

Importancia de la variable para el cultivo

La saturación de aluminio del suelo (sal) hace referencia a la acidez debida al ion aluminio (Al^{+++}), que es abundante en suelos ácidos con pH menor de 5,5 el cual afecta el desarrollo de las plantas. Inhibe la división celular, causa deficiencias de fósforo e impide la absorción del calcio, magnesio y potasio. Se ha establecido que, cuando se encuentra menos de 1 ppm de Al^{+++} en la solución del suelo, la saturación es menor de 60 % y no hay efecto tóxico en las plantas de tolerancia moderada a aluminio; cuando es mayor de 60 %, la concentración de aluminio en la solución del suelo aumenta rápidamente (Cortés y Malagón, 1984).

Limita la degradación microbiana de la materia orgánica; inhibe el crecimiento de las raíces y reduce la toma de agua y de nutrientes, lo cual afecta la productividad. Para poder utilizar suelos con altos niveles de Al^{+++} intercambiable, es necesario aplicar altas dosis de enmiendas alcalinas, para elevar el pH a niveles no tóxicos, o utilizar plantas que sean tolerantes a la acidez (Cortés y Malagón, 1984). Los niveles de tolerancia de aluminio por las especies forestales no han sido profundamente estudiados, aunque existen algunos reportes de resistencia al elemento, principalmente en forma cuantitativa (Ko, T. *et al*., 2009; CeniCafé, 2011; Da Silva, S. *et al*., 2019. Forestal Maderero, 2018).

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

Para las especies ceiba tolúa, melina, roble y teca se determinaron como zonas no aptas (N1) los suelos con saturación de aluminio mayor al 60 %.

Limitantes de la evaluación de la variable

La mayoría de las unidades cartográficas de suelos a la escala 1:100.000 fueron asociaciones y se calificó el componente taxonómico de mayor representatividad. Esto significa que hay áreas con contenidos de aluminio diferente al componente calificado que pueden o no ser restrictivos.

Metodología de procesamiento de la información

La calificación de aptitud de los contenidos de aluminio (Al^{+++}) se obtuvo a partir de la base de datos del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014).

Rangos para la asignación de valores de aptitud

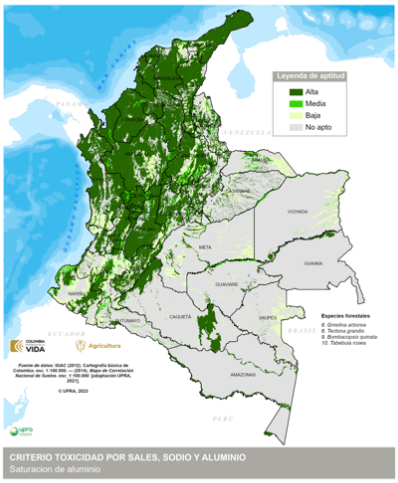
En conformidad con las saturaciones de aluminio que pueden tolerar las diferentes especies forestales, se consideraron los siguientes rangos de aptitud:

Especies	Saturación de aluminio (%)			
	A1	A2	A3	N1
Grupo 1				
6. *Gmelina arborea*	<15	15-30	30-60	>60
8. *Tectona grandis*				
9. *Bombacopsis quinata*				
10. *Tabebuia rosea*				
Grupo 2				
1. *Acacia mangium*	<30	30-60	>60	—
3. *Eucalyptus tereticornis*				
5. *Eucalyptus urophylla*				
11. *Ochroma pyramidale*				
12. *Eucalyptus camaldulensis*				
13. *Pinus tecunumanii*				
14. *Cordia alliodora*				
15. *Pinus maximinoi*				
16. *Eucalyptus grandis*				
17. *Pinus oocarpa*				
18. *Cupressus lusitanica*				
19. *Eucalyptus globulus*				
20. *Pinus patula*				
Grupo 3				
2. *Eucalyptus pellita*	<60	60-90	>90	—
4. *Eucalyptus urograndis*				
7. *Pinus caribaea*				

Unidad de análisis

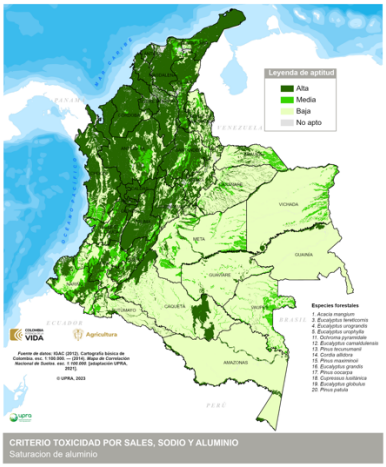
Unidades cartográficas de suelos: asociaciones, consociaciones y complejos.

Representación cartográfica de la variable



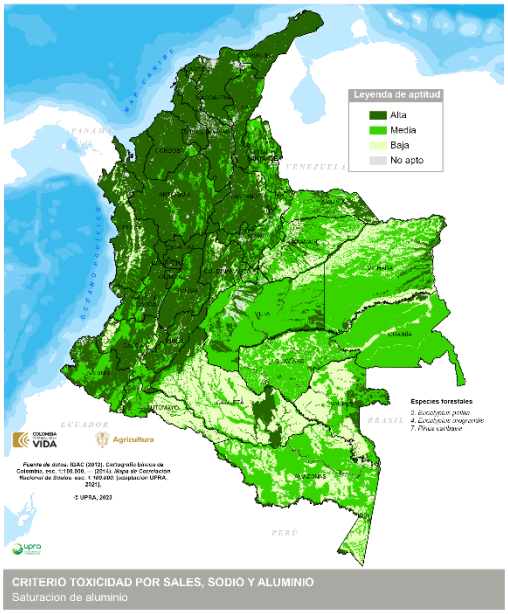
Grupo 1

3. *Bombacopsis quinata*
12. *Gmelina arborea*
19. *Tabebuia rosea*
20. *Tectona grandis*



Grupo 2

1. *Acacia mangium*
2. *Ochroma pyramidale*
4. *Cupressus lusitanica*
5. *Eucalyptus camaldulensis*
6. *Eucalyptus globulus*



Grupo 3

8. *Eucalyptus pellita*
10. *Eucalyptus urograndis*
14. *Pinus caribaea*

7. *Eucalyptus grandis*
8. *Eucalyptus pellita*
9. *Eucalyptus tereticornis*
10. *Eucalyptus urograndis*
11. *Eucalyptus urophylla*
13. *Cordia alliodora*
15. *Pinus maximinoi*
16. *Pinus oocarpa*
17. *Pinus patula*
18. *Pinus tecunumanii*

Fuentes de información

Cortés, A. y Malagón, D. (1984). *Los levantamientos agrológicos y sus aplicaciones múltiples*. Universidad Jorge Tadeo Lozano.

Garavito, F. (1979). *Propiedades químicas de los suelos* (2.ª ed). Ministerio de Hacienda y Crédito Público, Instituto Geográfico "Agustín Codazzi" (IGAC), Subdirección Agrológica.

Gomes, S.S., Gonçalves, J.L., Rocha, J.H y Menegale, M.L. (2019). Tolerance of eucalyptus and pinus seedlings to exchangeable aluminium. *Sci Agric (Piracicaba Braz) 76*(6), 594-500. https://doi.org/10.1590/1678-992X-2018-0011

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014a). *Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014b). *Metodología para elaborar y actualizar áreas homogéneas de tierras con fines catastrales*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Ko, T., Koh, H., Seiji, O., Katsumi, K. & Kenji, S. (2009). *Aluminum-detoxifying compounds in roots of Eucalyptus camaldulensis*. UC Davis: Department of Plant Sciences: https://escholarship.org/uc/item/9k7244qb

Ospina, C.M., Hernández, R.J., Rincón, E.A., Sánchez, F.A., Urrego, J.B., Rodas, C.A, Ramírez, C.A. y Riaño, N.M. (2011). *Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana: el pino pátula (*Pinus patula *Deppe in Schlecht. & Cham)*. Centro Nacional de Investigaciones de Café (CeniCafé). https://n9.cl/afhj4

1.4. Criterio *condiciones de enraizamiento*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: físico. Subcomponente: edáfico		
Criterio: *condiciones de enraizamiento*		
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	✓
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Variables asociadas al criterio

Profundidad efectiva, expresada en centímetros.

Textura, expresada en clases texturales.

Pedregosidad, expresada en fases cartográficas de pedregosidad.

Definición

Conjunto de características físicas del suelo que permiten el buen desarrollo del sistema radicular de la especies forestales que lleva a la formación adecuada de los árboles.

Importancia del criterio para el cultivo

En la medida en que las raíces puedan explorar mayor volumen de suelo y tener un espacio físico adecuado, las posibilidades de abastecerse de agua y de nutrientes son mayores, de lo cual depende no sólo el normal desarrollo del sistema de raíces y la producción de follaje y madera, sino también la posibilidad de anclarse al suelo y soportar su peso.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado

Se consideraron suelos no aptos (N1) en los cuales no es viable establecer especies forestales cuando hay contactos con los grupos *lithic*, *petroferric*, *petrocalcic* y *petrogypsic*.

Limitantes para la evaluación del criterio

La mayoría de las unidades cartográficas de suelos a escala 1:100.000 fueron asociaciones, para cada una de cuyas variables que conforman el criterio se calificó el componente taxonómico de mayor representatividad dentro de la unidad. Esto significa que dentro de la unidad existen áreas que tienen calificaciones diferentes al componente calificado y que corresponden a aptitudes diferentes.

Metodología de procesamiento de la información

La información para las tres variables que conforman este criterio se obtuvieron del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014), que corresponde a los límites de variación de las clases de profundidad (centímetros), fase de pedregosidad (porcentaje por volumen) y las clases texturales. La calificación de este criterio se llevó a cabo por medio de un árbol de decisión, como se muestra a continuación:

Profundidad efectiva (cm)	Aptitud
≥60	Alta (A1)
30-60	Media (A2)
<30	Baja (A3)
Lithic, *petroferric*, *petrocalcic*, *petrogypsic*	No apto (N1)

Textura	Aptitud
F, FL, FA, FarA, L, FarL, Far	Alta (A1)
A, AF, ArA, Ar, ArL	Media (A2)
Vertisoles	Baja (A3)

Pedregosidad	Aptitud
Sin fase de pedregosidad	Alta (A1)
Con fase de pedregosidad	Baja (A3)

Los rangos de aptitud de las variables se determinaron de acuerdo con las consultas realizadas tanto a los expertos en cada una de las especies forestales como a la literatura científica relacionada.

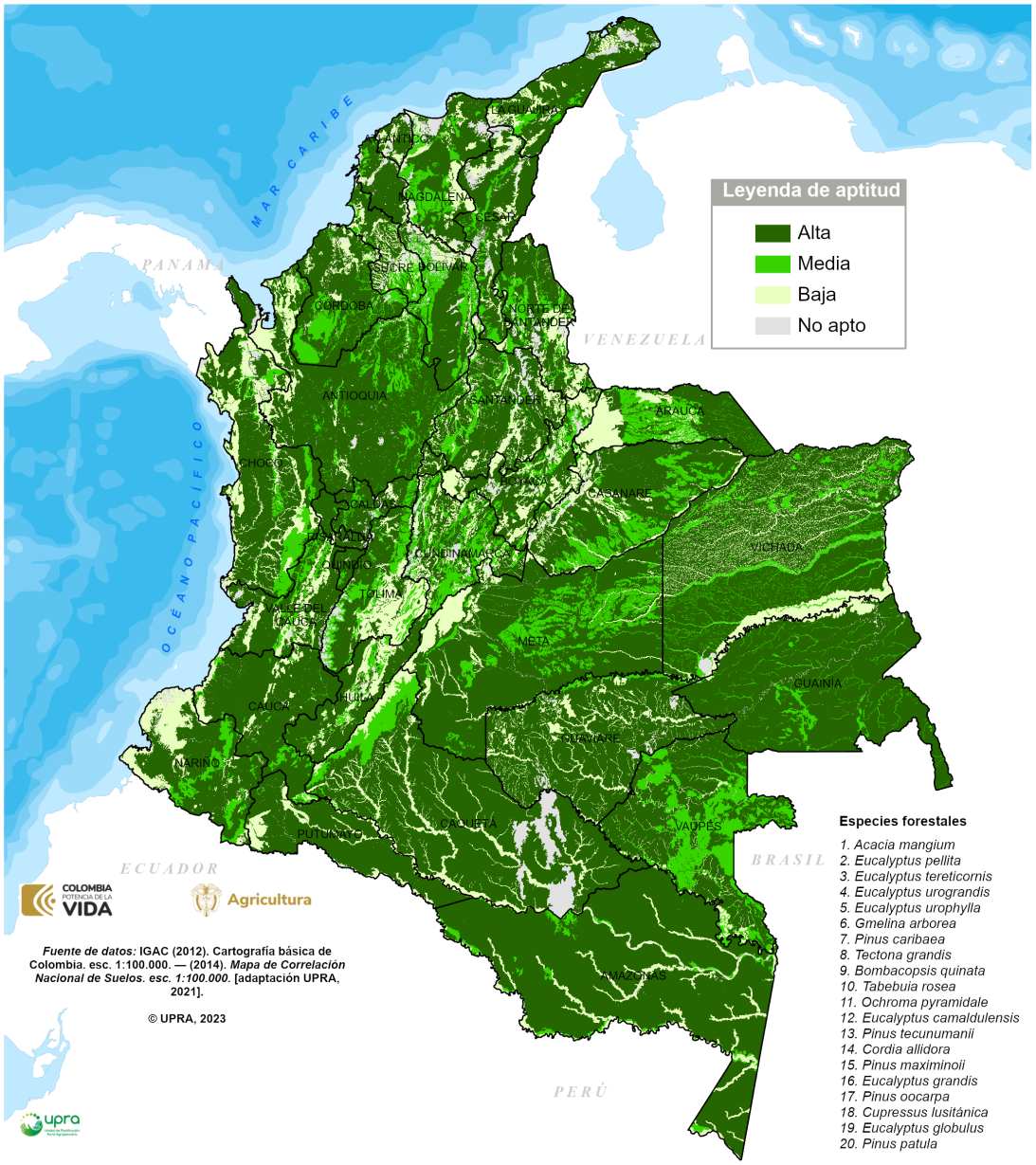
Rangos para la asignación de valores de aptitud

Pendiente	Pedregosidad	Textura	Aptitud
A1	A1	A1	A1
		A2	A1
		A3	A3
	A3	Cualquiera	A3
A2	A1	A1	A2
		A2	A2
		A3	A3
	A3	Cualquiera	A3
A3	A1	A1	A3
		A2	A3
		A3	A3
	A3	Cualquiera	A3
N1	Cualquiera	Cualquiera	N1

Unidad de análisis

Unidades cartográficas de suelos: asociaciones, consociaciones y complejos.

Representación cartográfica del criterio



CRITERIO CONDICIONES DE ENRAIZAMIENTO

Fuentes de información

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

1.4.1. Variable *profundidad efectiva*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: físico. Subcomponente: edáfico		
Criterio asociado: *condiciones de enraizamiento*		
Variable: *profundidad efectiva*	Unidad de medida: centímetros	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	✓
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Espacio en el que las raíces de las plantas pueden penetrar sin mayores restricciones para conseguir el agua y los nutrientes indispensables. También se define como el total de la profundidad del perfil del suelo que es favorable para el desarrollo de las raíces (Klingebiel & Montgomery, 1961)

Importancia de la variable para el cultivo

Determina el espacio donde las raíces pueden crecer, lo cual afecta el desarrollo de las plantas. En un suelo profundo, las plantas pueden encontrar mayor humedad, por lo que resisten mejor la sequía, ya que el suelo puede almacenar más agua. De igual manera, la planta puede tomar los nutrientes que están almacenados en los horizontes más profundos del suelo. La mayoría de especies forestales requieren suelos profundos, aunque algunas se adaptan a diferentes condiciones y sus raíces crecen horizontalmente (Kadir *et al*., 1998; Camino, 2013).

Para el buen desarrollo de las especies forestales, se considera que el suelo debe no sólo tener una profundidad efectiva mayor a 60 centímetros, sino también estar libre de fragmentos gruesos y de contactos (líticos, petroférricos, petrocálcicos), debido a que estos árboles poseen raíz pivotante estructurada en un eje vertical primario que necesita suficiente espacio para su crecimiento. Además, en profundidades mayores a 30 centímetros las raíces se enfatizan en el sostén; mientras que una profundidad efectiva delgada se constituye en una limitante en la capacidad de anclaje por lo que los árboles tienen mayor susceptibilidad de volcarse. Otros elementos que afectan la profundidad efectiva son las condiciones de hidromorfismo, los contrastes texturales, las fluctuaciones del nivel freático y los encharcamientos e inundaciones, los cuales se evalúan en otros criterios.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado, según el criterio asociado

Se consideraron suelos no aptos (N1) para el establecimiento de las especies forestales dado que existen contactos con los grupos *lithic*, *petroferric*, *petrocalcic* y *petrogypsic* en las capas superficiales de los suelos.

Limitantes de la evaluación de la variable

La mayoría de las unidades cartográficas de suelos en los estudios generales representaron asociaciones y se calificó la profundidad del componente de mayor representatividad dentro de la unidad. Esto quiere decir que en la unidad cartográfica existen algunos sectores con diferentes profundidades efectivas a la calificada y aptitudes diferentes.

Metodología de procesamiento de la información

De acuerdo con la clasificación definida por el IGAC (2010) para los estudios generales de suelos, los límites de variación de la profundidad efectiva del suelo se establecen, según las clases por profundidad efectiva de los suelos, de la siguiente manera

Clase	Profundidad (cm)
Muy superficial	<25
Superficial	25-50
Moderadamente superficial	50-75
Moderadamente profunda	75-100
Profunda	100-150
Muy profunda	>150

Las clases de profundidad efectiva se obtuvieron a partir del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014). En la determinación de las clases de aptitud para la profundidad efectiva de los suelos, se tuvieron en cuenta las limitaciones absolutas, como la presencia de roca continua/compacta y los contactos pétricos, dado que otras, como los horizontes argílicos y compactados, pueden ser mejorados con el uso de subsoladores y cinceles.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

Se determinó para las veinte especies forestales como tierras con *aptitud alta* (A1) los suelos con profundidad mayor a 60 centímetros; con *aptitud media* (A2), los suelos con entre 30 y 60 centímetros de profundidad: y con *aptitud baja* (A3), lo suelos con menos de 30 centímetros de profundidad. Así mismo, para todas las especies se excluyeron los contactos líticos y pétricos, por no tener espacio físico suficiente para el desarrollo del sistema subterráneo de estos árboles. Esta variable presenta los siguientes rangos de aptitud:

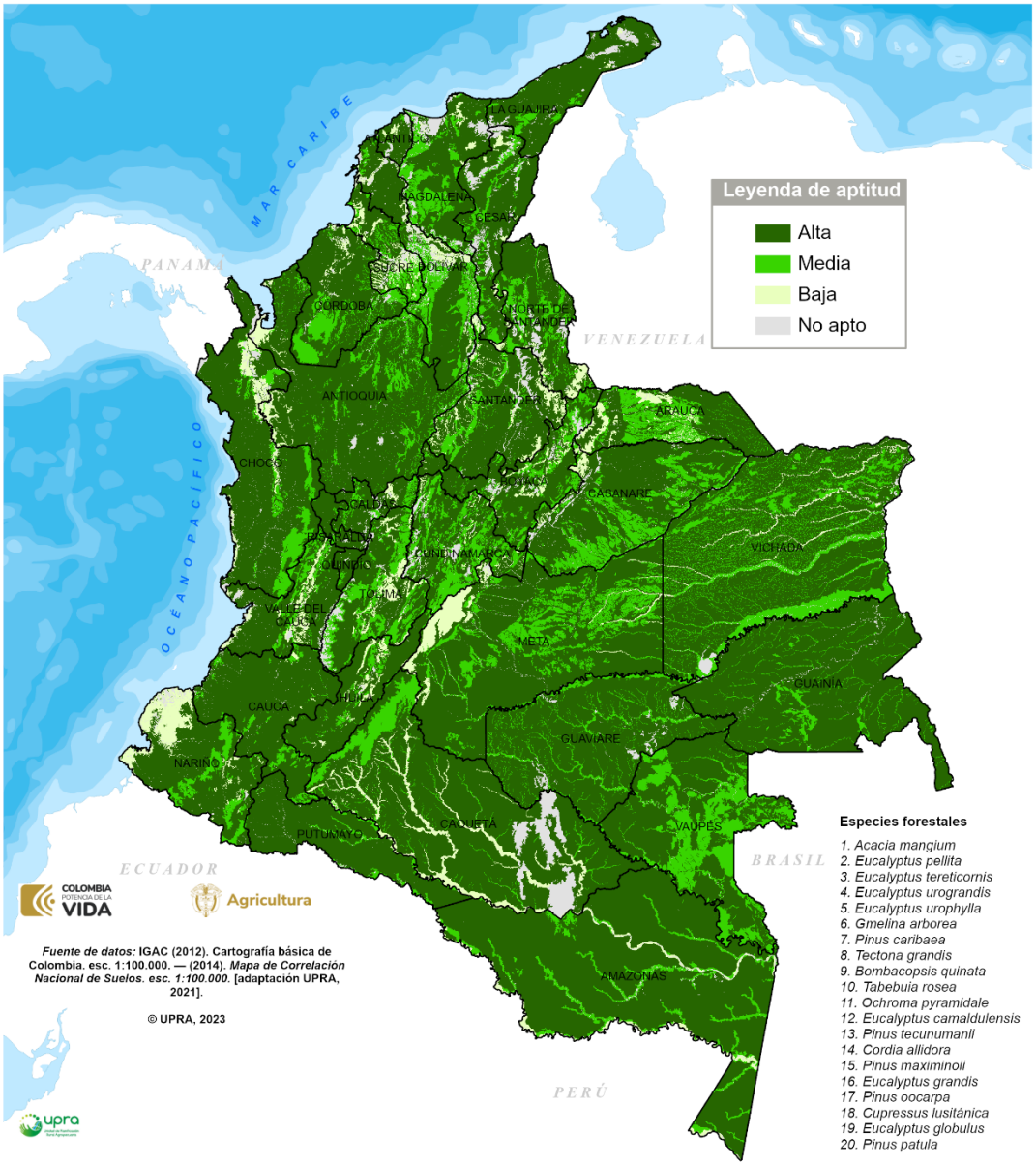
Especies	Profundidad efectiva			
	A1	A2	A3	N1
1. *Acacia mangium*	>60cm	30-60 cm	<30 cm	*Lithic*, *petroferric*, *petrocalcic*, *petrogypsic*
2. *Eucalyptus pellita*				
3. *Eucalyptus tereticornis*				
4. *Eucalyptus urograndis*				
5. *Eucalyptus urophylla*				
6. *Gmelina arborea*				
7. *Pinus caribaea*				
8. *Tectona grandis*				
9. *Bombacopsis quinata*				
10. *Tabebuia rosea*				
11. *Ochroma pyramidale*				
12. *Eucalyptus camaldulensis*				
13. *Pinus tecunumanii*				
14. *Cordia alliodora*				
15. *Pinus maximinoi*				
16. *Eucalyptus grandis*				
17. *Pinus oocarpa*				
18. *Cupressus lusitanica*				
19. *Eucalyptus globulus*				
20. *Pinus patula*				

Los rangos de aptitud de la variable se determinaron de acuerdo con las consultas realizadas tanto a los expertos en cada una de las especies forestales como a la literatura científica relacionada.

Unidad de análisis

Unidades cartográficas de suelos: asociaciones, consociaciones y complejos.

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO CONDICIONES DE ENRAIZAMIENTO
Profundidad efectiva

Fuentes de información

Camino, R, y Morales, J.P. (2013). La teca en América Latina. En Camino, R, y Morales, J.P. (Eds.). *Las plantaciones de teca en América Latina: mitos y realidades* (pp. 30-41). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), División de Investigación y Desarrollo. https://n9.cl/qd1egu

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Kadir, W.R., Kadir, A.A., Cleemput, O.V., & Rahman, Z.A. (1998). Field grown *Acacia mangium*: how intensive is root growth? *J Trop For Sci, 10*(3), 283-291. https://n9.cl/a77aj

Klingebiel, A.A. & P.H. Montgomery (1961). *Land-capability classification: agriculture handbook n.° 210*. United States Department of Agriculture (USDA), Soil Conservation Service.

1.4.2. Variable *textura*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: físico. Subcomponente: edáfico		
Criterio asociado: *condiciones de enraizamiento*		
Variable: *textura*	Unidad de medida: adimensional (clases texturales)	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Proporciones relativas de las partículas o fracciones de arena, limo y arcilla en la tierra fina del suelo, es decir, en la *tierra tamizada* y con diámetro inferior a dos milímetros (Malagón y Montenegro, 1990). Se relaciona con la resistencia que se ejerce sobre el crecimiento de las raíces.

Importancia de la variable para el cultivo

Se relaciona con la consistencia, la permeabilidad y la porosidad del suelo, lo cual afecta la penetración de las raíces y el espacio entre partículas para que circule el oxígeno y permita la aireación. En suelos de texturas finas, las raíces tienen mayor gasto de energía para penetrarlos y las plantas no se desarrollan satisfactoriamente; mientras que, en los suelos de texturas gruesas, se puede presentar exposición libre de las raíces por desplazamiento de las partículas por acción del agua o el viento.

La clase textural propicia todos los tipos de interacciones que se suelen presentar entre el suelo y las plantas, dado que las propiedades físicas de los suelos, que están relacionadas con el movimiento del agua y del oxígeno, son determinadas por este componente. Las especies forestales objeto de esta evaluación presentan un satisfactorio desarrollo en algunas clases texturales; sin embargo, se adaptan a diversas clases texturales, lo que constantemente genera buenos rendimientos (INAB 2017, 2018, 2019, 2020; Camino y Morales, 2013; CeniCafé, 2006, 2028, 2011).

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

No se excluyó ninguna clase textural para el desarrollo de las especies forestales, aunque los tipos de textura con altos contenidos de arcilla representaron mayor grado de dificultad para el desarrollo de las raíces.

Limitantes de la evaluación de la variable

La mayoría de las unidades cartográficas de suelos en los estudios generales representaron asociaciones o complejos de suelos, donde se calificó la clase textural en los horizontes superficiales del perfil más representativo. Por lo tanto, es posible tener algunos sectores dentro de cada unidad de suelos con texturas de diferente calificación que no fue posible reflejar en la calificación de la unidad.

Metodología de procesamiento de la información

Se consideraron las clases texturales de acuerdo con el triángulo textural aportada por la Soil Science Division Staff (2017), como se puede observar en la siguiente tabla:

Arenosa (A)
Arenosa franca (AF)
Franco-arenosa (FA)
Franca (F)
Franco-limosa (FL)
Limosa (L)
Franco-arcillo-arenosa (FarA)
Franco-arcillosa (Far)
Franco-arcillo-limosa (FarL)
Arcillo-arenosa (ArA)
Arcillo-limosa (ArL)
Arcillosa (Ar)

La información de base para determinar la textura asociada a las unidades de tierra fue el mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014). A partir de esta base de datos, se realizó un agrupamiento de clases texturales, de acuerdo con los rangos definidos. La variable se calificó con base en los requerimientos de cada especie en relación con el crecimiento y desarrollo de las plantas, los cuales fueron consultados tanto con los expertos en cada una de las especies forestales como con la literatura científica relacionada.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

Las clases texturales que se determinaron con *aptitud alta* (A1) presentaron proporciones adecuadas de partículas, como arcillas, limos y arenas. Las especies forestales pueden obtener un mejor desarrollo debido al buen suministro de oxígeno y condiciones de suelo suelto para el crecimiento de las raíces y constitución de buenos árboles. Los grupos texturales obtuvieron una calificación con *aptitud media* (A2), debido a que la clase que integra el grupo textural *francas finas* presentan menor permeabilidad, dificultan el movimiento del agua en suelo y favorecen los encharcamientos que presentan problemas en disponibilidad de oxígeno y, en épocas secas, el endurecimiento del suelo. Los suelos con más del 90 % de arcillas se calificaron con *aptitud baja* (A3). La siguiente tabla sintetiza las calificaciones otorgadas, comforme a la variable evaluada, de las veinte especies maderables en Colombia:

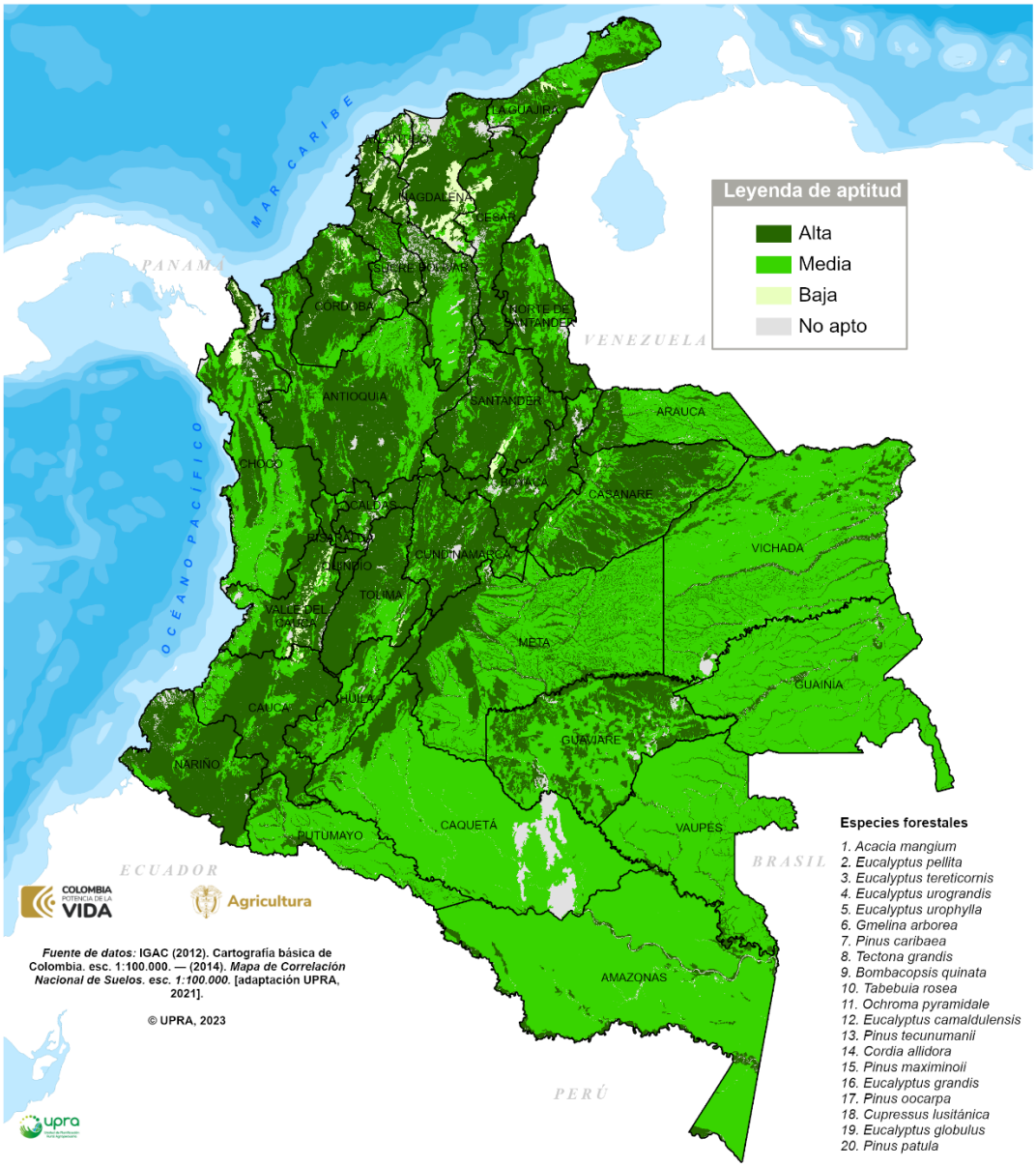
Especies	Textura (clases texturales)			
	A1	A2	A3	N1
1. *Acacia mangium*	F, FL, FA, FarA, L, FarL, Far	A, AF, ArA, Ar, ArL	Vertisoles	—
2. *Eucalyptus pellita*				
3. *Eucalyptus tereticornis*				
4. *Eucalyptus urograndis*				
5. *Eucalyptus urophylla*				
6. *Gmelina arborea*				
7. *Pinus caribaea*				
8. *Tectona grandis*				
9. *Bombacopsis quinata*				
10. *Tabebuia rosea*				
11. *Ochroma pyramidale*				
12. *Eucalyptus camaldulensis*				
13. *Pinus tecunumanii*				
14. *Cordia alliodora*				
15. *Pinus maximinoi*				
16. *Eucalyptus grandis*				
17. *Pinus oocarpa*				
18. *Cupressus lusitanica*				
19. *Eucalyptus globulus*				
20. *Pinus patula*				

Los rangos de aptitud de la variable se determinaron de acuerdo con las consultas realizadas tanto a los expertos en cada una de las especies forestales como a la literatura científica relacionada.

Unidad de análisis

Unidades cartográficas de suelos: asociaciones, consociaciones y complejos.

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO CONDICIONES DE ENRAIZAMIENTO
Textura

Fuentes de información

Camino, R, y Morales, J.P. (2013). La teca en América Latina. En Camino, R, y Morales, J.P. (Eds.). *Las plantaciones de teca en América Latina: mitos y realidades* (pp. 30-41). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), División de Investigación y Desarrollo. https://n9.cl/qd1egu

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Nacional de Bosques (2020). *Paquete tecnológico forestal: cipres común,* Cupressus lusitanica *Mill*. Instituto Nacional de Bosques (INB), Paquete Tecnológico Forestal. https://n9.cl/eytd2

Instituto Nacional de Bosques (2019). *Paquete tecnológico forestal: pino candelillo* Pinus maximinoi *H.E. Moore*. Instituto Nacional de Bosques (INB), Departamento de Investigación Forestal. https://n9.cl/ppvzq3

Instituto Nacional de Bosques (2017a). *Pino caribe (*Pinus caribaea *var.* Hondurensis *(Sénécl.) W. H. Barrett & Golfari)*. Instituto Nacional de Bosques (INB), Paquete Tecnológico Forestal. https://n9.cl/ru814s

Instituto Nacional de Bosques (2017b). *Pino de ocote (*Pinus oocarpa *Schiede ex Schltdl)*. Instituto Nacional de Bosques (INB), Paquete Tecnológico Forestal. https://n9.cl/7a5e9

Malagón, D. y Montenegro, H. (1990). Propiedades físicas de los suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Ospina, C.M., Hernández, R.J., Rodas, C.A., Urrego, J.B., Riaño, N.M., Aristizábal, F.A., Godoy, J.A. y Osorio, O.I. (2006). *Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana: el Eucalipto (*Eucalyptus grandis *W. Hill ex Maiden)*. Centro Nacional de Investigaciones de Café (CeniCafé). https://n9.cl/3mkdvf

Ospina, C.M., Hernández, R.J., Yandar, S.E., Aristizábal, F.A., Rincón, E.A., Gil, Z.N., García, J.C. y Paternina, N.M. (2008). *Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana: el guayacán rosado o roble (*Tabebuia rosea *(Bertol) DC)*. Centro Nacional de Investigaciones de Café (CeniCafé). https://n9.cl/uye79

Ospina, C.M., Hernández, R.J., Rincón, E.A., Sánchez, F.A., Urrego, J.B., Rodas, C.A, Ramírez, C.A. y Riaño, N.M. (2011). *Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana: el pino pátula (*Pinus patula *Deppe in Schlecht. & Cham)*. Centro Nacional de Investigaciones de Café (CeniCafé). https://n9.cl/afhj4

Soil Science Division Staff (2017). *Soil survey manual*. Handbook 18. United States Department of Agriculture. https://n9.cl/kc79cp

1.4.3. Variable *pedregosidad*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: físico. Subcomponente: edáfico		
Criterio asociado: *condiciones de enraizamiento*		
Variable: *pedregosidad*	Unidad de medida: adimensional (fase cartográfica de pedregosidad)	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Fragmentos de roca de dos o más milímetros de diámetro. Se reconocen, de acuerdo con su tamaño, como grava, guijarro, piedra y bloques (Forbes, Rossiter & Wambeke, 1987). Para fines prácticos de manejo de suelos, se toma la dimensión de fragmentos de roca mayores a 7,6 centímetros de diámetro, que incluyen guijarros, piedras y bloques.

Importancia de la variable para el cultivo

Los altos contenidos de fragmentos de roca en el suelo tienen efectos negativos en el desarrollo de las especies forestales, pues disminuyen el área para el almacenamiento de agua, aceleran la infiltración y disminuyen el volumen de suelo que las raíces necesitan para los nutrientes. Aunque la mayoría de los árboles se adaptan a condiciones de suelos pedregosos, algunas especies disminuyen los rendimientos cuando abundan fragmentos de roca duros y poco nutritivos (Weaver, 1993).

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

No se determinaron áreas como aptas (N1) para el cultivo de especies forestales. Donde se encontaron fragmentos de roca mayor al 35 % (fase pedregosa), se calificó con *aptitud baja* (A3).

Limitantes de la evaluación de la variable

Forma en la que se encuentra registrada la información en el mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014). Sólo aparece la fase pedregosa, pero no está discriminada en rangos por porcentaje. Se consideró como no pedregoso como cuando no se encontró la fase cartográfica.

Metodología de procesamiento de la información

La fase de pedregosidad se obtuvo a partir de las fases cartográficas del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014). Se asumió que la fase pedregosa tuvo un contenido mayor del 35 % de fragmentos de roca, la cual se determinó en campo durante el estudio de suelos.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

Para todas las especies forestales, se determinaron como tierras con *aptitud alta* (A1) los suelos sin fase de pedregosidad (<35 % por volumen); y, con *aptitud baja* (A3), los suelos con fase pedregosa (> 35 %), porque obstaculiza el desarrollo de raíces y de las plantas. Esta variable presenta los siguientes rangos de aptitud:

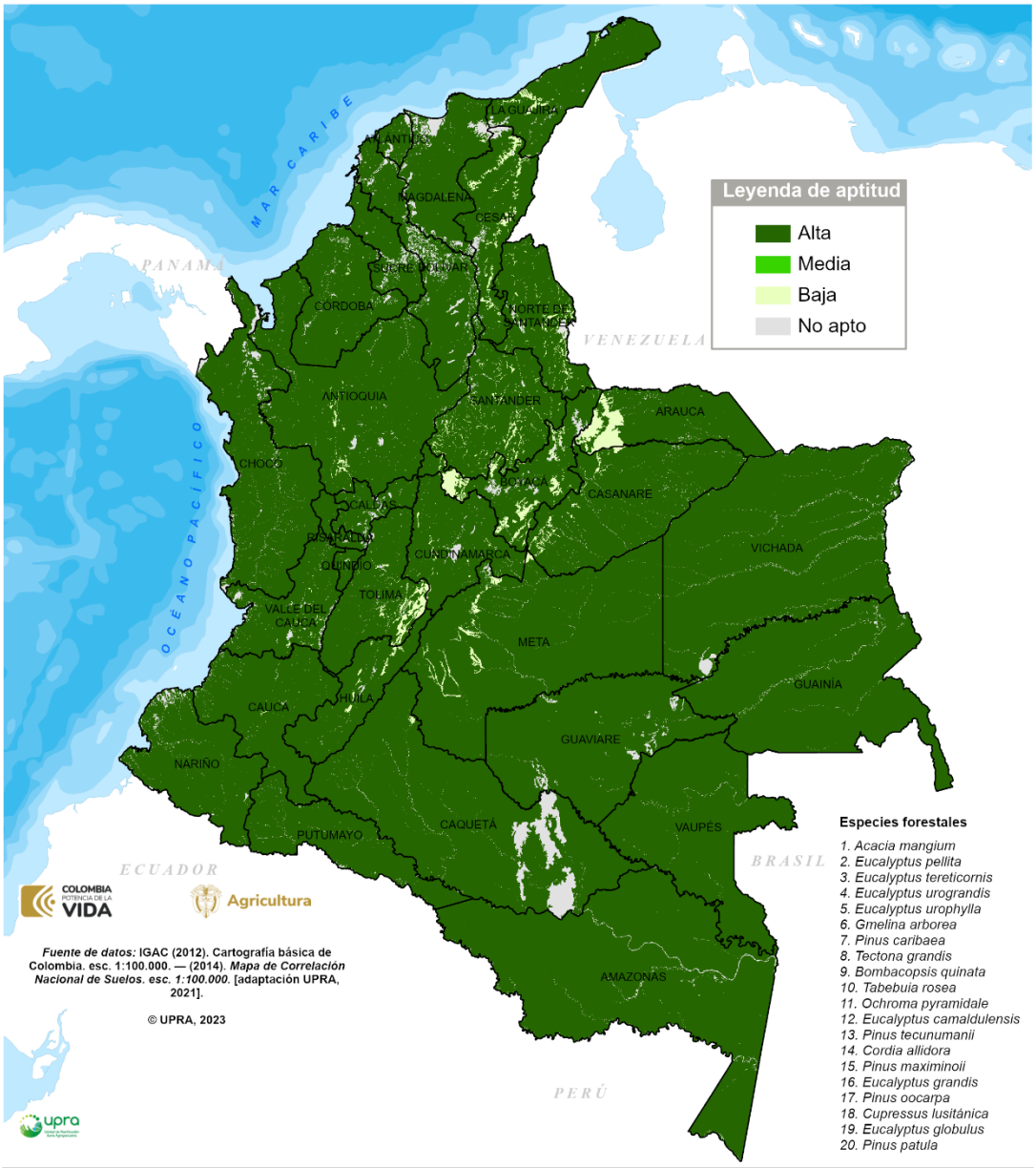
Especies	Pedregosidad			
	A1	A2	A3	N1
1. *Acacia mangium*	No pedregoso	—	Pedregoso	—
2. *Eucalyptus pellita*				
3. Eucalyptus *tereticornis*				
4. *Eucalyptus urograndis*				
5. *Eucalyptus urophylla*				
6. *Gmelina arborea*				
7. *Pinus caribaea*				
8. *Tectona grandis*				
9. *Bombacopsis quinata*				
10. *Tabebuia rosea*				
11. *Ochroma pyramidale*				
12. *Eucalyptus camaldulensis*				
13. *Pinus tecunumanii*				
14. *Cordia alliodora*				
15. *Pinus maximinoi*				
16. Eucalyptus *grandis*				
17. *Pinus oocarpa*				
18. *Cupressus lusitanica*				
19. *Eucalyptus globulus*				
20. *Pinus patula*				

Los rangos de aptitud de la variable se determinaron de acuerdo con las consultas realizadas tanto a los expertos en cada una de las especies forestales como a la literatura científica relacionada.

Unidad de análisis

Unidades cartográficas de suelos: asociaciones, consociaciones y complejos.

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO CONDICIONES DE ENRAIZAMIENTO
Pedregosidad

Fuentes de información

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Van Wambeke, A. y Forbes, T.R. (1987). *Criterios para el uso de la taxonomía de suelos en la denominación de unidades cartográficas: monografía técnica 15*. Cornell University, Department of Agronomy.

Weaver, Peter L. 1993. *Tectona grandis L.f. Teak. SO-ITF-SM-64*. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. https://n9.cl/0pufe

1.5. Criterio *disponibilidad de oxígeno*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: físico. Subcomponente: edáfico		
Criterio*: disponibilidad de oxígeno*		
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	✓
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Variables asociadas al criterio

Susceptibilidad de inundaciones, expresada en fase cartográfica por inundación.

Drenaje natural, expresado en clases de drenaje.

Definición

Cualidad que indica las condiciones de aireación del suelo. Cuando el suelo está libre de saturación de agua, los poros permiten la libre circulación del dióxido de carbonbo hacia la atmósfera y la entrada del oxígeno del exterior.

Importancia del criterio para el cultivo

Incide en el adecuado desarrollo de los árboles, dado que indica tanto el buen suministro de oxígeno en suelos bien drenados como el estrés generado por excesos de agua (anoxia), lo cual afecta el metabolismo de la nutrición de los árboles.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado

Para dieciocho de las veinte especies, se consideraron tierras *no aptas* (N1) las que presentaron inundaciones muy largas y cuyo drenaje natural suele ser muy pobre. Las especies *Bombacopsis quinata* y *Tabebuia rosea* no se consideraron tierras no aptas (N1).

Limitantes para la evaluación del criterio

La mayoría de las unidades cartográficas de suelos a escala 1:100.000 fueron asociaciones para cada una de cuyas variables que conforman el criterio se calificó el componente taxonómico de mayor representatividad dentro de la unidad. Esto significa que dentro de la unidad existen áreas de diferentes tamaños que tienen calificaciones diferentes al componente calificado y que corresponden a aptitudes diferentes.

Metodología de procesamiento de la información

Las clases de aptitud de las variables involucradas en el criterio se extrajeron del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014) y se dio la calificación que técnicamente se consideró a cada una de las variables, como se muestra a continuación:

Susceptibilidad de inundaciones		Aptitud
Grupo 1	Grupo 2	
No hay	No hay; cortas	Alta (A1)
Cortas	Largas	Media (A2)
Largas	Muy largas	Baja (A3)
Muy largas	—	No apto (N1)

Drenaje natural		Aptitud
Grupo 1	Grupo 2	
Bueno	Bueno, moderado	Alta (A1)
Moderado, excesivo, moderadamente excesivo	Imperfecto, excesivo, moderadamente excesivo	Media (A2)
Imperfecto, pobre	Pobre, muy pobre	Baja (A3)
Muy pobre	—	No apto (N1)

Los rangos de aptitud de cada una de las variables se determinaron de acuerdo con las consultas realizadas tanto a los expertos en cada una de las especies forestales como a la literatura científica relacionada.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

El argumento para determinar los diferentes niveles de aptitud del criterio fue la limitación que cada variable representa en el desarrollo del cultivo de especies maderables, ya que implica bajo desarrollo de las plantas y disminución de la producción, como se puede observar en la siguiente tabla:

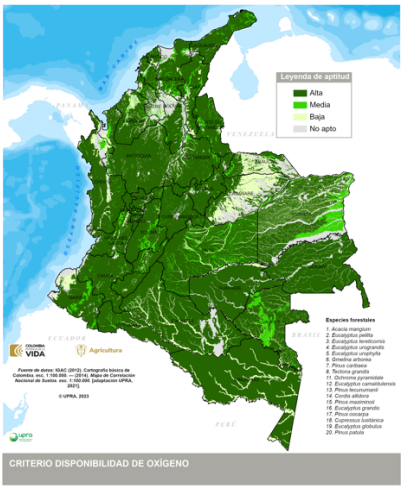
Árbol de decisión para el criterio

Susceptibilidad de inundaciones	Drenaje natural	Aptitud
A1	A1	A1
	A2	A1
	A3	A3
A2	A1	A2
	A2	A2
	A3	A3
A3	Cualquiera	A3
Largas y muy largas	Pobre y muy pobre	Sin calificación (en blanco)

Unidad de análisis

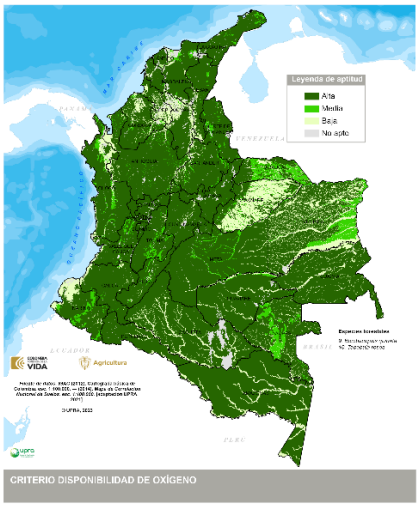
Unidades cartográficas de suelos: asociaciones, consociaciones y complejos.

Representación cartográfica del criterio



Grupo 1

1. *Acacia mangium*
2. *Eucalyptus pellita*
3. Eucalyptus *tereticornis*
4. *Eucalyptus urograndis*
5. *Eucalyptus urophylla*
6. *Gmelina arborea*
7. *Pinus caribaea*
8. *Tectona grandis*
11. *Ochroma pyramidale*
12. *Eucalyptus camaldulensis*
13. *Pinus tecunumanii*
14. *Cordia alliodora*
15. *Pinus maximinoi*
16. *Eucalyptus grandis*
17. *Pinus oocarpa*
18. *Cupressus lusitanica*
19. *Eucalyptus globulus*
20. *Pinus patula*



Grupo 2

3. *Bombacopsis quinata*
19. *Tabebuia rosea*

Fuentes de información

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

1.5.1. Variable *susceptibilidad de inundaciones*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: físico. Subcomponente: edáfico		
Criterio asociado: *disponibilidad de oxígeno*		
Variable: *susceptibilidad de inundaciones*	Unidad de medida: *fase cartográfica de inundabilidad*	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	✓
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Desbordamiento del agua fuera de los confines normales de un río o cualquier masa de agua. También se entiende como la acumulación de agua procedente de drenajes en zonas que normalmente no se encuentran anegadas (Organización Meteorológica Mundial [OMM] y Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [Unesco], 2012).

Importancia de la variable para el cultivo

Las inundaciones afectan el desarrollo de la mayor parte de las especies vegetales, más aún cuando duran largos periodos de tiempo. La tolerancia a las inundaciones y a encharcamientos depende de cada especie vegetal (CONIF, 1998; CeniCafé, 2008). Para la mayoría de las especies forestales, las inundaciones que duran periodos muy largos ocasionan significativas pérdidas económicas en los cultivos, desde retrasos en el crecimiento, pérdida de vigor, daños por enfermedades, pudriciones radiculares hasta la muerte de las plantas.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

Se consideraton tierras *no aptas* (N1) las que presentaron inundaciones muy largas para dieciocho de las veinte especies evaluadas, debido a que no soportan los excesos de humedad en las raíces. Las especies *Bombacopsis quinata* y *Tabebuia rosea* no se calificaron como tierras *no aptas* (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

En la base de datos del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014), algunas unidades cartográficas no registran información sobre fase por inundación o encharcamientos, pese a que algunos sectores de dichas unidades se presentan, esto debido a la escala del mapa.

Metodología de procesamiento de la información

El IGAC (2010) clasifica las inundaciones y los encharcamientos según la frecuencia en que ocurren y la duración, como se muestra en la siguiente tabla:

Clase	Descripción
Extremadamente corta	Menor de un 1 día
Muy corta	1-2 días
Corta	2-7 días
Larga	7-30 días
Muy larga	30-90 días
Extremadamente larga	90-180 días

Se tomó como base la fase cartográfica por inundación y encharcamientos del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014).

Rangos para la asignación de valores de aptitud

Teniendo en cuenta la duración de las inundaciones o encharcamientos para el desarrollo de las diferentes especies forestales, se consideraron los siguientes rangos de aptitud:

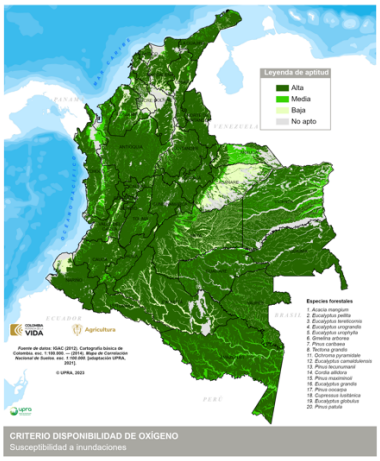
Especies	Susceptibilidad de inundaciones (clases)			
	A1	A2	A3	N1
Grupo 1				
1. *Acacia mangium*	No hay	Cortas	Largas	Muy largas
2. *Eucalyptus pellita*				
3. *Eucalyptus tereticornis*				
4. *Eucalyptus urograndis*				
5. *Eucalyptus urophylla*				
6. *Gmelina arborea*				
7. *Pinus caribaea*				
8. *Tectona grandis*				
11. *Ochroma pyramidale*				
12. *Eucalyptus camaldulensis*				
13. *Pinus tecunumanii*				
14. *Cordia alliodora*				
15. *Pinus maximinoi*				
16. *Eucalyptus grandis*				
17. *Pinus oocarpa*				
18. *Cupressus lusitanica*				
19. *Eucalyptus globulus*				
20. *Pinus patula*				
Grupo 2				
9. *Bombacopsis quinata*	No hay; cortas	Largas		—
10. *Tabebuia rosea*				

Los rangos de aptitud de las variables se determinaron de acuerdo con las consultas realizadas tanto a los expertos en cada especie forestale como a la literatura científica relacionada.

Unidad de análisis

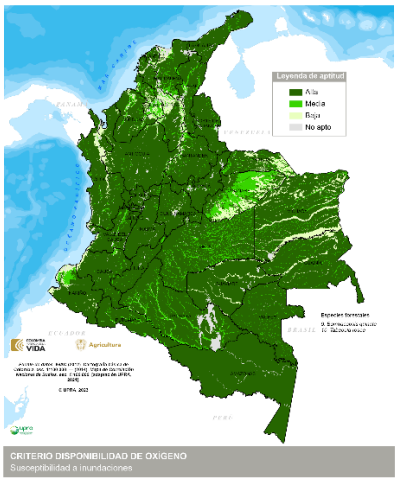
Unidades cartográficas de suelos: asociaciones, consociaciones y complejos.

Representación cartográfica de la variable



Grupo 1

1. *Acacia mangium*
2. *Eucalyptus pellita*
3. *Eucalyptus tereticornis*
4. *Eucalyptus urograndis*
5. *Eucalyptus urophylla*
6. *Gmelina arborea*
7. *Pinus caribaea*
8. *Tectona grandis*
11. *Ochroma pyramidale*
12. *Eucalyptus camaldulensis*
13. *Pinus tecunumanii*
14. *Cordia alliodora*
15. *Pinus maximinoi*
16. *Eucalyptus grandis*
17. *Pinus oocarpa*
18. *Cupressus lusitanica*
19. *Eucalyptus globulus*
20. *Pinus patula*



Grupo 2

3. *Bombacopsis quinata*
19. *Tabebuia rosea*

Fuentes de información

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (1998). *Guía para plantaciones forestales comerciales: Antioquia*. Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF). https://n9.cl/ej0ru

Organización Meteorológica Mundial y Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2012). Glosario hidrológico internacional. Organización Meteorológica Mundial (OMM). https://n9.cl/7k8qk

Ospina, C.M., Hernández, R.J., Rincón, E.A., Sánchez, F.A., Urrego, J.B., Rodas, C.A, Ramírez, C.A. y Riaño, N.M. (2011). *Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana: el pino pátula (*Pinus patula *Deppe in Schlecht. & Cham)*. Centro Nacional de Investigaciones de Café (CeniCafé). https://n9.cl/afhj4

1.5.2. Variable *drenaje natural*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en colombia	
Componente: físico. Subcomponente: edáfico		
Criterio asociado: *disponibilidad de oxígeno*		
Variable: *drenaje natural*	Unidad de medida: clase de drenaje	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	✓
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Rapidez y grado de evacuación del agua del suelo por la escorrentía y el flujo a través de los espacios subterráneos (Klingebiel & Montgomery, 1961). El drenaje natural combina los drenajes tanto internos como externos del suelo, de acuerdo con la relación que existe entre la pendiente, la escorrentía, la infiltración, las evidencias de procesos de óxido-reducción y los colores gley, de acuerdo con la profundidad a la cual aparece el nivel freático (Cortés y Malagón, 1984).

Importancia de la variable para el cultivo

Incide sobre la respuesta de las plantas a la presencia o ausencia de niveles freáticos a diferentes profundidades dentro de la zona radicular. La mayoría de las especies forestales se desarrollan en suelos bien drenados, son muy pocas las que soportan suelos muy pobremente drenados (CATIE, 1991; CONIF, 1998; CeniCafé, 2008;). Las condiciones de mal drenaje implican requerimientos de obras de adecuación de tierras que favorezcan el movimiento del agua interna y de la escorrentía.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

Para dieciocho de las veinte especies, se caificaron como tierras no aptas (N1) las áreas con drenaje muy pobre, ya que se encontró agua por largos periodos en la zona radicular de los árboles. Para las especies *Bombacopsis quinata* y *Tabebuia rosea*, no se consideraron tierras no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

La mayoría de las unidades cartográficas de suelos en los estudios generales fueron asociaciones. Por lo tanto, se calificó el componente de mayor representatividad, lo que significa que algunos sectores que pueden ser favorables o desfavorables para el establecimiento del cultivo, pero no se pueden representar espacialmente.

Metodología de procesamiento de la información

Se realizó a partir de la información de la base de datos del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014).

Rangos para la asignación de valores de aptitud

De acuerdo con los documentos, dieciocho especies forestales no soportan agua por periodos largos en la zona radicular, por lo que las especies forestales se dividen en dos grupos que representan la adaptabilidad a las diferentes clases de drenaje natural. De esta manera, se consideran los siguientes rangos de aptitud:

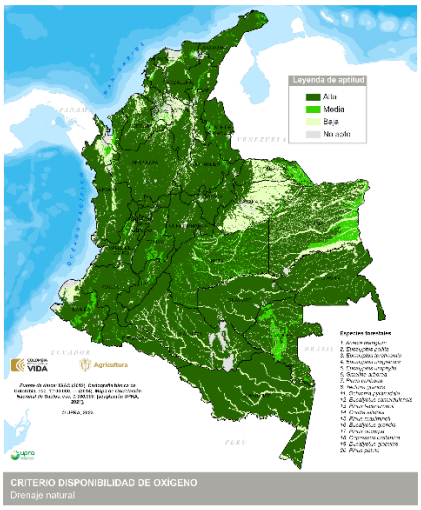
<table>
<tr><th rowspan="2">Especies</th><th colspan="4">Drenaje natural</th></tr>
<tr><th>A1</th><th>A2</th><th>A3</th><th>N1</th></tr>
<tr><td colspan="5">Grupo 1</td></tr>
<tr><td>1. Acacia mangium</td><td rowspan="15">Bueno</td><td rowspan="15">Moderado; excesivo; moderadamente excesivo</td><td rowspan="15">Imperfecto; pobre</td><td rowspan="15">Muy pobre</td></tr>
<tr><td>2. Eucalyptus pellita</td></tr>
<tr><td>3. Eucalyptus tereticornis</td></tr>
<tr><td>4. Eucalyptus urograndis</td></tr>
<tr><td>5. Eucalyptus urophylla</td></tr>
<tr><td>6. Gmelina arborea</td></tr>
<tr><td>7. Pinus caribaea</td></tr>
<tr><td>8. Tectona grandis</td></tr>
<tr><td>11. Ochroma pyramidale</td></tr>
<tr><td>12. Eucalyptus camaldulensis</td></tr>
<tr><td>13. Pinus tecunumanii</td></tr>
<tr><td>14. Cordia alliodora</td></tr>
<tr><td>15. Pinus maximinoi</td></tr>
<tr><td>16. Eucalyptus grandis</td></tr>
<tr><td>17. Pinus oocarpa</td></tr>
<tr><td>18. Cupressus lusitanica</td></tr>
<tr><td>19. Eucalyptus globulus</td></tr>
<tr><td>20. Pinus patula</td></tr>
<tr><td colspan="5">Grupo 2</td></tr>
<tr><td>9. Bombacopsis quinata</td><td rowspan="2">Bueno; moderado</td><td rowspan="2">Imperfecto; excesivo; moderadamente excesivo</td><td rowspan="2">Pobre; muy pobre</td><td rowspan="2">—</td></tr>
<tr><td>10. Tabebuia rosea</td></tr>
</table>

Los rangos de aptitud de la variable se determinaron de acuerdo con las consultas realizadas tanto a los expertos en cada especie forestal y a la literatura científica relacionada.

Unidad de análisis

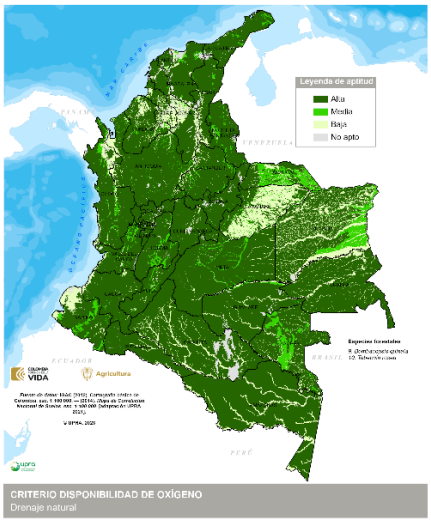
Clase de drenaje.

Representación cartográfica de la variable



Grupo 1

1. *Acacia mangium*
2. *Eucalyptus pellita*
3. *Eucalyptus tereticornis*
4. *Eucalyptus urograndis*
5. *Eucalyptus urophylla*
6. *Gmelina arborea*
7. *Pinus caribaea*
8. *Tectona grandis*
11. *Ochroma pyramidale*
12. *Eucalyptus camaldulensis*
13. *Pinus tecunumanii*
14. *Cordia alliodora*
15. *Pinus maximinoi*
16. *Eucalyptus grandis*
17. *Pinus oocarpa*
18. *Cupressus lusitanica*
19. Eucalyptus globulus
20. *Pinus patula*



Grupo 2

3. *Bombacopsis quinata*
19. *Tabebuia rosea*

Fuentes de información

Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (1998). *Guía para plantaciones forestales comerciales: Antioquia*. Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF). https://n9.cl/ej0ru

Cortés, A. y Malagón, D. (1984). *Los levantamientos agrológicos y sus aplicaciones múltiples.* Universidad Jorge Tadeo Lozano.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Klingebiel, A.A. & P.H. Montgomery (1961). *Land-capability classification: agriculture handbook n.º 210*. United States Department of Agriculture (USDA), Soil Conservation Service.

Murillo, O. y Valerio, J. (1991). *Melina (*Gmelina arborea *Roxb.): especie de árbol de uso múltiple en América Central*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). https://n9.cl/90glf

Ospina, C.M., Hernández, R.J., Yandar, S.E., Aristizábal, F.A., Rincón, E.A., Gil, Z.N., García, J.C. y Paternina, N.M. (2008). *Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana: el guayacán rosado o roble (*Tabebuia rosea *(Bertol) DC)*. Centro Nacional de Investigaciones de Café (CeniCafé). https://n9.cl/uye79

1.6. Criterio *disponibilidad de humedad*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: físico. Subcomponente: edáfico		
Criterio: *disponibilidad de humedad*		
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	✓
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Variables asociadas al criterio

Régimen de humedad, expresada en clases de regímenes de humedad.

Textura, expresada en clases texturales.

Definición

Capacidad que tienen los suelos, en condiciones naturales, de almacenar y suministrar agua para las plantas en cantidades suficientes para el desarrollo.

Importancia del criterio para el cultivo

El agua es la responsable no sólo de muchas reacciones físicas, químicas y biológicas que suceden en el suelo, sino también del crecimiento de las plantas. En condiciones naturales, donde no existe posibilidad de riego, la capacidad de retención de agua que tienen los suelos es de gran importancia, ya que de ella y de las características climáticas de la región, depende el desarrollo de las especies forestales.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

Se considera que los regímenes de humedad arídico y perácuico no tienen aptitud (N1) para el desarrollo de las especies forestales estudiadas ya que, en el primer caso, no hay condiciones climáticas para el almacenamiento de humedad y en el segundo, representa ausencia de oxígeno por saturación con agua, lo cual significa intoxicación en las raíces de las plantas, lo que conlleva a grandes disminuciones en el desarrollo de la planta. La textura no presenta exclusiones para las especies forestales seleccionadas debido a que en las diferentes clases texturales es posible el establecimiento y desarrollo de las plantas con diferentes grados de aptitud.

Limitantes para la evaluación del criterio

La mayoría de las unidades cartográficas de suelos a escala 1:100.000 fueron asociaciones, para cada una de cuyas variables del criterio se calificó el componente taxonómico de mayor representatividad dentro de la unidad. Esto significa que en la unidad cartográfica existen áreas con calificaciones diferentes al componente calificado correspondientes a aptitudes diferentes.

Metodología de procesamiento de la información

Las clases de aptitud de cada variable involucrada en el criterio se obtuvieron del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014). En cuanto al régimen de humedad, se identificaron dos grupos: el que no soporta los periodos largos de sequía; el que tiene desarrollo aceptable en esas condiciones. En la textura se determinó un grupo transversal a todas las especies.

Rangos de aptitudes de las variables

Régimen de humedad		Aptitud
Grupo 1	Grupo 2	
Údico	Ústico	Alta (A1)
Ústico	Údico	Media (A2)
Ácuico	Ácuico	Baja (A3)
Perácuico, arídico	Perácuico, arídico	No apto (N1)

Textura	Aptitud
Ar, ArA, ArL, Far, FarA, FarL, F, FL	Alta (A1)
FA, L	Media (A2)
A, AF	Baja (A3)

Los rangos de aptitud de cada variable, están dados de acuerdo con las diferentes consultas realizadas con los expertos en cada una de las especies forestales y a la literatura relacionada.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

El argumento para discriminar los niveles de aptitud del criterio en evaluación fue la limitación que cada variable representó en el desarrollo de las especies, pues se reducen las posibilidades de un buen desarrollo de las plantas, lo cual se termina viendo reflejado en la disminución de la producción. El árbol de decisión del criterio se puede observar en la siguiente tabla:

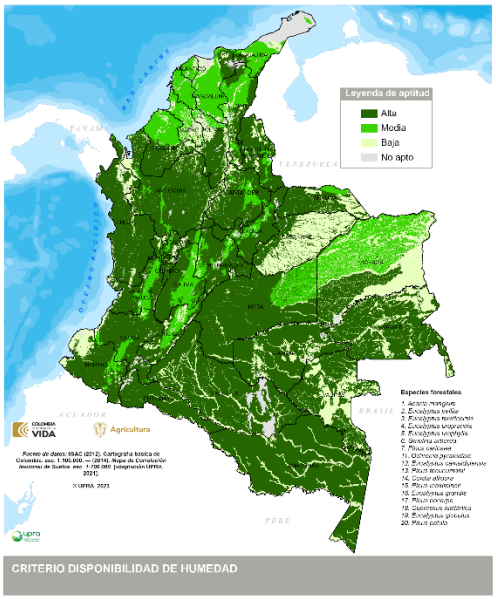
Árbol de decisión par el criterio

Régimen de humedad	Textura	Aptitud
A1	A1	A1
	A2	A1
	A3	A3
A2	A1	A2
	A2	A2
	A3	A3
A3	Cualquiera	A3
Perácuico, arídico	Cualquiera	Sin calificación (en blanco)

Unidad de análisis

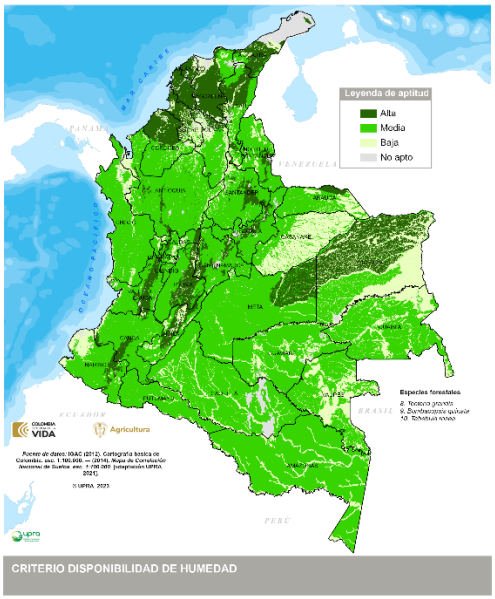
Unidades cartográficas de suelos: asociaciones, consociaciones y complejos.

Representación cartográfica del criterio



Grupo 1

1. *Acacia mangium*
2. *Eucalyptus pellita*
3. *Eucalyptus tereticornis*
4. *Eucalyptus urograndis*
5. *Eucalyptus urophylla*
6. *Gmelina arborea*
7. *Pinus caribaea*
11. *Ochroma pyramidale*
12. *Eucalyptus camaldulensis*
13. *Pinus tecunumanii*
14. *Cordia alliodora*
15. *Pinus maximinoi*
16. *Eucalyptus grandis*
17. *Pinus oocarpa*
18. *Cupressus lusitanica*
19. *Eucalyptus globulus*
20. *Pinus patula*



Grupo 2

8. *Tectona grandis*
9. *Bombacopsis quinata*
10. *Tabebuia rosea*

Fuentes de información

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

1.6.1. Variable *régimen de humedad*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: físico. Subcomponente: edáfico		
Criterio asociado: *disponibilidad de humedad*		
Variable: *régimen de humedad*	Unidad de medida: clase de régimen	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	✓
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

presencia o ausencia de un manto freático o agua retenida a una tensión inferior a 1500 kilopascales en el suelo o en horizontes específicos por periodos de un año. El agua retenida a una tensión de 1500 kilopascales o más no está disponible para mantener con vida la mayoría de las plantas mesófilas (Soil Survey Staff, 2014). A continuación, se presentan los grados de régimen de humedad del suelo.

Údico: en el régimen údico (del latín *udus*: 'húmedo'), la sección control de humedad del suelo no está seca en cualquier parte durante tanto tiempo como noventa días acumulativos en años normales.

Perúdico (del latín *per*: 'largo en el tiempo', y *udus*, 'húmedo'): en climas donde la precipitación supera la evapotranspiración en todos los meses en año normales, la tensión de humedad raramente alcanza 100 kilopascales en la sección de control de humedad del suelo, aunque hay breves periodos ocasionales cuando se utiliza un poco de humedad almacenada. El agua se mueve a través del suelo en todos los meses cuando no se congela.

Ústico: el régimen ústico (del latín *ustus*, 'quemado': implica sequedad) es intermedio entre el régimen arídico y el údico. Tiene humedad limitada, pero presente en un momento en condiciones que son adecuadas para el crecimiento vegetal. El concepto de régimen ústico no se aplica a suelos que tienen *permafrost*. Si la temperatura media anual del suelo es de 22 °C o más, o si las temperaturas medias de verano y de invierno del suelo difieren en menos de 6 °C a una profundidad de 50 cm, la sección control de humedad del suelo en áreas de régimen ústico está seca en alguna o todas las partes durante 90 o más días acumulativos en años normales. Es húmedo, sin embargo, en alguna parte, ya sea durante más de 180 días acumulativos por año, 90 o más días consecutivos.

Ácuico: el régimen de humedad ácuico (del latín *aqua*) es de reducción en un suelo que está virtualmente libre de oxígeno disuelto porque está saturado de agua. Algunos suelos están saturados con agua, a veces mientras el oxígeno disuelto está presente, ya sea porque el agua está en movimiento o porque el entorno es desfavorable para los microorganismos, por ejemplo, si la temperatura es inferior a 1 °C, tal régimen no es considerado ácuico.

Perácuico: hay suelos, sin embargo, en los que el agua subterránea está siempre en o muy cerca de la superficie. Ejemplos de ello son los suelos de marismas de marea o en el litoral, depresiones cerradas, alimentadas por arroyos perennes.

Arídico: regímenes de humedad arídico y tórrido (del latín *aridus*, 'seco', y *torridus*, 'caliente y seco'). Estos términos de regímenes de humedad del suelo se utilizan para el mismo régimen de humedad, pero en diferentes categorías de la taxonomía. En el régimen de humedad arídico (tórrido), la sección de control humedad en años normales es seca en todas las partes por más de la mitad de los días acumulativos por año, cuando la temperatura del suelo a una profundidad de 50 centímetros está por encima de 5 °C; y húmeda en alguna o en todas partes por menos de 90 días consecutivos, cuando la temperatura del suelo a una profundidad de 50 centímetros está por encima de 8 °C.

Importancia de la variable para el cultivo

El régimen de humedad del suelo se relaciona con el clima de la zona y con las clases texturales dominantes en el suelo, por lo que se consideran un indicador de la disponibilidad de agua para las plantas. Los regímenes de humedad están condicionados por la distribución de las lluvias de cada región y el número de días secos consecutivos durante el año. Las especies forestales son propias de un régimen de humedad (INAB 2017,2018, 2019, 2020; Camino y Morales, 2013; Cenicafé, 2006,2028, 2011; CATIE, 1991; CONIF, 1998).

Conocer la cantidad y distribución de las lluvias es determinante en la escogencia de la especie a establecer en una plantación, pues donde llueve la mayoría de los meses las especies no se desarrollan bien cuando la estación seca es muy severa. Vásquez (2001) estima que muchas especies poseen patrones para sobrevivir en climas húmedos tropicales, como *Tectona grandis*, pero se desarrolla mejor donde hay una estación seca de tres a cuatro meses. En cambio, la especie *Pinus patula* sólo crece bien donde la precipitación anual supera los 1000 mm.

El crecimiento de la mayoría de las plantas se relaciona con la absorción de nutrientes, la cual es afectada por la humedad de los suelos cuando ésta disminuye y por tanto se expresa en el lento crecimiento de las especies. El exceso de humedad en el suelo puede dañar significativamente los árboles, debido a que su saturación con agua significa deficiencia de oxígeno, lo cual causa reducción en la absorción de nutrientes por la pudrición en el sistema radicular.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

Se excluyeron, como zonas no aptas (N1), los suelos con regímenes de humedad de condiciones extremas por exceso (perácuico) o por déficit (arídico).

Limitantes de la evaluación de la variable

La mayoría de las unidades cartográficas de suelos en los estudios generales representaron *asociaciones*, que tienen dos o más componentes taxonómicos. Así, se calificó el régimen de humedad del componente taxonómico de mayor porcentaje, lo que significa que, dentro de un área determinada, pueden existir regímenes de humedad diferente al que se está calificando.

Metodología de procesamiento de la información

El proceso de evaluación de la variable de régimen de humedad de los suelos se realizó a partir de la información del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014).

Rangos para la asignación de valores de aptitud

De acuerdo tanto con el aporte de humedad por la precipitación como con la permanencia del agua en el suelo para el desarrollo de las veinte especies forestales evaluadas, se consideraron los rangos de aptitud que se registran el la siguiente tabla:

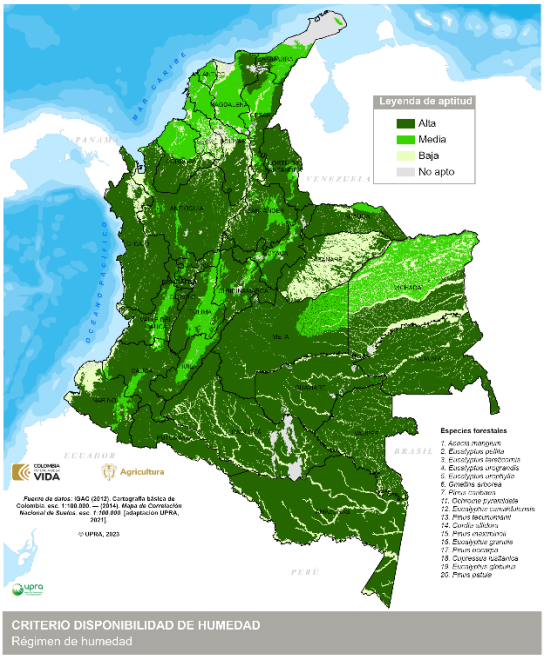
Especies	Régimen de humedad			
	A1	A2	A3	N1
Grupo 1				
1. *Acacia mangium*	Údico	Ústico	Ácuico	Perácuico; arídico
2. *Eucalyptus pellita*				
3. *Eucalyptus tereticornis*				
4. *Eucalyptus urograndis*				
5. *Eucalyptus urophylla*				
6. *Gmelina arborea*				
7. *Pinus caribaea*				
11. *Ochroma pyramidale*				
12. *Eucalyptus camaldulensis*				
13. *Pinus tecunumanii*				
14. *Cordia alliodora*				
15. *Pinus maximinoi*				
16. *Eucalyptus grandis*				
17. *Pinus oocarpa*				
18. *Cupressus lusitanica*				
19. *Eucalyptus globulus*				
20. *Pinus patula*				
Grupo 2				
8. *Tectona grandis*	Ústico	Údico	Ácuico	Perácuico; arídico
9. *Bombacopsis quinata*				
10. *Tabebuia rosea*				

Los rangos de aptitud de la variable se determinaron de acuerdo con las consultas tanto a los expertos en cada una de las especies forestales como a la literatura científica relacionada.

Unidad de análisis

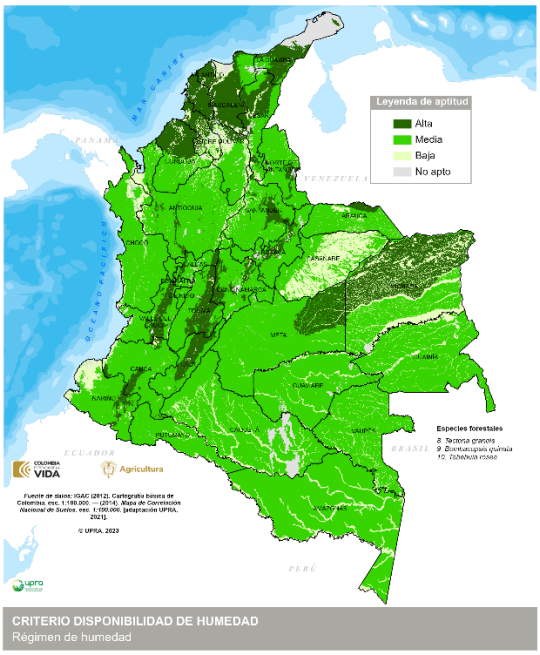
Unidades cartográficas de suelos: asociaciones, consociaciones y complejos.

Representación cartográfica de la variable



Grupo 1

1. *Acacia mangium*
2. *Eucalyptus pellita*
3. *Eucalyptus tereticornis*
4. *Eucalyptus urograndis*
5. *Eucalyptus urophylla*
6. *Gmelina arborea*
7. *Pinus caribaea*
11. *Ochroma pyramidale*
12. *Eucalyptus camaldulensis*
13. *Pinus tecunumanii*
14. *Cordia alliodora*
15. Pinus *maximinoi*
16. *Eucalyptus grandis*
17. *Pinus oocarpa*
18. *Cupressus lusitanica*
19. Eucalyptus *globulus*
20. *Pinus patula*



Grupo 2

8. *Tectona grandis*
9. *Bombacopsis quinata*
10. *Tabebuia rosea*

Fuentes de información

Camino, R, y Morales, J.P. (2013). La teca en América Latina. En Camino, R, y Morales, J.P. (Eds.). *Las plantaciones de teca en América Latina: mitos y realidades* (pp. 30-41). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), División de Investigación y Desarrollo. https://n9.cl/qd1egu

Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (1998). *Guía para plantaciones forestales comerciales: Antioquia*. Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF). https://n9.cl/ej0ru

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Nacional de Bosques (2017a). *Pino caribe (*Pinus caribaea *var.* Hondurensis *(Sénécl.) W. H. Barrett & Golfari)*. Instituto Nacional de Bosques (INB), Paquete Tecnológico Forestal. https://n9.cl/ru814s

Instituto Nacional de Bosques (2017b). *Pino de ocote (*Pinus oocarpa *Schiede ex Schltdl)*. Instituto Nacional de Bosques (INB), Paquete Tecnológico Forestal. https://n9.cl/7a5e9

Instituto Nacional de Bosques (2019). *Paquete tecnológico forestal: pino candelillo* Pinus maximinoi *H.E. Moore*. Instituto Nacional de Bosques (INB), Departamento de Investigación Forestal. https://n9.cl/ppvzq3Instituto Nacional de Bosques (2020). *Paquete tecnológico forestal: cipres común,* Cupressus lusitanica *Mill*. Instituto Nacional de Bosques (INB), Paquete Tecnológico Forestal. https://n9.cl/eytd2

Malagón, D. y Montenegro, H. (1990). *Propiedades físicas de los suelos*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Ospina, C.M., Hernández, R.J., Rodas, C.A., Urrego, J.B., Riaño, N.M., Aristizábal, F.A., Godoy, J.A. y Osorio, O.I. (2006). *Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana: el Eucalipto (*Eucalyptus grandis *W. Hill ex Maiden)*. Centro Nacional de Investigaciones de Café (CeniCafé). https://n9.cl/3mkdvf

Ospina, C.M., Hernández, R.J., Yandar, S.E., Aristizábal, F.A., Rincón, E.A., Gil, Z.N., García, J.C. y Paternina, N.M. (2008). *Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana: el guayacán rosado o roble (*Tabebuia rosea *(Bertol) DC)*. Centro Nacional de Investigaciones de Café (CeniCafé). https://n9.cl/uye79

Ospina, C.M., Hernández, R.J., Sánchez, F.A., Rincón, E.A., Ramírez, C.A., Godoy, J.A., Medina, J.A. y Obando, D. (2010). *Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana: el nohal cafetero (*Cordia alliodora Ruiz y Pavón Oken). Centro Nacional de Investigaciones de Café (CeniCafé). https://n9.cl/snb2v

Ospina, C.M., Hernández, R.J., Rincón, E.A., Sánchez, F.A., Urrego, J.B., Rodas, C.A, Ramírez, C.A. y Riaño, N.M. (2011). *Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana: el pino pátula (*Pinus patula *Deppe in Schlecht. & Cham)*. Centro Nacional de Investigaciones de Café (CeniCafé). https://n9.cl/afhj4

Rojas, F. y Ortiz, E. (1991). *Pino caribe (*Pinus caribaea*): especie de árbol de uso múltiple en América Central*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). https://n9.cl/z033b

Soil Science Division Staff (2017). *Soil survey manual*. Handbook 18. United States Department of Agriculture. https://n9.cl/kc79cp

Soil Survey Staff (2014). Claves para la taxonomía de suelos (12.a ed.). U.S. Department of Agriculture (USDA), Natural Resources Conservation Service. https://n9.cl/z5h7x

Vásquez, A. (2001). *Silvicultura de plantaciones forestales en Colombia*. Universidad del Tolima, Facultad de Ingeniería Forestal.

1.6.2. Variable *textura*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: físico. Subcomponente: edáfico		
Criterio asociado: *disponibilidad de humedad*		
Variable: *textura*	Unidad de medida: clase textural	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Proporciones relativas de las partículas o fracciones de arena, limo y arcilla en la tierra fina del suelo, es decir, en la tierra tamizada y con diámetro inferior a dos milímetros (Malagón y Montenegro, 1990).

Importancia de la variable para el cultivo

La textura del suelo es una propiedad física que está relacionada con la capacidad de retener agua —las texturas finas retienen más agua que las gruesas—, la permeabilidad y los índices de plasticidad. También se relaciona con la porosidad, cuyo espacio entre partículas permite que se pueda retener y mover el oxígeno; y favorece tanto la aireación como la penetración de las raíces a través del suelo. En la medida que los suelos presenten mayores porcentajes de arcilla, la capacidad de retener humedad aumenta y los tamaños de partículas más gruesos facilitan la permeabilidad, pero no la retención. Aunque en la mayoría de los casos no se especifican todas las clases texturales donde se desarrollan adecuadamente las especies arbóreas, normalmente recomiendan el rango de las franco-finas (CONIF, 1998).

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

No hubo exclusión (N1), dado que las clases texturales presentaron una amplia gama de retención de humedad cuyas especies forestales se pueden desarrollar pero con rendimientos diferenciales.

Limitantes de la evaluación de la variable

La mayoría de las unidades cartográficas de suelos en los estudios generales representaron asociaciones o complejos de suelos, lo cual dificultó la calificación. Esta calificación se realiza sobre la dominancia de la clase textural en los horizontes superficiales del componente taxonómico de mayor representatividad, por lo que es posible tener algunos sectores dentro de cada unidad de suelos con texturas de diferente calificación pero no representados espacialmente.

Metodología de procesamiento de la información

Las clases texturales se presentan, de acuerdo con el triángulo textural (Soil Science Division Staff, 2017), en la siguiente tabla:

Arenosa (A)
Arenosa franca (AF)
Franco-arenosa (FA)
Franca (F)
Franco-limosa (FL)
Limosa (L)
Franco-arcillo-arenosa (FarA)
Franco-arcillosa (Far)
Franco-arcillo-limosa (FarL)
Arcillo-arenosa (ArA)
Arcillo-limosa (ArL)
Arcillosa (Ar)

La información de base para determinar la textura de las unidades cartográficas de suelos fue el mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014).

Rangos para la asignación de valores de aptitud

La asignación de los rangos radica en que a mayor contenido de arcillas, el suelo tiene mayor capacidad de retener humedad, la cual servirá de reserva para los periodos en los que la lluvia disminuye. Las clases texturales que presentaron *aptitud alta* (A1) presentaron mayores contenidos de arcilla, los cuales favorecen una alta retención de humedad para que el suelo tenga reservas para la época de bajas lluvias. Las texturas calificadas con *aptitud media* (A2) presentaron mejor balance entre las partículas finas y las gruesas, por lo que la retención de humedad se encuentra en un nivel intermedio. Las clases texturales gruesas se calificaron con *aptitud baja* (A3), debido a que el dominio de los porcentajes de arena sobre los de limo y arcilla desfavorece la retención de agua necesaria para el normal crecimiento y desarrollo de los árboles. Esta variable presenta los siguientes rangos de aptitud:

Especies	Textura (clases texturales)			
	A1	A2	A3	N1
1. *Acacia mangium*	Ar, ArA, ArL, Far, FarA, FarL, F, FL	FA, L	A, AF	—
2. *Ochroma pyramidale*				
3. *Bombacopsis quinata*				
4. *Cupressus lusitanica*				
5. *Eucalyptus camaldulensis*				
6. *Eucalyptus globulus*				
7. *Eucalyptus grandis*				

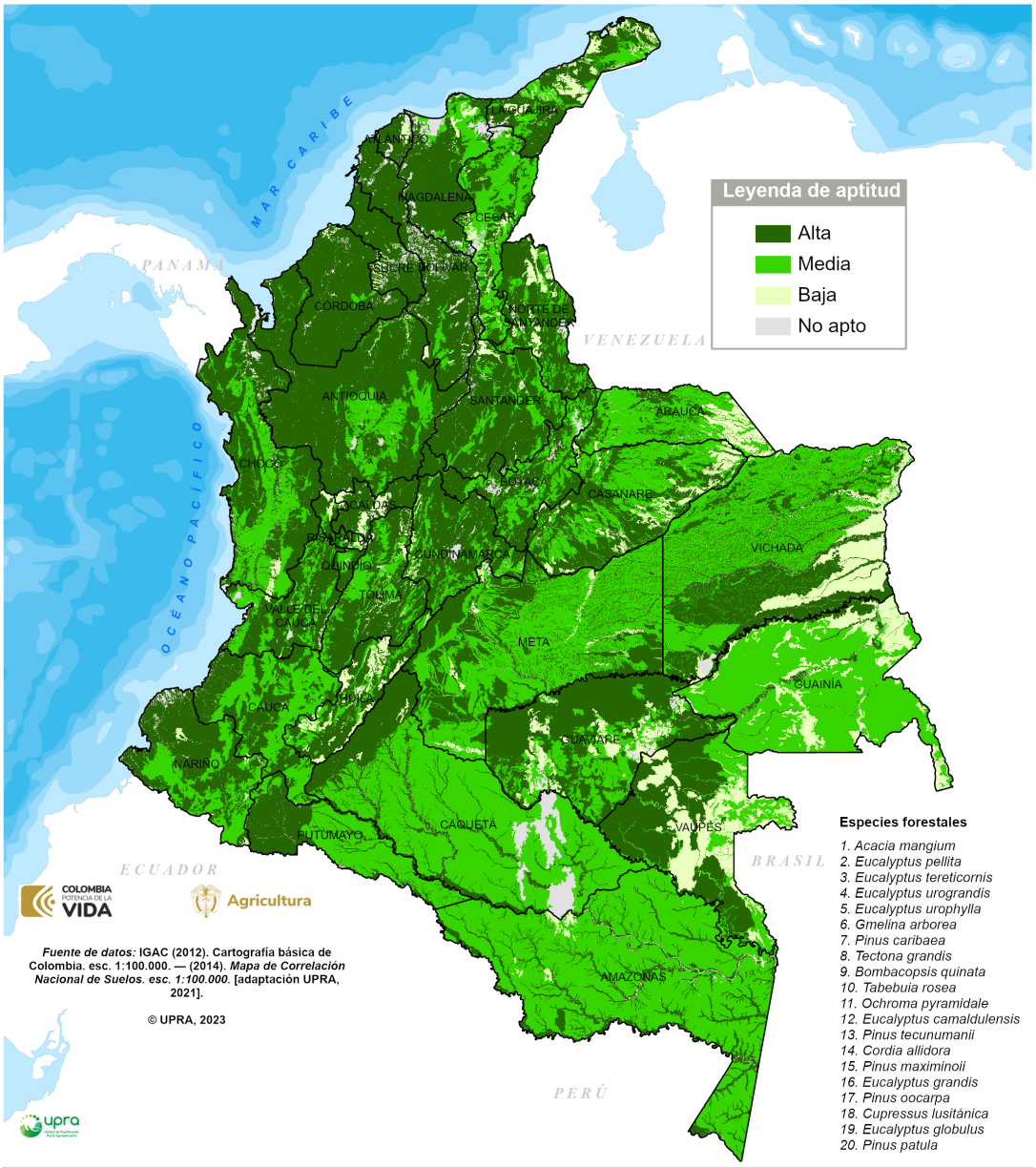
8. *Eucalyptus pellita*				
9. *Eucalyptus tereticornis*				
10. *Eucalyptus urograndis*				
11. *Eucalyptus urophylla*				
12. *Gmelina arborea*				
13. *Cordia alliodora*				
14. *Pinus caribaea*				
15. *Pinus maximinoi*				
16. *Pinus oocarpa*				
17. *Pinus patula*				
18. *Pinus tecunumanii*				
19. *Tabebuia rosea*				
20. *Tectona grandis*				

Esta variable se calificó con base en los requerimientos de las especies y a las consultas realizadas tanto a los expertos en cada una de las especies forestales como a la literatura científica asociada.

Unidad de análisis

Unidades cartográficas de suelos: asociaciones, consociaciones y complejos.

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO DISPONIBILIDAD DE HUMEDAD
Textura

Fuentes de información

Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (1998). *Guía para plantaciones forestales comerciales: Antioquia*. Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF). https://n9.cl/ej0ru

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Malagón, D. y Montenegro, H. (1990). *Propiedades físicas de los suelos*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Soil Science Division Staff (2017). *Soil survey manual*. Handbook 18. United States Department of Agriculture. https://n9.cl/kc79cp

1.7. Criterio *capacidad de laboreo*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: físico. Subcomponente: edáfico		
Criterio: *capacidad de laboreo*		
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	✓
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Variables asociadas al criterio

Pendiente, expresada en rangos de pendiente (%).

Textura, expresada en clases texturales.

Pedregosidad, expresada en fase cartográfica de pedregosidad.

Definición

Condiciones del terreno para preparar un sitio que permita establecer el cultivo para el posterior desarrollo, mantenimiento y producción. Las labores pueden efectuarse de forma manual, con tracción animal o mecanizada (FAO, 2022).

Importancia del criterio para el cultivo

Incide en la realización de las labores culturales, tanto manuales como mecanizadas, que abarcan la preparación del lote, el trazado, el ahoyado, el trasplante, el manejo fitosanitario, las fertilizaciones, las entresacas y el aprovechamiento.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

No se consideró ninguna variable que impidiera la realización de las diferentes labores, se determinó que la pendiente mayor a 75 % presenta alguna una limitación en el desarrollo de las actividades —especialmente en lo que tiene que ver con el el uso de la maquinaria— y dificultan las labores manuales.

Limitantes para la evaluación del criterio

La mayoría de las unidades cartográficas de suelos a escala 1:100.000 fueron asociaciones, para cada una de cuyas variables que conforman el criterio se calificó el componente taxonómico de mayor representatividad dentro de la unidad. Esto significa que dentro de la unidad existen áreas que tienen calificaciones diferentes al componente calificado y que no son representadas en el mapa.

Metodología de procesamiento de la información

Los datos para las tres variables que conforman este criterio se obtuvieron de la información del mapa nacional de correlación de suelos (IGAC, 2014), que corresponde a los límites de variación de la pendiente, las clases texturales y la fase de pedregosidad. De acuerdo con el hábito de crecimiento de las raíces y la susceptibilidad a los vientos fuertes, la pendiente se dividió en dos grupos, las otras dos variables son transversales a todas las especies (ver siguiente tabla).

Pendiente (%)		Aptitud
Grupo 1	Grupo 2	
≤12	<25	Alta (A1)
12-50	25-75	Media (A2)
>50	>75	Baja (A3)

Textura (clases texturales)	Aptitud
F, FL, FA, FarA, FarL	Alta(A1)
Far, ArA, ArL, L, Ar	Media(A2)
A, AF, Vertisoles	Baja(A3)

Pedregosidad	Aptitud
Sin fase de pedregosidad	Alta (A1)
Con fase de pedregosidad	Baja (A3)

Los rangos de aptitud de las variables se determinaron de acuerdo con las consultas realizadas tanto a los expertos en cada una de las especies forestales como a la literatura científica relacionada.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

La determinación de la clase de aptitud se obtuvo tomando las tres variables y comparando los rangos de aptitud entre sí, como se puede consultar en la siguiente tabla:

Árbol de decisión par el criterio

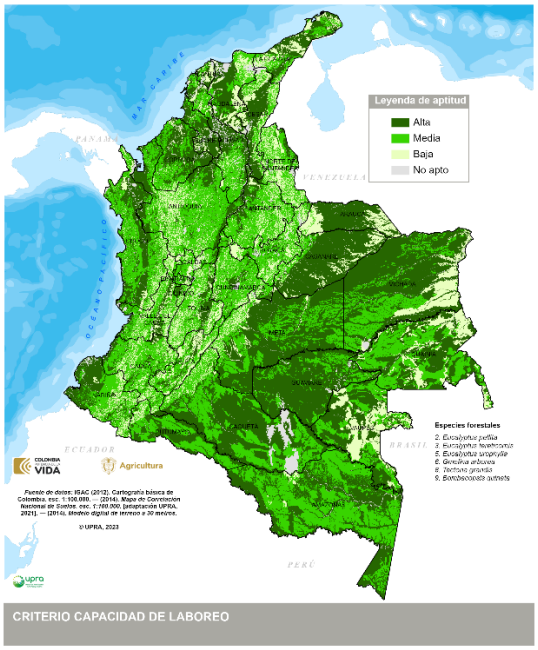
Pendiente (%)	Textura (clases texturales)	Pedregosidad	Aptitud
A1	A1	A1	A1
	A2	A2	A1
	A3	A3	A3
A2	A1	A1	A2
	A2	A2	A2
	A3	A3	A3
A3	Cualquiera	Cualquiera	A3

El argumento para discriminar los diferentes niveles de aptitud fue la limitación que cada una de las variables representó en el manejo de los suelos, ya que reduce las posibilidades de buena preparación de la tierra y de cultivos con deficiencias en el desarrollo y con el aprovechamiento.

Unidad de análisis

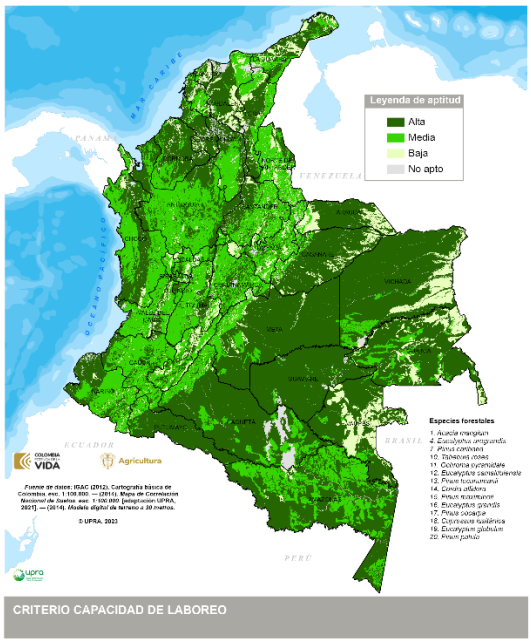
Unidades cartográficas de suelos: asociaciones, consociaciones y complejos.

Representación cartográfica del criterio



Grupo 1

2. *Eucalyptus pellita*
3. *Eucalyptus tereticornis*
5. *Eucalyptus urophylla*
6. *Gmelina arborea*
8. *Tectona grandis*
9. *Bombacopsis quinata*



Grupo 2

1. *Acacia mangium*
4. *Eucalyptus urograndis*
7. *Pinus caribaea*
10. *Tabebuia rosea*
11. *Ochroma pyramidale*
12. *Eucalyptus camaldulensis*
13. *Pinus tecunumanii*
14. *Cordia alliodora*
15. *Pinus maximinoi*
16. *Eucalyptus grandis*
17. *Pinus oocarpa*
18. *Cupressus lusitanica*
19. *Eucalyptus globulus*
20. *Pinus patula*

Fuentes de información

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2020). *Mecanización agrícola sostenible*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). https://n9.cl/aljdu

Soil Science Society of America (2018). *Glossary of soil science terms*. Soil Science Society of America (SSSA). https://n9.cl/1sbib

1.7.1. Variable *pendiente*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: físico. Subcomponente: edáfico		
Criterio asociado: *capacidad de laboreo*		
Variable: *pendiente*	Unidad de medida: porcentaje	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Grado de inclinación de una superficie desde la horizontal, generalmente expresada en porcentaje o grados (SSSA, 2018).

Importancia de la variable para el cultivo

Afecta la traficabilidad y eficiencia en la adecuación, preparación, mantenimiento y aprovechamiento de la plantación. De acuerdo con el desempeño de los tractores con implementos, se puede trabajar en pendientes de hasta el 12 % sin dificultades. De aquí en adelante, a medida que aumenta la inclinación del terreno, se dificultan las prácticas mecanizadas, lo que da paso a las actividades culturales manuales para el establecimiento, mantenimiento y aprovechamiento del cultivo. Las especies se han adaptado a las condiciones del territorio colombiano, pues ocupan terrenos planos o muy escarpados (CONIF, 1998;), incluso con las dificultad que implican las altas pendientes para la cosecha.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

No hubo rango de pendiente que se considerara como *no apto* (N1) para las veinte especies forestales evaluadas.

Limitantes de la evaluación de la variable

El uso de las fases cartográficas por pendiente a la escala 1:100.000 implica que en un polígono determinado se encuentran áreas pequeñas que pueden tener mayor o menor pendiente a la dominante, las cuales indican diferencias en el manejo del suelo.

Metodología de procesamiento de la información

La forma y el gradiente de la pendiente se manejaron de acuerdo con los rangos adoptados por el IGAC (2010), según la siguiente tabla:

Clase compuesta	Porcentaje (%)
Plana	0-3
Ligeramente ondulada	3-7
Moderadamente ondulada o ligeramente quebrada	7-12
Fuertemente ondulada o moderadamente quebrada	12-25
Ligeramente escarpada o fuertemente quebrada	25-50
Moderadamente escarpada o moderadamente empinada	50-75
Fuertemente escarpada o fuertemente empinada	>75

El proceso de generación del mapa de pendientes se basó en el uso de las fases de pendiente que se encuentran en el mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014).

Rangos para la asignación de valores de aptitud

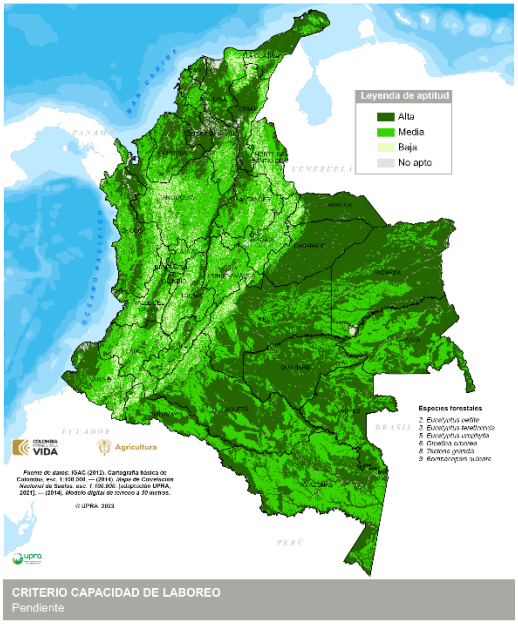
Esta variable presentó rangos de aptitud de acuerdo con la dificultad que se presentara para realizar las prácticas culturales en las labores de los cultivos, como se muestra a continuación:

Especies	Pendiente (%)			
	A1	A2	A3	N1
Grupo 1				
2. *Eucalyptus pellita*	<12	12-50	>50	—
3. *Eucalyptus tereticornis*				
5. *Eucalyptus urophylla*				
6. *Gmelina arborea*				
8. *Tectona grandis*				
9. *Bombacopsis quinata*				
Grupo 2				
1. *Acacia mangium*	<25	25-75	>75	—
4. *Eucalyptus urograndis*				
7. *Pinus caribaea*				
10. *Tabebuia rosea*				
11. *Ochroma pyramidale*				
12. *Eucalyptus camaldulensis*				
13. *Pinus tecunumanii*				
14. *Cordia alliodora*				
15. *Pinus maximinoi*				
16. *Eucalyptus grandis*				
17. *Pinus oocarpa*				
18. *Cupressus lusitanica*				
19. *Eucalyptus globulus*				
20. *Pinus patula*				

Unidad de análisis

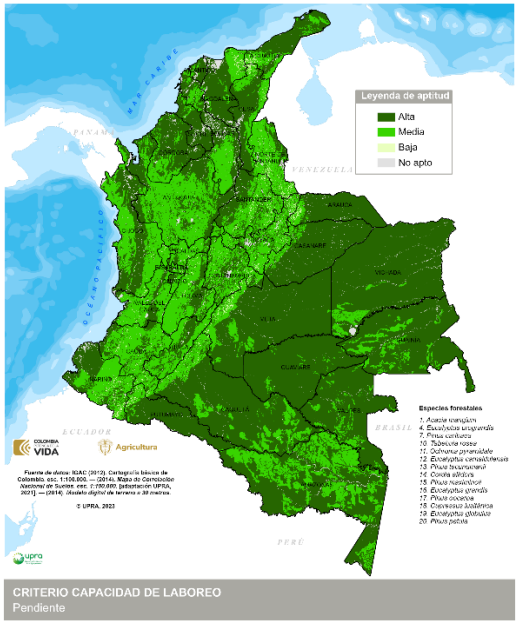
Unidades cartográficas de suelos: asociaciones, consociaciones y complejos.

Representación cartográfica de la variable



Grupo 1

2. *Eucalyptus pellita*
3. *Eucalyptus tereticornis*
5. *Eucalyptus urophylla*
6. *Gmelina arborea*
8. *Tectona grandis*
9. *Bombacopsis quinata*



Grupo 2

1. *Acacia mangium*
4. *Eucalyptus urograndis*
7. *Pinus caribaea*
10. *Tabebuia rosea*
11. *Ochroma pyramidale*
12. *Eucalyptus camaldulensis*
13. *Pinus tecunumanii*
14. *Cordia alliodora*
15. *Pinus maximinoi*
16. *Eucalyptus grandis*
17. *Pinus oocarpa*
18. *Cupressus lusitanica*
19. *Eucalyptus globulus*
20. *Pinus patula*

Fuentes de información

Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (1998). *Guía para plantaciones forestales comerciales: Antioquia*. Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF). https://n9.cl/ej0ru

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Soil Science Society of America (2018). *Glossary of soil science terms*. Soil Science Society of America (SSSA). https://n9.cl/1sbib

1.7.2. Variable *textura*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: físico. Subcomponente: edáfico		
Criterio asociado: *capacidad de laboreo*		
Variable: *textura*	Unidad de medida: cualitativa (clase textural)	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Proporciones relativas de las partículas o fracciones de arena, limo y arcilla en la tierra fina del suelo, es decir, en la *tierra tamizada* y con diámetro inferior a dos milímetros (Malagón y Montenegro, 1990). Se relaciona con la resistencia que ejerce el suelo en las labores del cultivo.

Importancia de la variable para el cultivo

Se relaciona no sólo con la resistencia que ejerce el suelo en las labores del cultivo sino también con la consistencia, la cual determina la resistencia del suelo a su ruptura y deformación en los estados de humedad. Esto afecta los requerimientos de potencia de los implementos utilizados. Para que los implementos penetren con facilidad en el suelo, se necesita una composición en proporciones similares de arena, limo y arcilla. Los suelos con altos contenidos de arcilla se vuelven pesados y pegajosos cuando las arcillas son de relación 2:1; los suelos arenosos desgastan los filos de las herramientas y no facilitan la construcción de surcos o drenajes.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

Aunque los tipos de textura representan diversos grados de dificultad para el movimiento del suelo, el uso implementos manuales o de maquinaria no excluyeron alguna clase textural.

Limitantes de la evaluación de la variable

La mayoría de las unidades cartográficas de suelos en los estudios generales representaron asociaciones o complejos de suelos, lo que dificultó la calificación, pues el criterio usado fue la dominancia de la clase textural en los horizontes superficiales del mayor componente de la unidad. Es posible tener algunos sectores en cada unidad con texturas de diferente calificación, pero no es posible reflejar en la calificación de la unidad por la escala que se determinó.

Metodología de procesamiento de la información

Esta variable se califica de acuerdo con el triángulo textural (Soil Science Division Staff, 2017) que se registra en la siguiente tabla:

Arenosa (A)
Arenosa franca (AF)
Franco-arenosa (FA)
Franca (F)
Franco-limosa (FL)
Limosa (L)
Franco-arcillo-arenosa (FarA)
Franco-arcillosa (Far)
Franco-arcillo-limosa (FarL)
Arcillo-arenosa (ArA)
Arcillo-limosa (ArL)
Arcillosa (Ar)

La información de base para determinar la textura de las unidades de suelos fue el mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014). Esta variable se calificó de acuerdo con el comportamiento de la textura cuando se remueve el suelo en lo relacionado con la pegajosidad, las facilidades de labranza y la susceptibilidad a la compactación.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

Las clases texturales cuyas prácticas de laboreo se pueden realizar satisfactoriamente sin implicar daños a las propiedades físicas del suelo ni a los implementos de la maquinaria se calificaron con *aptitud alta* (A1). Las clases texturales con *aptitud media* (A2) correspondieron a las clases texturales con altos contenidos de arcillas que pueden compactar el suelo y generar pegajosidad. Los suelos con dominancia de arcillas se calificaron la *aptitud media* (A2) por su baja pegajosidad. Las clases texturales calificadas con *aptitud baja* (A3) correspondieron no sólo a las gruesas, pues facilitan la compactación del suelo, desgastan con mayor rapidez las herramientas y no permiten la construcción de surcos; sino también las arcillosas cuando presentan una proporción mayor al 60 %, lo cual corresponde a los suelos vertisoles, como se muestra a continuación:

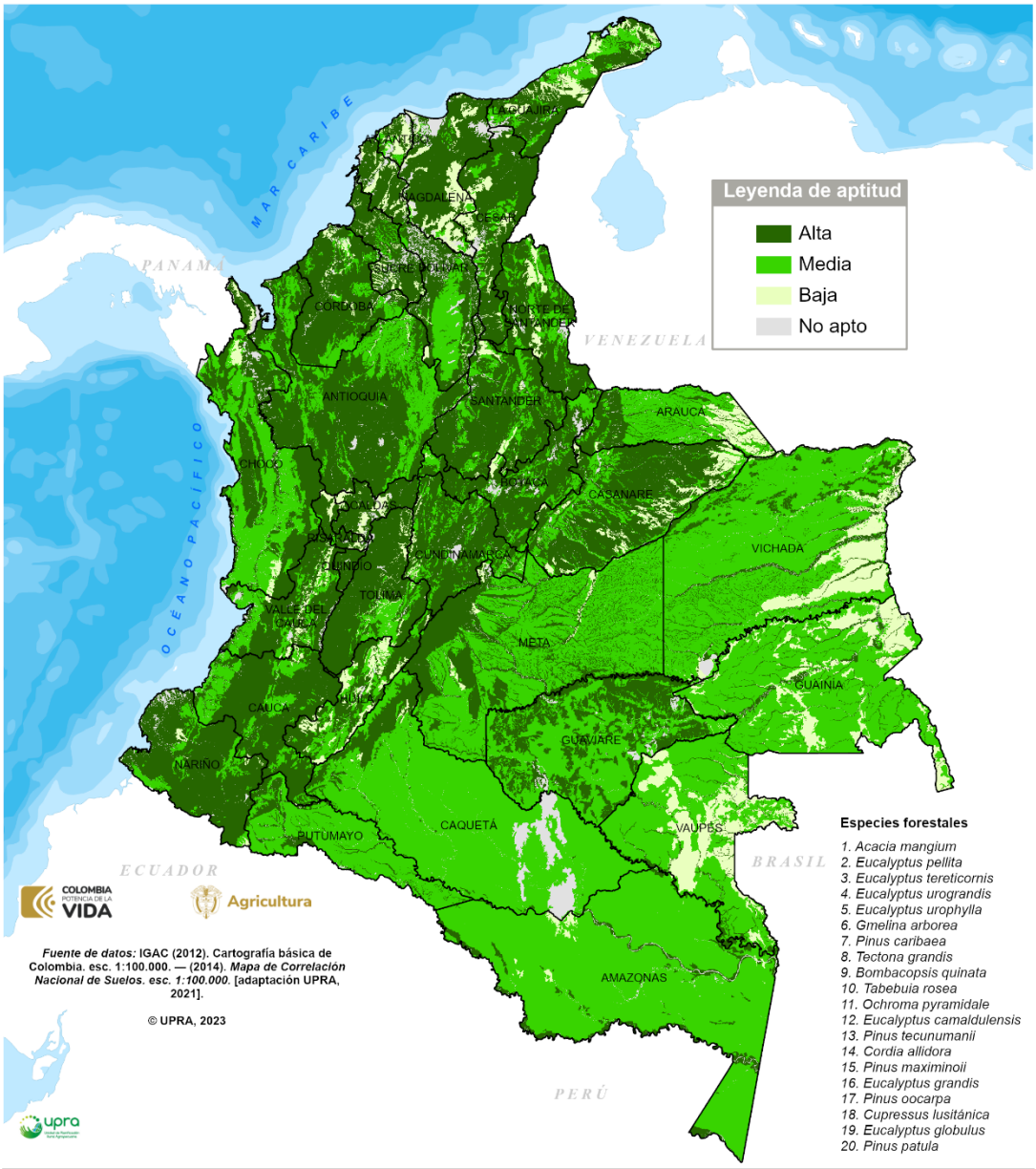
Especies	Textura (clases texturales)			
	A1	A2	A3	N1
1. *Acacia mangium*	F, FL, FA, FarA, FarL, Far	ArA, ArL, L, Ar	A, AF, vertisoles	—
2. *Eucalyptus pellita*				
3. *Eucalyptus tereticornis*				
4. *Eucalyptus urograndis*				
5. *Eucalyptus urophylla*				
6. *Gmelina arborea*				
7. *Pinus caribaea*				
8. *Tectona grandis*				
9. *Bombacopsis quinata*				

10. *Tabebuia rosea*				
11. *Ochroma pyramidale*				
12. *Eucalyptus camaldulensis*				
13. *Pinus tecunumanii*				
14. *Cordia alliodora*				
15. *Pinus maximinoi*				
16. *Eucalyptus grandis*				
17. *Pinus oocarpa*				
18. *Cupressus lusitanica*				
19. *Eucalyptus globulus*				
20. *Pinus patula*				

Unidad de análisis

Unidades cartográficas de suelos: asociaciones, consociaciones y complejos.

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO CAPACIDAD DE LABOREO
Textura

Fuentes de información

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Malagón, D. y Montenegro, H. (1990). *Propiedades físicas de los suelos*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Soil Science Division Staff (2017). *Soil survey manual*. Handbook 18. United States Department of Agriculture. https://n9.cl/kc79cp

1.7.3. Variable *pedregosidad*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: físico. Subcomponente: edáfico		
Criterio asociado: *capacidad de laboreo*		
Variable: *pedregosidad*	Unidad de medida: cualitativa (fase cartográfica de pedregosidad)	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Fragmentos de roca de dos o más milímetros de diámetro. Se reconocen, de acuerdo con su tamaño, como *grava*, *guijarro*, *piedra* y *bloques* (Forbes, Rossiter & Wambeke, 1987). Para fines prácticos de manejo de suelos, se toma la dimensión de fragmentos de roca mayores a 7,6 centímetros de diámetro, que incluyen guijarros, piedras y bloques.

Importancia de la variable para el cultivo

Incide en la integridad de los implementos agrícolas; limita las prácticas de adecuación y establecimiento del cultivo; y disminuye el área útil por unidad de superficie. En la medida en que aumenta la presencia de fragmentos de roca, se dificultan las labores de adecuación de las tierras y el diseño de la siembra, el ahoyado, los mantenimientos y el aprovechamiento de la plantación.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

No se calificaron tierras como *no aptas* (N1). Las tierras con fase pedregosa, es decir, con más del 35 % por volumen, se califica con *aptitud baja* (A3), dadas las limitaciones que presenta en el manejo de los suelos, el mantenimiento y el aprovechamiento del cultivo.

Limitantes de la evaluación de la variable

La principal limitante para la evaluación de esta variable se asoció a la forma como se encuentra registrada la información en el mapa nacional de correlación de suelos (IGAC, 2014), pues solamente aparece la fase pedregosa. No se encontró discriminada en rangos por porcentaje de recubrimiento.

Metodología de procesamiento de la información

Esta variable se tomó sólo como aparecen en los registros de la información de la base de datos, es decir, como fase pedregosa, pero sin especificar los rangos por porcentaje de pedregosidad.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

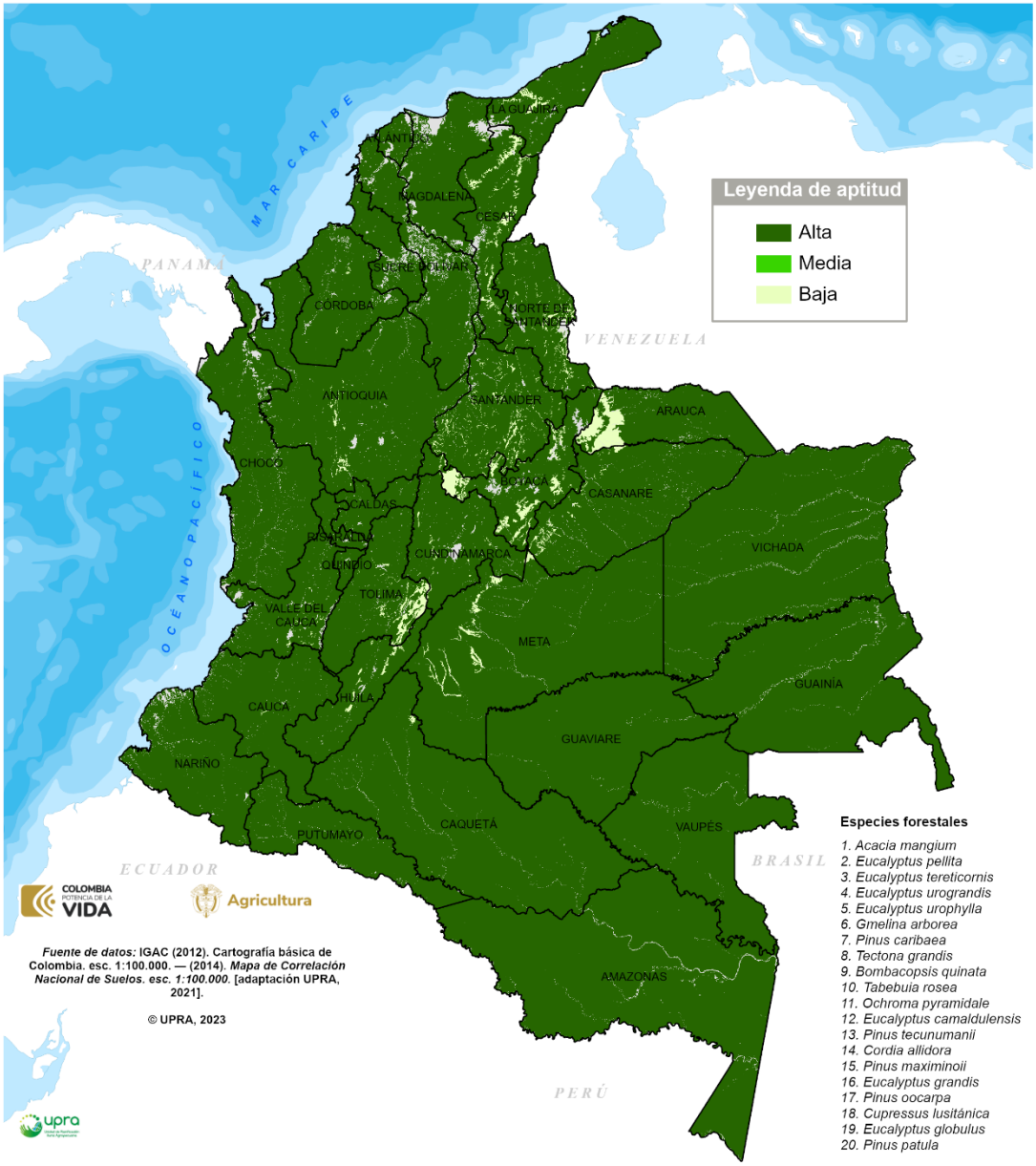
La asignación de rangos correspondió a la fase cartográfica de pedregosidad, es decir, a la fase pedregosa mayor al 35 % en volumen, la cual se determina en la fase de campo del estudio de suelos; y sin fase de pedregosidad, o sea, la expresión que indica que no hay pedregosidad. Esta variable presentó los siguientes rangos de aptitud:

Especies	Pedregosidad			
	A1	A2	A3	N1
1. *Acacia mangium*	No pedregoso	—	Pedregoso	—
2. *Eucalyptus pellita*				
3. *Eucalyptus tereticornis*				
4. *Eucalyptus urograndis*				
5. *Eucalyptus urophylla*				
6. *Gmelina arborea*				
7. *Pinus caribaea*				
8. *Tectona grandis*				
9. *Bombacopsis quinata*				
10. *Tabebuia rosea*				
11. *Ochroma pyramidale*				
12. *Eucalyptus camaldulensis*				
13. *Pinus tecunumanii*				
14. *Cordia alliodora*				
15. *Pinus maximinoi*				
16. *Eucalyptus grandis*				
17. *Pinus oocarpa*				
18. *Cupressus lusitanica*				
19. *Eucalyptus globulus*				
20. *Pinus patula*				

Unidad de análisis

Unidades cartográficas de suelos: asociaciones, consociaciones y complejos.

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO CAPACIDAD DE LABOREO
Pedregosidad

Fuentes de información

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Van Wambeke, A. y Forbes, T.R. (1987). *Criterios para el uso de la taxonomía de suelos en la denominación de unidades cartográficas: monografía técnica 15*. Cornell University, Department of Agronomy.

1.8. Criterio *susceptibilidad a la pérdida de suelos*

Ficha metodológica de criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: físico. Subcomponente: edáfico		
Criterio: *susceptibilidad a la pérdida de suelos*		
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	✓
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Variables asociadas al criterio

Fases por grados de erosión: desgaste actual de la superficie de la tierra por el desprendimiento y transporte del suelo y de los materiales de roca a través de la acción del agua en movimiento, el viento u otros agentes geológicos (USDA, 1991).

Degradación de suelos por erosión: pérdida de la capa superficial de la corteza terrestre por acción del agua o viento, que es mediada por los seres humanos y tiene consecuencias ambientales, sociales, económicas y culturales (Ideam, 2015).

Pendiente: grado de inclinación de una superficie desde la horizontal, expresada en porcentaje o grados (Soil Science Society of America, 2018).

Amenaza por movimientos en masa: peligro latente de movimientos en masa de origen natural o inducidos por la acción humana de modo accidental, en función de la probabilidad de ocurrencia espacial y temporal (SGC, 2016).

Definición

Grado de vulnerabilidad de las tierras a ser afectadas por los agentes erosivos. Aunque suele ser un proceso natural, puede incrementarse con el uso inadecuado del suelo, lo cual origina una disminución de la productividad (FAO, 1976).

Importancia del criterio para el cultivo

Para el establecimiento comercial de especies maderables, lo ideal es que no haya erosión o que el grado sea ligero o máximo moderado, porque las actividades relacionadas con el suelo en la preparación, mantenimiento y cosecha lo expone a la pérdida por erosión.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado

No se consideraron rangos que se calificaran como *no aptos* (N1), pues las plantaciones permanecen varios años sin intervención, tiempo en el cual los procesos erosivos son atenuados o interrumpidos.

Limitantes para la evaluación del criterio

La representación cartográfica se rigió por las unidades cartográficas de suelos a escala 1:100.000 que contienen fases por erosión, oues otras variables son polígonos de mayor tamaño que no permiten precisión en la delimitación de la pérdida de suelos. El criterio se estableció mediante un árbol de decisión para los cultivos de especies maderables con la combinación de las fases cartográficas por erosión del mapa de correlación nacional de suelos del IGAC (2014); el mapa de degradación de suelos por erosión del Ideam (2015); el modelo digital de pendiente en porcentaje a partir del SRTM de 30 metros; y el mapa de amenazas por movimientos en masa del Servicio Geológico Colombiano (2016) a partir de siguiente árbol de decisión:

Fases por erosión: correlación de suelos IGAC	Degradación de suelos por erosión Ideam	Pendiente MDT	Amenaza por movimientos en masa SGC	Aptitud
Sin evidencia	No hay; ligera	≤25	Baja; media	A1
			Alta	A1
			Muy alta	A1
		>25	Baja; media	A1
			Alta	A1
			Muy alta	A1
	Moderada	≤25	Baja; media	A1
			Alta	A1
			Muy alta	A1
		>25	Baja; media	A1
			Alta	A1
			Muy alta	A1
	Severa	≤25	Baja; media	A1
			Alta	A1
			Muy alta	A1
		>25	Baja; media	A2
			Alta	A2
			Muy alta	A2
	Muy severa	≤25	Baja; media	A2
			Alta	A2
			Muy alta	A2
		>25	Baja; media	A2
			Alta	A2
			Muy alta	A2
Ligera	No hay; ligera	≤25	Baja; media	A1
			Alta	A1
			Muy alta	A1
		>25	Baja; media	A1
			Alta	A1
			Muy alta	A2
	Moderada	≤25	Baja; media	A1
			Alta	A1

			Muy alta	A1
		>25	Baja; media	A1
			Alta	A2
			Muy alta	A2
	Severa	≤25	Baja; media	A1
			Alta	A1
			Muy alta	A1
		>25	Baja; media	A2
			Alta	A2
			Muy alta	A2
	Muy severa	≤25	Baja; media	A2
			Alta	A2
			Muy alta	A2
		>25	Baja; media	A3
			Alta	A3
			Muy alta	A3
Moderada	No hay; ligera	≤25	Baja; media	A1
			Alta	A1
			Muy alta	A2
		>25	Baja; media	A1
			Alta	A1
			Muy alta	A2
	Moderada	≤25	Baja; media	A2
			Alta	A2
			Muy alta	A2
		>25	Baja; media	A2
			Alta	A2
			Muy alta	A2
	Severa	≤25	Baja; media	A2
			Alta	A2
			Muy alta	A2
		>25	Baja; media	A2
			Alta	A2
			Muy alta	A2
	Muy severa	≤25	Baja; media	A2
			Alta	A2
			Muy alta	A2
		>25	Baja; media	A2
			Alta	A2
			Muy alta	A2
Severa	No hay; ligera	≤25	Baja; media	A2
			Alta	A2
			Muy alta	A2
		>25	Baja; media	A2

			Alta	A2
			Muy alta	A2
	Moderada	≤25	Baja; media	A2
			Alta	A2
			Muy alta	A2
		>25	Baja; media	A2
			Alta	A2
			Muy alta	A2
	Severa	≤25	Baja; media	A2
			Alta	A2
			Muy alta	A2
		>25	Baja; media	A2
			Alta	A2
			Muy alta	A2
	Muy severa	≤25	Baja; media	A3
			Alta	A3
			Muy alta	A3
		>25	Baja; media	A3
			Alta	A3
			Muy alta	A3
Muy severa	No hay, ligera	≤25	Baja; media	A2
			Alta	A2
			Muy alta	A2
		>25	Baja; media	A2
			Alta	A2
			Muy alta	A2
	Moderada	≤25	Baja; media	A2
			Alta	A2
			Muy alta	A2
		>25	Baja; media	A2
			Alta	A2
			Muy alta	A2
	Severa	≤25	Baja; media	A2
			Alta	A2
			Muy alta	A2
		>25	Baja; media	A2
			Alta	A2
			Muy alta	A2
	Muy severa	≤25	Baja; media	A3
			Alta	A3
			Muy alta	A3
		>25	Baja; media	A3
			Alta	A3
			Muy alta	A3

Rangos para la asignación de valores de aptitud

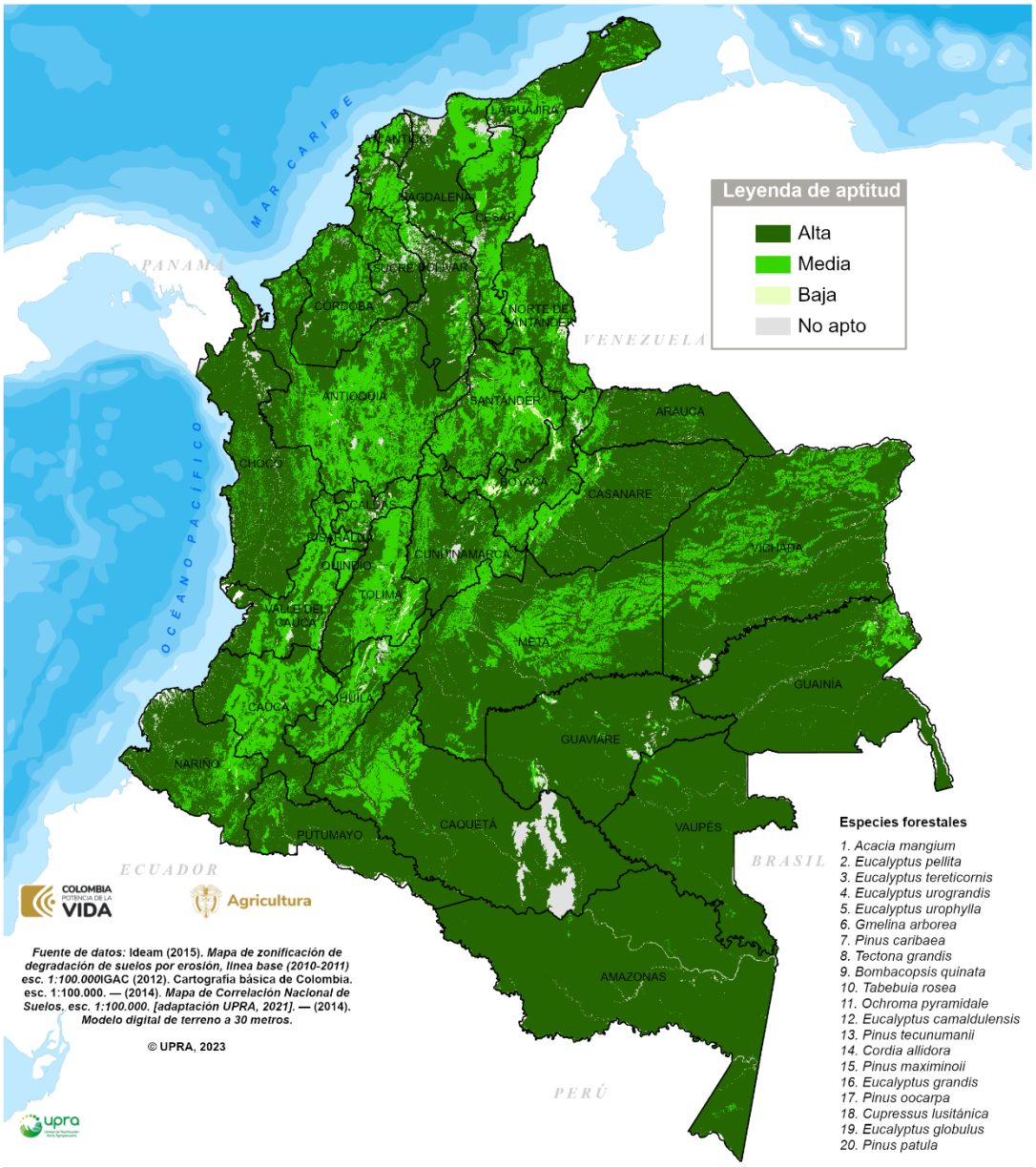
El argumento para diferenciar los niveles de aptitud fue el efecto que cada uno de los rangos preserntó en el favorecimiento a la pérdida de suelo, ya que reduce las posibilidades de mantener un área productiva. A continuación se presentan los criterios de calificación:

Especies	Variables	Unidad de medida	A1	A2	A3	N1
1. *Acacia mangium* 2. *Eucalyptus pellita* 3. *Eucalyptus tereticornis* 4. *Eucalyptus urograndis* 5. *Eucalyptus urophylla* 6. *Gmelina arborea* 7. *Pinus caribaea* 8. *Tectona grandis* 9. *Bombacopsis quinata* 10. *Tabebuia rosea* 11. *Ochroma pyramidale* 12. *Eucalyptus camaldulensis* 13. *Pinus tecunumanii* 14. *Cordia alliodora* 15. *Pinus maximinoi* 16. *Eucalyptus grandis* 17. *Pinus oocarpa* 18. *Cupressus lusitanica* 19. *Eucalyptus globulus* 20. *Pinus patula*	*Fases por grado de erosión* *Degradación de suelos por erosión* *Pendiente* *Amenaza por movimientos en masa*	Producto de combinación de fases de erosión, degradación de suelos por erosión, pendiente y amenaza por movimientos en masa.	Baja susceptibilidad a la pérdida de suelos para la producción de especies forestales	Condiciones que presentan moderada susceptibilidad a la pérdida de suelos para la producción de especies forestales	Condiciones que presentan fuerte susceptibilidad a la pérdida de suelos para la producción de especies forestales	Restricciones por susceptibilidad a la pérdida de suelos, que imposibilitan la producción de especies forestales

Unidad de análisis

Fases por erosión; unidades cartográficas de degradación de suelos por erosión; unidades cartográficas de susceptibilidad relativa a movimientos en masa.

Representación cartográfica del criterio



CRITERIO SUCEPTIBILIDAD A LA PÉRDIDA DE SUELO

Fuentes de información

Food and Agriculture Organization of the United Nations (1976). *A framework for land evaluation*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI). https://edepot.wur.nl/149437

Food and Agriculture Organization of the United Nations (1991). *Guidelines: land evaluation for extensive grazing*. FAO soils bulletin 58. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Land and Water Division. Recuperado de: https://n9.cl/mhefx

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (2015). *Estudio nacional de la degradación de suelos por erosión en Colombia, 2015*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). https://n9.cl/g7g5d

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Klingebiel, A.A. & P.H. Montgomery (1961). *Land-capability classification: agriculture handbook n.° 210*. United States Department of Agriculture (USDA), Soil Conservation Service.

Servicio Geológico Colombiano (2023). *Evaluación de amenaza por movimientos en masa*. Servicio Geológico Colombiano (SGC). https://n9.cl/4xh57

Soil Science Society of America (2018). Glossary of soil science terms. *Term of the week: udalfs*. Soil Science Society of America (SSSA). https://n9.cl/1sbib

2. Fichas metodológicas del componente socioecosistémico

2.1. Criterio *integridad ecológica*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioecosistémico		
Criterio: *integridad ecológica*		
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Variables asociadas al criterio

La integridad ecológica (IE) se evaluó a través de variables estructurales de paisaje y se aplicó a los tres grupos de las especies forestales estudiadas de acuerdo con el impacto sobre los ecosistemas naturales: *integridad ecológica*, asociada a las especies forestales nativas balso, roble, ceiba y nogal cafetero; a las especies exóticas eucaliptus, pinos, teca y acacia, la , por sus características de alto potencial de invasibilidad, requiere un análisis especial. El criterio se evalúa a través de las siguientes variables:

Fragmentación y conectividad estructural de las coberturas naturales (FCECN), evaluada mediante métricas de composición, heterogeneidad y conectividad espacial de las coberturas naturales, se expresa como categoría de costo-distancia acumulada. Las subvariables de esta variable son *reclasificación de coberturas*, *métricas de fragmentación* y *conectividad estructural de las coberturas naturales*.

Índice de naturalidad (INAT), calculado como proporción de superficie de coberturas naturales en cada polígono de unidad biogeográfica, lo cual varía entre 0 y 100 %.

Áreas de concentración de especies sensibles (ACES), cuyas subvariables *son áreas prioritarias para la conservación (APC)*, *áreas de importancia para la conservación de aves silvestres (AICAS)* y *áreas críticas para aves migratorias en agroecosistemas (AC)*.

Definición

Capacidad del ecosistema de soportar y mantener su capital natural sin degradarse y de funcionar permanentemente de forma saludable o apropiada como condición indispensable para

la prestación, la regulación y el flujo de servicios ecosistémicos requeridos para la sostenibilidad de los sistemas productivos y del territorio (Ciontescu, 2012).

La integridad ecológica estima la calidad ambiental, útil en la planificación y toma de decisiones para la conservación. Se define como la «habilidad de un ecosistema para soportar y mantener una comunidad, balanceada y adaptada, de organismos con una composición de especies, diversidad y organización funcional comparable con aquella de los hábitats naturales en una región». Constituye una medida del funcionamiento permanente y saludable de los ecosistemas en un territorio y de la provisión continuada de recursos naturales y servicios ecosistémicos (autogenerados y autosostenibles), por lo que vincula el bienestar humano actual y futuro con el cuidado y protección de la tierra y sus ecosistemas como hábitat de las especies (Corcoran, 2005; Ciontescu, 2012). De acuerdo con esta definición, un territorio con integridad ecológica es capaz de sobreponerse y superar perturbaciones naturales y los disturbios inducidos por el hombre.

Importancia del criterio

La integridad ecológica aproxima el estado de conservación de un área determinada para establecer el grado de salud de los ecosistemas, la vocación como área de conservación, la restauración o la aptitud hacia el establecimiento de plantaciones forestales. El análisis de esta variable se orienta proteger y restablecer la integridad de los sistemas ecológicos con especial atención en la diversidad biológica y los procesos naturales que sustentan la vida; evitar el deterioro del territorio mediante el desarrollo de acciones ambientales sostenibles, pues, cuando el conocimiento sea limitado, debe primar el principio de precaución; adoptar patrones de producción que salvaguarden la capacidad de regeneración de los ecosistemas, los derechos humanos y el bienestar de las comunidades; y promover la sostenibilidad ecológica.

Para efectos de la evaluación de tierras, un territorio con integridad ecológica es capaz de sobreponerse y superar perturbaciones naturales y los disturbios inducidos por el hombre. De este modo, garantiza la identidad ecosistémica y la prestación de los servicios ecosistémicos que lo definen. Al entenderse como como la capacidad para amortiguar situaciones de alteración y la sostenibilidad del territorio, la IE refleja la salud ambiental en los paisajes transformados. Así, se relaciona con el mantenimiento de la capacidad productiva de los sistemas agropecuarios que conforman la matriz rural que alberga el potencial productivo de un territorio. Igualmente, refleja una medida del nivel de precaución que debe adoptar el sistema productivo en respeto de lugares considerados estratégicos por su alto valor ecológico o de conservación (AVC).

A través de la IE, se contribuye en el logro de los compromisos asumidos por el sector agropecuario a través del Decreto 2478 de 1999, que establece que Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural debe «armonizar y coordinar la formalización y adopción de la política de protección y uso productivo de los servicios ambientales, agua, suelo, captura de carbono y biodiversidad con el Ministerio del Medio Ambiente». Finalmente, el modelo parte del hecho según el cual la aptitud para el establecimiento de plantaciones forestales varía en relación inversa con la integridad ecológica del territorio, baja donde hay altos valores ecológicos de conservación (AVC), pues deben primar las prácticas de preservación, conservación o

restauración. La aptitud se incrementa en lugares donde dicha integridad es reducida debido a la transformación del paisaje o ausencia de dichos AVC.

Limitantes de la evaluación del criterio

La temporalidad de la información de Corine Land Cover asociada a las coberturas del periodo 2018 limita una interpretación actualizada de la situación ecosistémica real. Sin embargo, ésta es la última información oficial generada y disponible. Adicionalmente, la información sobre biodiversidad usualmente cuenta con limitaciones relacionadas con la representatividad de los grupos taxonómicos y el esfuerzo de muestreo, por lo que es difícil presentar la información de forma homogénea para las regiones del país.

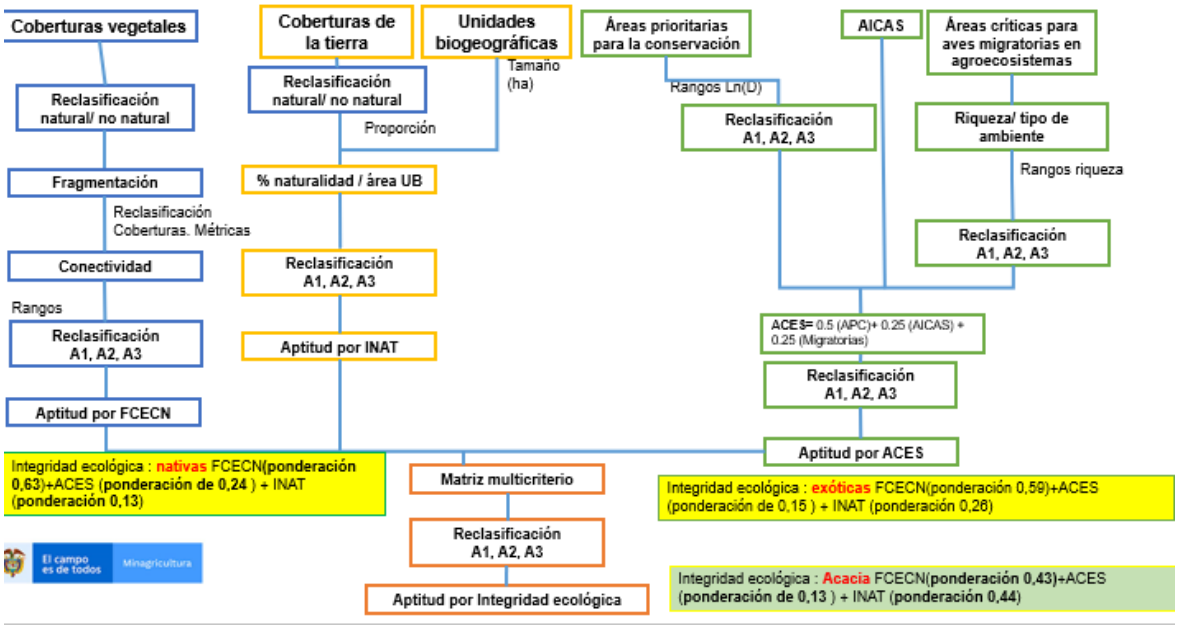
Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

No hubo valores de exclusión, pues ninguna variable presentó límites que calificaran zonas del territorio nacional como no aptas (N1).

Metodología de procesamiento de la información

La integridad ecológica analiza los componentes estructurales y funcionales del sistema, o sea, la integridad espacial e integridad ecosistémica (Vélez y Gómez, 2008) mediante la integración de la fragmentación y conectividad, que se evalúa con métricas de composición, heterogeneidad y conectividad espacial de las coberturas naturales expresadas como categoría de costo-distancia acumulada; el índice de naturalidad (INAT), que se calcula como la proporción de superficie de coberturas naturales en cada polígono de unidad biogeográfica, el cual varía entre 0-100 %; y las áreas de concentración de especies sensibles (ACES).

Para evaluar el criterio, se realizó el procesamiento independiente de variable para tres grupos diferentes de especies forestales comerciales: especies nativas, especies exóticas (excepto las acacias) y la acacia como especie exótica de importancia singular por su grado de invasibilidad. A continuación se presenta el esquema metodológico para la determinación de la aptitud del criterio integridad ecológica:



Para la construcción del criterio, se integraron las variables mediante la suma ponderada de sus valores de aptitud, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$A_{IE} = \alpha A_{FCECN} + \beta A_{INAT} + \gamma A_{ACES}$$

donde α, β y γ representan los coeficientes o factores de ponderación de la aptitud de las tres variables, los cuales se determinan mediante el criterio de experto. Para las especies nativas *Ochroma pyramidale*, *Cordia alliodora*, *Tabebuia rosea* y *Bombacopsis quinata*, los valores correspondieron a

$\alpha = 0{,}63$

$\beta = 0{,}13$

$\gamma = 0{,}24$

Para las especies exóticas (exceptuando *Acacia mangium*), representadas por *Eucaliptus globulus*, *Eucaliptus grandis*, *Eucaliptus tereticornis*, *Eucaliptus pellita*, *Eucaliptus camaldulensis*, *Eucaliptus urophylla*, *Eucaliptus urograndis*, *Pinus patula*, *Pinus oocarpa*, *Pinus maximinoi*, *Pinus caribea*, *Pinus tecunumanii*, *Cupressus lusitanica*, *Tectona grandis* y *Gmelina arborea*, los valores correspondieron a

$\alpha = 0{,}53$

$\beta = 0{,}23$

$\gamma = 0{,}15$

Para *Acacia mangium*, los valores asignados fueron

$\alpha = 0{,}43$

$\beta = 0{,}44$

$\gamma = 0{,}13$

Los resultados de estas sumas se agruparon en las categorías de aptitud A1, A2 y A3, como se presentan en las siguientes tablas. Cabe aclarar que fue necesario emplear intervalos geométricos como método de agrupamiento del programa ArcGIS para le evalución no sólo de la especie exótica *Acacia mangium*, sino también para el ajuste manual de los rangos de exóticas y nativas.

Criterio	Categorías de aptitud para *Acacia mangium*			
	Alta (A1)	**Media (A2)**	**Baja (A3)**	**No apto (N1)**
Integridad ecológica	La actividad productiva irrumpe en baja medida sobre la conectividad natural, los espacios naturales o los procesos vitales de especies sensibles: >1,89	La actividad productiva irrumpe en grado moderado la conectividad natural, los espacios naturales o los procesos vitales de especies sensibles. Debe actuarse con cierta precaución durante el proceso productivo: 1,11-1,89	En los lugares en donde la integridad ecológica es mayor, la actividad productiva irrumpe fuertemente la conectividad natural, los espacios naturales o los procesos vitales de especies sensibles. Debe actuarse con mayor precaución durante el proceso productivo: <1,11	—

Criterio	Categorías de aptitud para las especies nativas y exóticas			
	Alta (A1)	**Media (A2)**	**Baja (A3)**	**No apto (N1)**
Integridad ecológica	La actividad productiva irrumpe en baja medida sobre la conectividad natural, los espacios	La actividad productiva irrumpe en grado moderado la conectividad natural, los espacios naturales o los	Los lugares en donde la integridad ecológica es mayor, la actividad productiva irrumpe fuertemente la conectividad natural, los	—

	naturales o los procesos vitales de especies sensibles: >1,74	procesos vitales de especies sensibles. Debe actuarse con cierta precaución durante el proceso productivo: 1,14-1,74	espacios naturales o los procesos vitales de especies sensibles. Debe actuarse con mayor precaución durante el proceso productivo: <1,14	

Rangos para la asignación de valores de aptitud

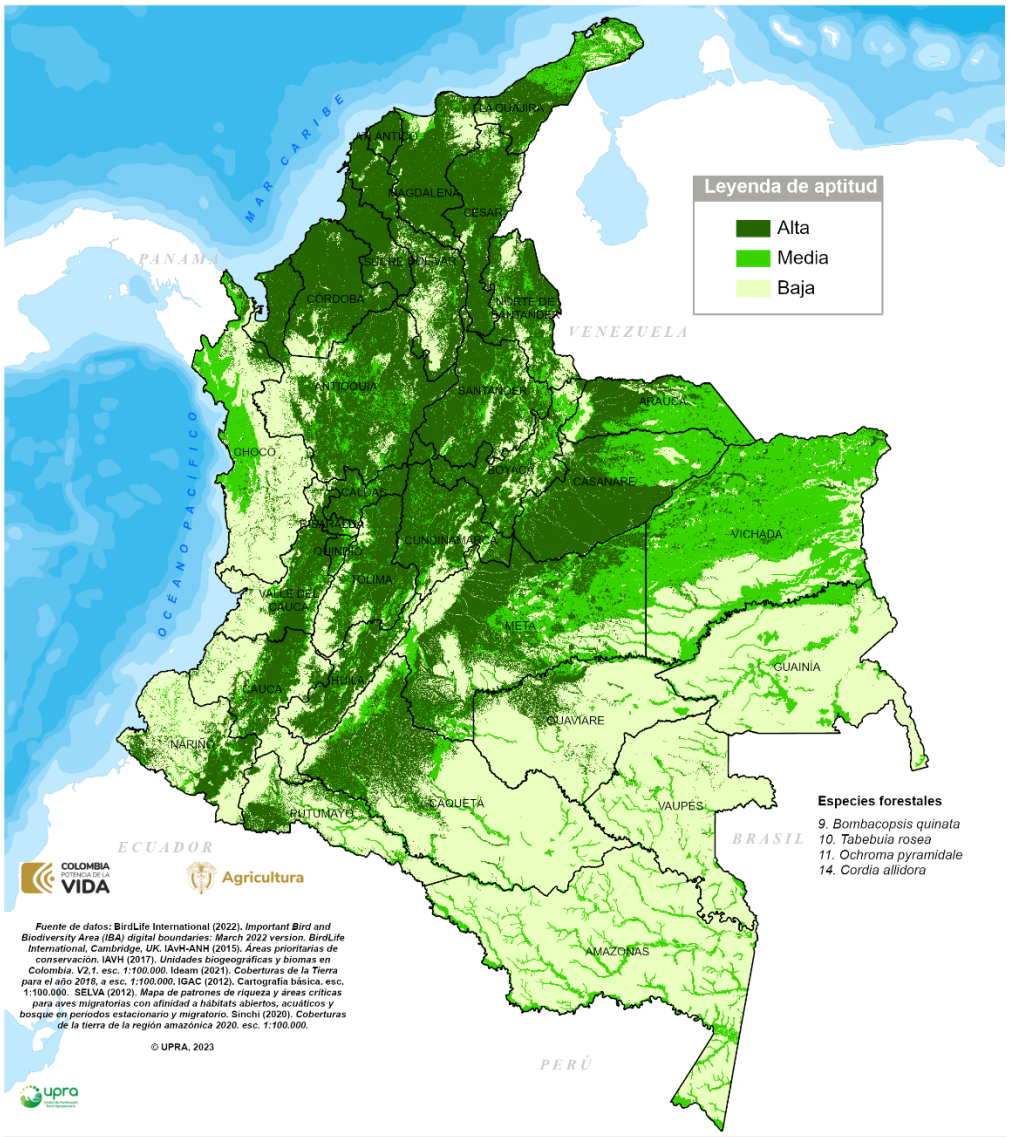
Los rangos de variación de la aptitud por integridad ecológica para plantaciones forestales se presentan en la siguiente tabla:

Variables	Unidad de medida	Categorías de aptitud			
		Alta (A1)	**Media (A2)**	**Baja (A3)**	**No apto (N1)**
Fragmentación y conectividad	Categoría de fragmentación y conectividad	Conectividad baja: >17.500 Menor número de parches; mayor tamaño medio de los parches; dimensión fractal media del parche 1; parches cortos con menor complejidad de forma	Conectividad media: 0-17500 Moderado número de parches; moderado tamaño medio de los parches; dimensión fractal media del parche 2; parches medios con moderada complejidad de forma	Conectividad alta: 0 Mayor número de parches; menor tamaño medio de los parches; dimensión fractal media del parche 3; parches largos con mayor complejidad de forma	—
Índice de naturalidad (INAT)	Índice de naturalidad: 0-100 %	Naturalidad muy baja-vital: 0-5 % Naturalidad baja-estratégica: 5-30 %	Naturalidad media-alta: 50-75 %	Naturalidad muy alta-protección: 75-100 %	—

Variables	Unidad de medida	Categorías de aptitud			
		Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	No apto (N1)
		Naturalidad moderada: 30-50 %			
Áreas de concentración de especies sensibles (ACES)	Categorías de concentración de especies sensibles	Zonas de muy baja densidad de especies sensibles: >2,75 Áreas sin identificación o baja presencia de APC Ausencia de AICAS Áreas sin importancia para especies migratorias: >2,9	Zonas de baja densidad de especies sensibles: 1,25-2,75 APC con alta presencia de especies sensibles Presencia de AICAS Áreas de importancia moderada o alta para especies migratorias: 2,66-2,9	Zonas de moderada, alta y muy alta densidad de especies: <1,25 APC con densidad muy alta asociada a coberturas naturales Presencia de AICAS Áreas de importancia muy alta para especies migratorias: <2,66	—

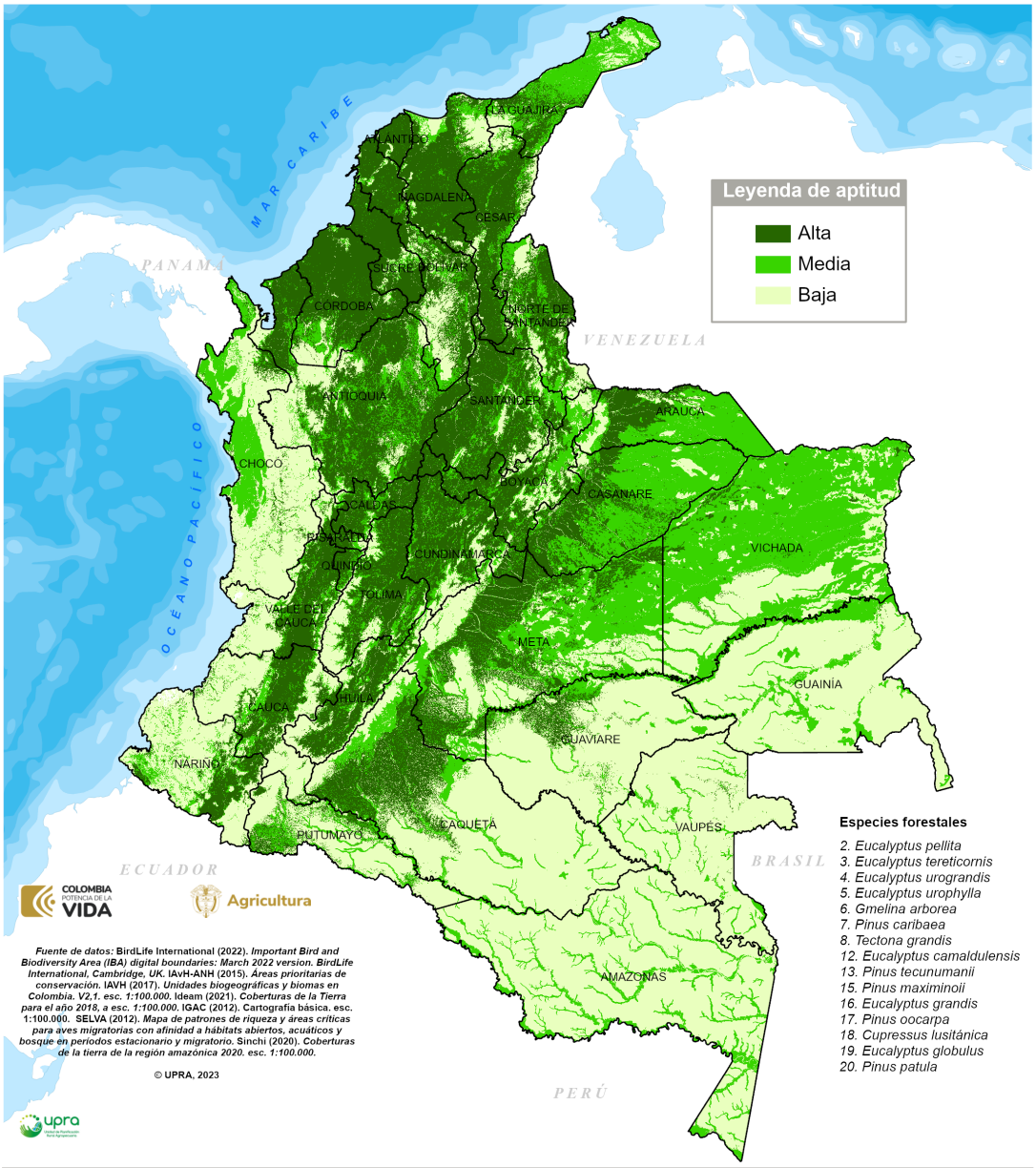
Representación cartográfica del criterio

Especies nativas



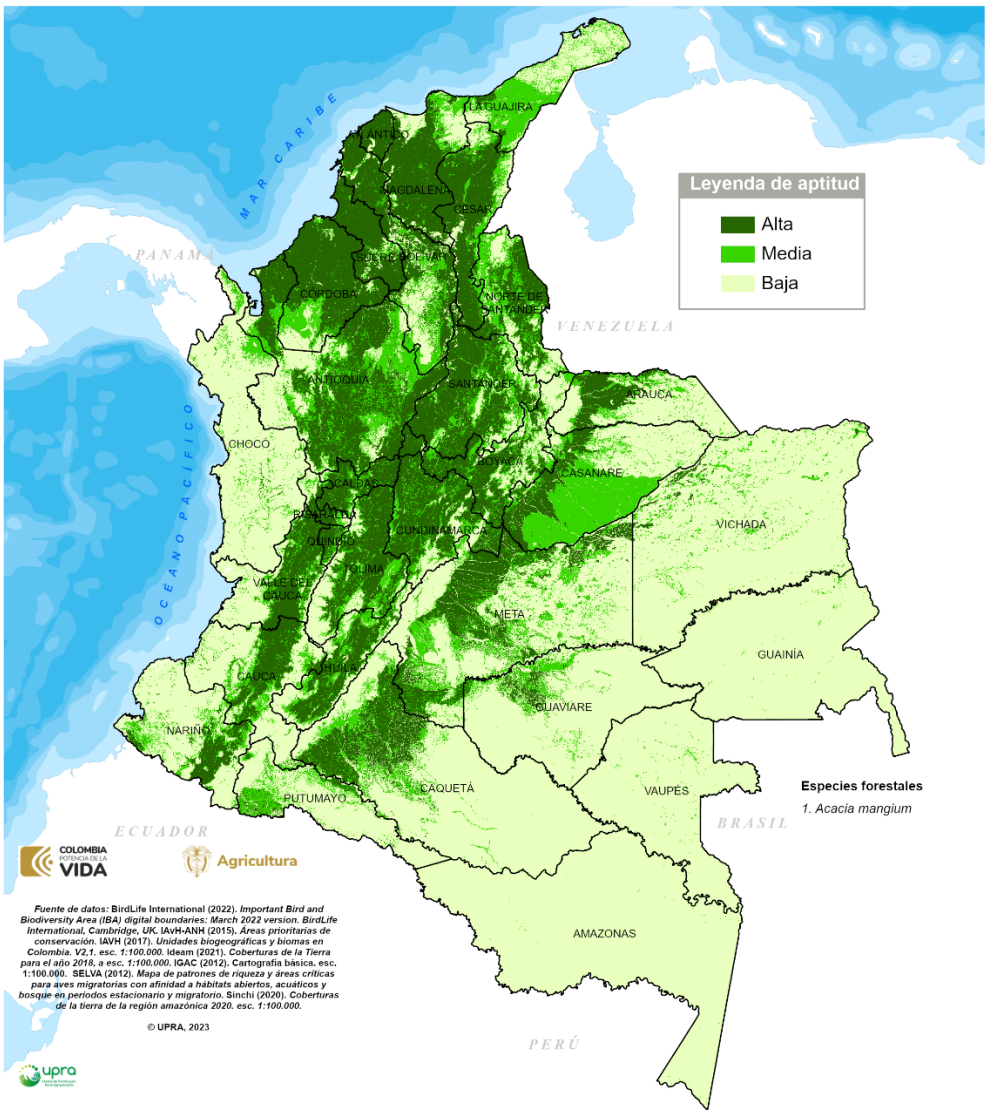
CRITERIO INTEGRIDAD ECOLÓGICA

Especies exóticas (excepto *Acacia mangium*)



CRITERIO INTEGRIDAD ECOLÓGICA

Acacia mangium



CRITERIO INTEGRIDAD ECOLÓGICA

Fuentes de información

Ciontescu, N. (2012). Instructivo metodológico para la evaluación de atributos ecológicos e integridad ecológica en áreas protegidas ArcGIS-Fragstats. Bogotá, Colombia: Grupo de Planeación y Manejo, Subdirección de Gestión y Manejo, Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNN).

Franco, A.M., Devenish, C., Barrero, M.C. y Romero, M.H. (2009). Colombia. En Devenish, C., Díaz, D.F., Clay, R. P., Davidson, I., & Yépez, I. (eds.). *Important bird areas Americas: priority sites for biodiversity conservation* (pp. 135-148). Birdlife International. Recuperado de https://n9.cl/tou2e

García-Márquez, J. R., Moreno, M.I. y Sacharow, O. (2012). *Modelamiento de áreas críticas para especies migratorias con relación a los agroecosistemas de Colombia: informe final del Convenio 044 de 2012*. SELVA: Investigación para la Conservación en el Neotrópico y Unidad de Planificación de Tierras Rurales, Adecuación de Tierras y Usos Agropecuarios (UPRA).

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Agencia Nacional de Hidrocarburos (2010a). *Áreas prioritarias para la conservación, escala 1:250.000*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Agencia Nacional de Hidrocarburos (2010b). *Áreas imoprtantes para la conservación de aves, escala 1:100.000*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2010). *Leyenda nacional de coberturas de la tierra: metodología CORINE Land Cover, adaptada para Colombia, escala 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). https://n9.cl/23v8d

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2011). *Estudio nacional del agua: capa de subzonas hidrográficas, escala 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2021). *Mapa nacional de cobertura de la tierra, imágenes 2017-2018, escala 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Mackey, B. (2005). La integridad ecológica: un compromiso hacia la vida en la Tierra. En Corcoran, P.B., Vilela, M. y Roerink, A. (Eds.) *La carta de la tierra en acción: hacia un mundo sostenible* (pp. 67-71). KIT Publishers BV.

2.1.1. Variable *fragmentación y conectividad estructural de las coberturas naturales (FCECN)*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioecosistémico		
Criterio asociado: *integridad ecológica*		
Variable: *fragmentación y conectividad estructural de las coberturas naturales (FCECN)*	Unidad de medida: categoría cualitativa de fragmentación y conectividad estructural	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Heterogeneidad espacial del paisaje para determinar la existencia de barreras en el territorio que limiten o impriman mayor costo para el flujo de la biodiversidad y los bienes y servicios ecosistémicos. Por lo tanto, contribuye a estimar la sostenibilidad ambiental mediante la favorabilidad del hábitat para el desplazamiento de la biodiversidad y el mantenimiento tanto de poblaciones animales vegetales como de flujos viables.

En todo paisaje cultural, los relictos de vegetación natural desempeñan un papel fundamental en la movilidad de la biodiversidad y la continuidad eden prestación de los servicios ecosistémicos, que son la base ambiental para sustentar los procesos productivos. La variable parte del análisis no sólo de la distancia entre fragmentos naturales funcionales y las rutas con menor costo (resistencia/contraste) para el desplazamiento de la biodiversidad a través del paisaje, sino también del grado de estructuración y mantenimiento de cada fragmento natural.

De esta forma, para la aplicación de la variable en el presente estudio, en las áreas de transición entre la matriz de parches transformados y los parches o fragmentos naturales mejor consolidados, la matriz de mayor conectividad de las coberturas naturales permiten evaluar la aptitud para establecer plantaciones forestales comerciales. De este modo, la aptitud es mayor cuando los resultados de las métricas de fragmentación nos arrojan mejor estabilidad estructural de los parches y mayores conectividades, lo cual ofrece una barrera natural al interior de la matriz de áreas transformadas, característica que puede generar opciones para incrementar la continuidad de los procesos naturales.

Importancia de la variable

Contribuye a estimar la sostenibilidad ambiental al favorecer el hábitat para el desplazamiento de la biodiversidad, el mantenimiento de poblaciones tanto animales como vegetales, los flujos viables y la información necesaria para el funcionamiento natural. Es de ésta que dependen en gran medida los servicios ecosistémicos que sostienen los procesos vitales del sistema y el abastecimiento de procesos productivos.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

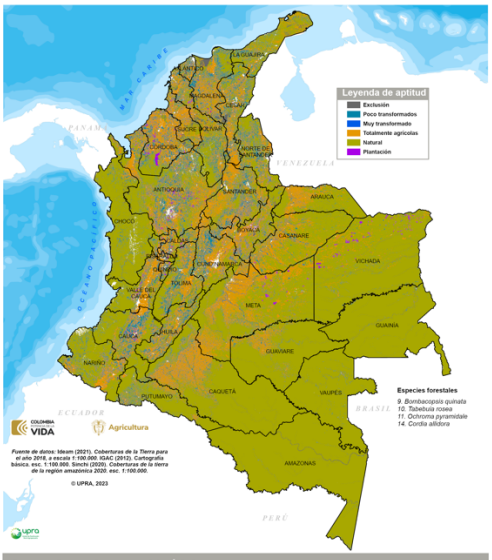
Esta variable no generó exclusión técnica (N1). Se identificó un rango de variación que osciló entre 0 (sin conectividad) y 1 (altamente conectado). Se estableció un rango de variación al emplear los intervalos geométricos como método de agrupamiento del programa ArcGIS.

Limitantes de la evaluación de la variable

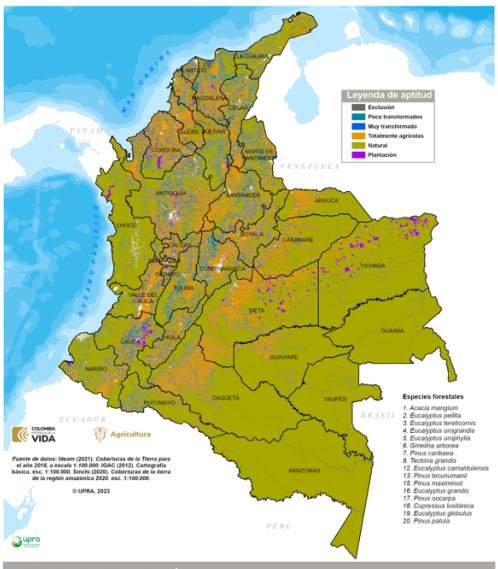
Al basarse en la capa base oficial de coberturas de la tierra (2018) a escala 1:100000, la información puede presentar cierto nivel de discrepancia con la realidad en función de los errores asociados a la escala cartográfica.

Metodología de procesamiento de la información

Para procesar esta variable, se partió de la reclasificación de las categorías de cobertura Corine Land Cover del mapa de coberturas de la tierra generado por el Ideam (2021). Esta reclasificación se hizo necesaria para poder obtener precisión sobre el grado de artificialización de las coberturas y reconocer el impacto positivo o negativo que puedieran tener las plantaciones forestales comerciales sobre los ecosistemas naturales o artificiales. De esta manera, se reclasificaron las coberturas para obtener los grupos así: *ecosistemas naturales*; *poco transformados*; *totalmente agrícolas*; *muy transformados*; y *plantaciones más plantación especie*. A partir de esta reclasificación, se obtuvo la siguiente cartografía, asociada a los grupos de plantaciones de especies nativas y exóticas:



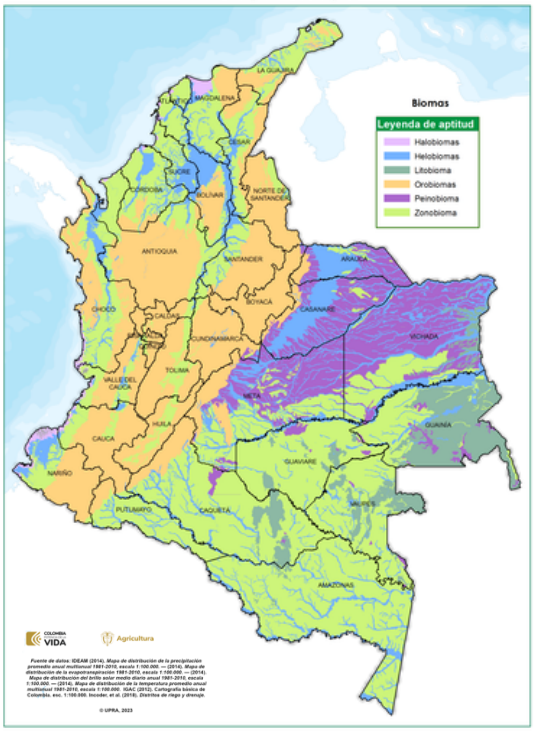
CRITERIO INTEGRIDAD ECOLÓGICA
Subvariable reclasificación de coberturas



CRITERIO INTEGRIDAD ECOLÓGICA
Subvariable reclasificación de coberturas

Dr igual forma, se realizó una segmentación para cada grupo en relación con los biomas con el fin de evitar la alteración de las métricas de fragmentación.

Criterio integridad ecológica



Sobre cada segmento se calcularon las métricas del paisaje con la ayuda del programa Patch Analyst y ArcGIS. De las métricas evaluadas surgieron dos grupos: índices descriptores de la geometría espacial de los parches —tamaño medio de parches y número de parches— y métricas de forma o índices de forma —dimensión fractal y complejidad de forma—.

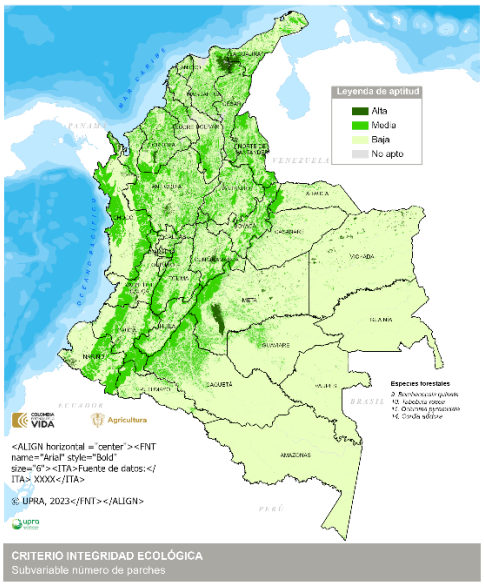
Los índices descriptores generaron una información relevante sobre el tamaño y la cantidad de parches, considerando como parche cada uno de los polígonos de cada cobertura reclasificadas. De esta manera, con este cálculo se puede deducir que cuando una categoría determinada de cobertura posee pocos parches y parches de una extensión importante, este tipo de cobertura presenta menos fragmentación, y viceversa.

Con la medición de los índices de forma basados en geometría de fractales, es decir, la dimensión fractal y la complejidad de forma, se puede establecer el grado de mantenimiento y consolidación geométrica de los parches frente a la probabilidad de ruptura o su fragmentación. La dimensión fractal, a partir de una relación área/perímetro, indica qué tan probable es que un determinado parche pueda fraccionarse, cuyos valores cercanos a 1 son los de mayor estabilidad geométrica (formas circulares o cuadradas), pero los valores que más se alejen de 1 son parches de menor estabilidad geométrica, los cuales presentan cada vez más formas ameboides, formas que muestran gran probabilidad de partición o fragmentación.

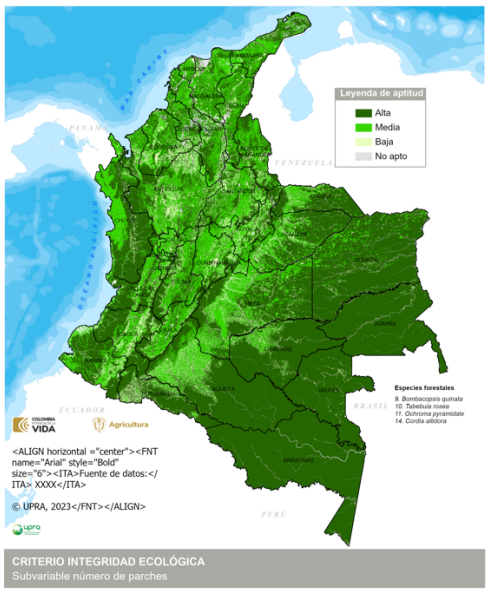
La complejidad de forma muestra similares resultados a la dimensión fractal, pero se diferencia en que éste genera una relación entre la forma de cada parche frente al total de la clase (suma de todos los polígonos) de cada cobertura reclasificada. A continuación, se presentan los mapas de cada uno de los índices calculados:

Especies nativas

Índices descriptores

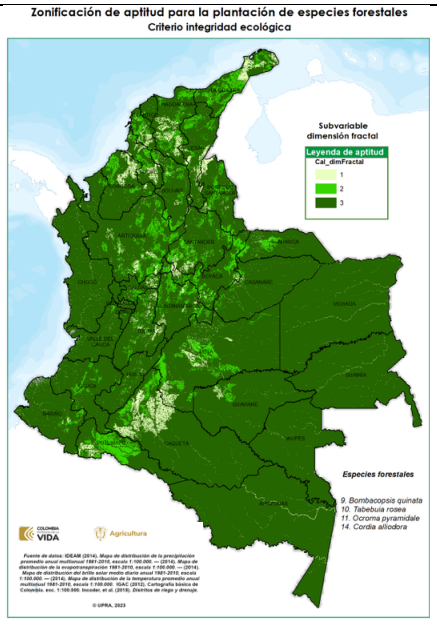


Número de parches

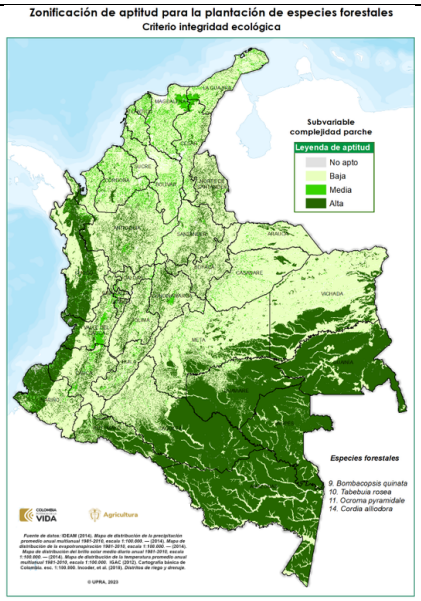


Tamaño medio del parche

Índices de forma



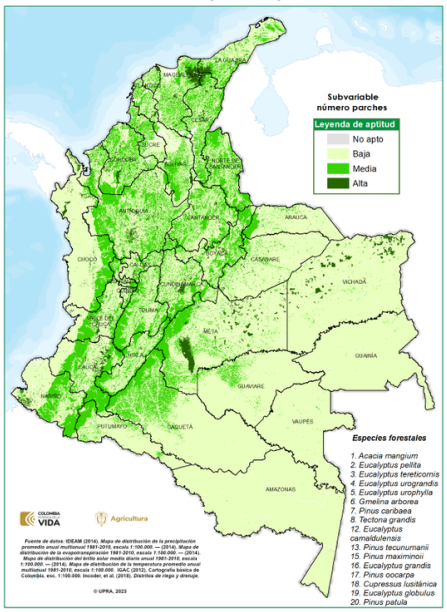
Dimensión fractal



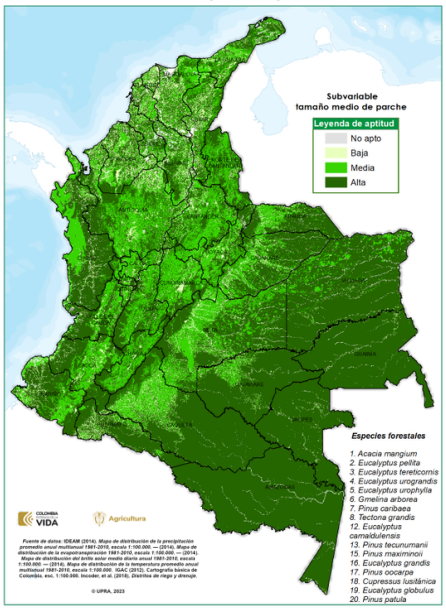
Complejidad de forma

Especies exóticas

Índices descriptores

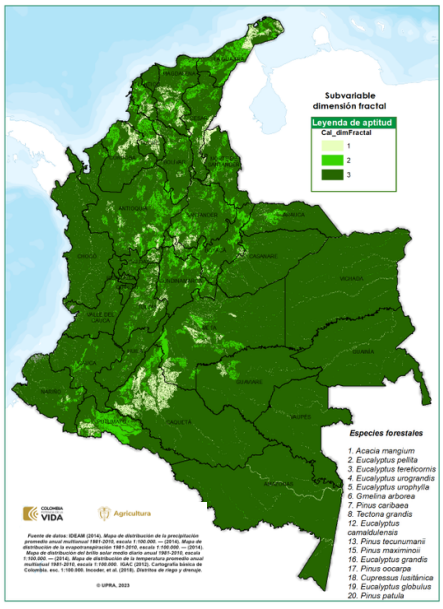


Número de parches

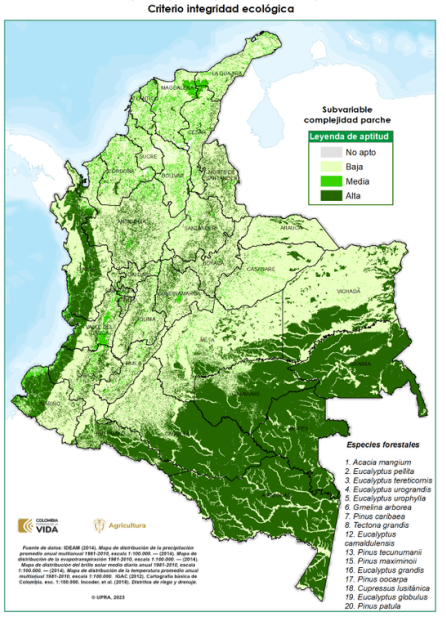


Tamaño medio del parche

Índices de forma



Dimensión fractal



Complejidad de forma

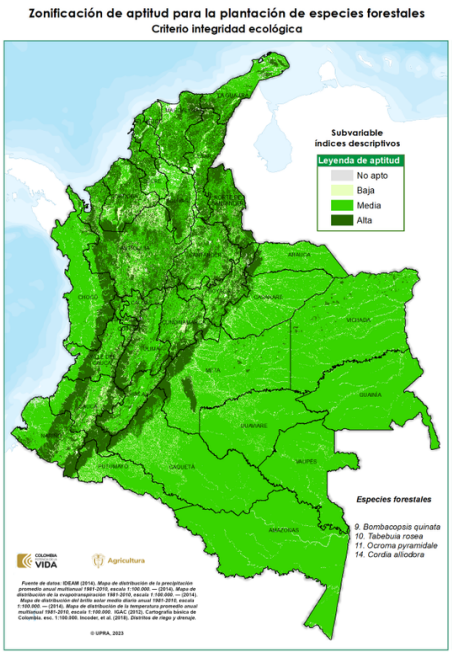
Tanto los índices descriptores como los de forma se fusionaron en un sólo mapa para obtener un mapa de índices descriptores y un mapa de índices de forma, respectivamente, con la aplicación de árboles de decisión, como se observa en la siguiente tabla:

Índices descriptores

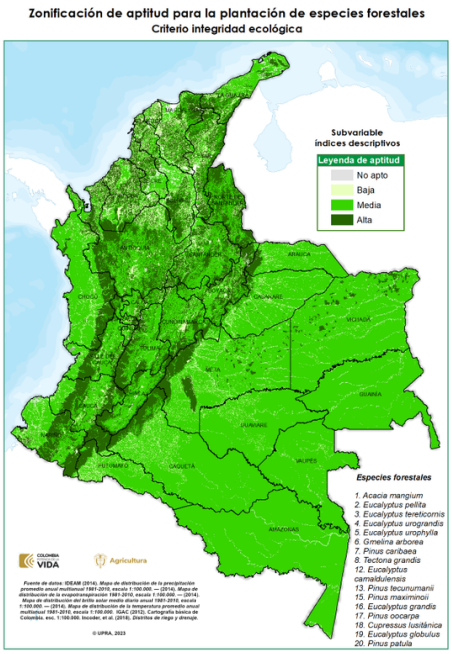
Tamaño medio	Número de parches	Indice descriptores
A1	A1	A1
A1	A2	A1
A1	A3	A2
A2	A1	A1
A2	A2	A2
A2	A3	A2
A3	A1	A3
A3	A2	A3
A3	A3	A3

A partir de la aplicación del árbol de decisión, se obtuvieron los siguientes mapas para este grupo de índices:

Especies nativas



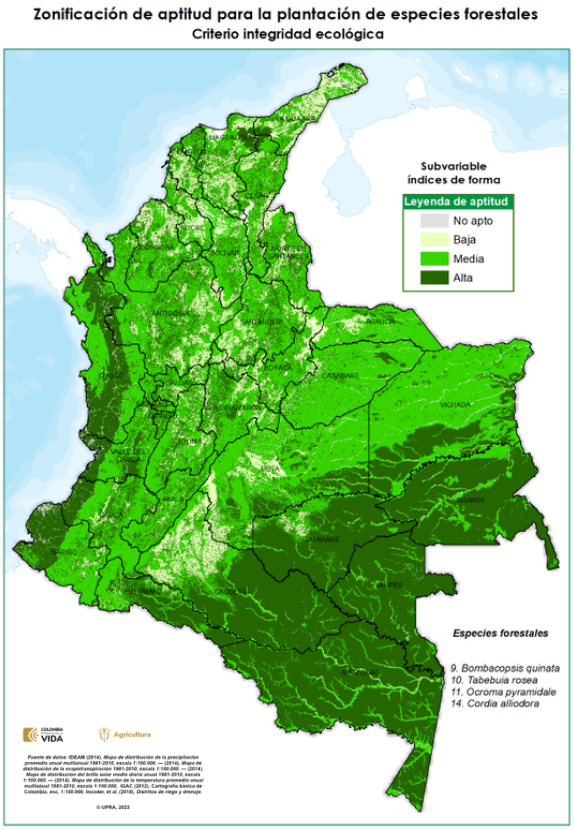
Especies exóticas



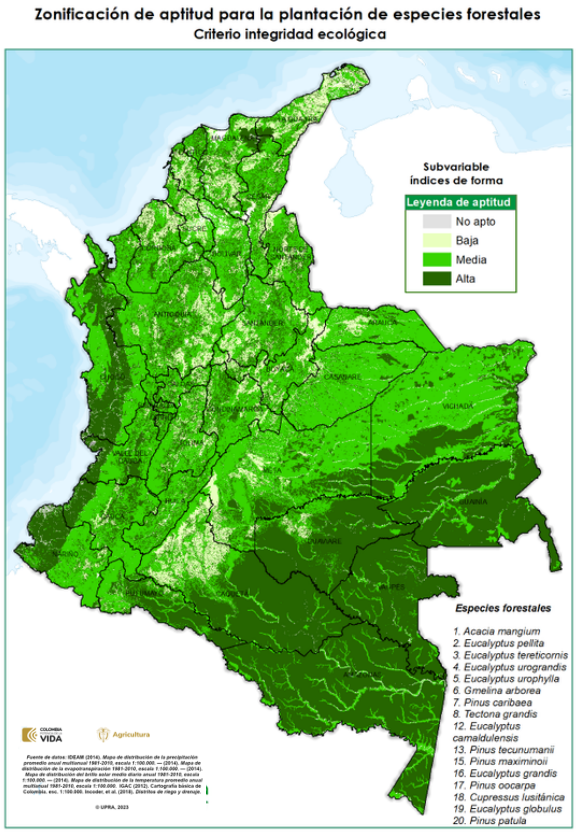
Dimensión fractal	Complejidad de formas	Índice de formas
A1	A1	A1
A1	A2	A1
A1	A3	A2
A2	A1	A1
A2	A2	A2
A2	A3	A3
A3	A1	A2
A3	A2	A3
A3	A3	A3

A partir de la aplicación del árbol de decisión, se obtuvieron los siguientes mapas para el grupo de índices de forma:

Especies nativas



Especies exóticas

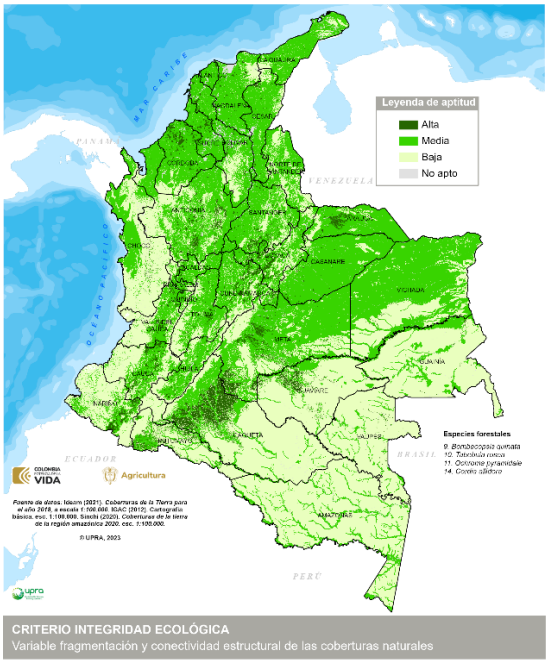


A partir tanto de los mapas de índices de forma y descriptivos, como de la aplicación de un árbol de decisión, se obtuvieron los mapas de la subvariable fragmentación, como se puede observar a continuación:

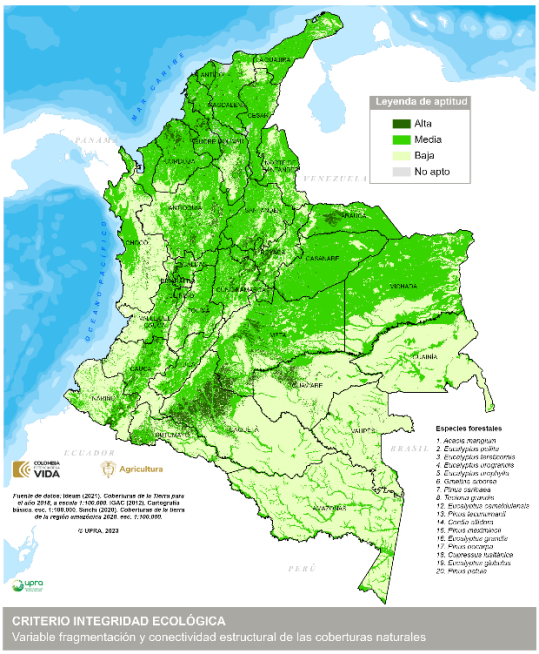
Índice de descriptores	Índice de formas	Fragmentación	Aptitud de fragmentación
A1	A1	A1	A3
A1	A2	A1	A3
A1	A3	A2	A2
A2	A1	A1	A3
A2	A2	A2	A2
A2	A3	A3	A1
A3	A1	A2	A2
A3	A2	A3	A1
A3	A3	A3	A1

Mapas de la subvariable de fragmentación

Especies nativas

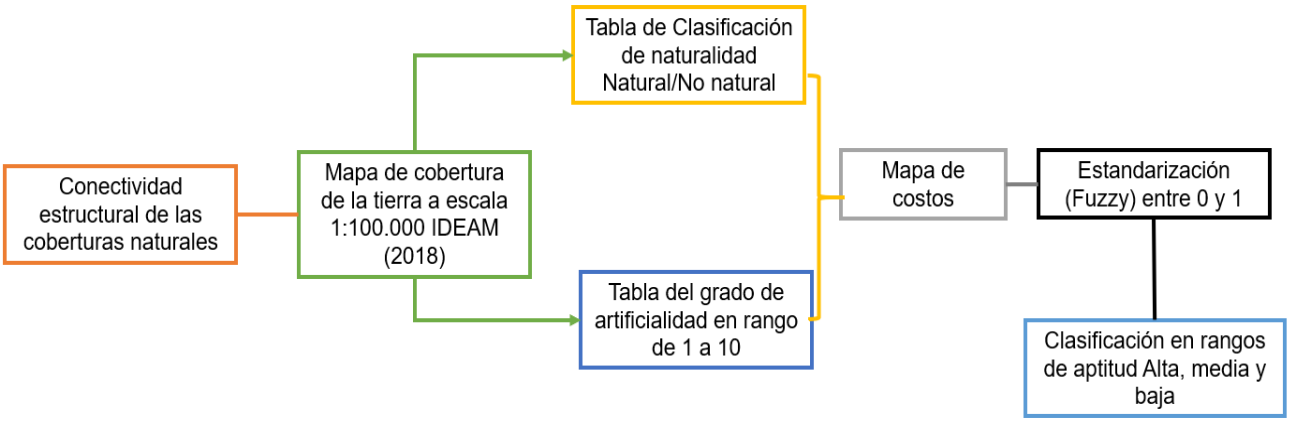


Especies exóticas



La otra subvariable estudiada para la conformación de la variable *fragmentación y conectividad estructural de las coberturas naturales (FCECN)*, del criterio de *integridad ecológica*, corresponde a *conectividad estructural de las coberturas naturales (CECN)*. Esta variable permite obetner una aproximación rápida a escala del paisaje sobre la continuidad de los hábitats como factor necesario para el desplazamiento de la biodiversidad natural y el desarrollo de las funciones ecosistémicas. Para este análisis, se partió del mapa de coberturas de la tierra adaptado para Colombia (Ideam, 2010). Así mismo, se identificaron las coberturas no naturales y el grado de artificialidad, a partir del cual se definieron los pesos de resistencia de paso para determinar el costo de desplazamiento de las especies haciendo uso de la herramienta *costes* del programa ArcGIS.

Esquema metodológico de la variable *conectividad estructural de las coberturas naturales (CECN)*



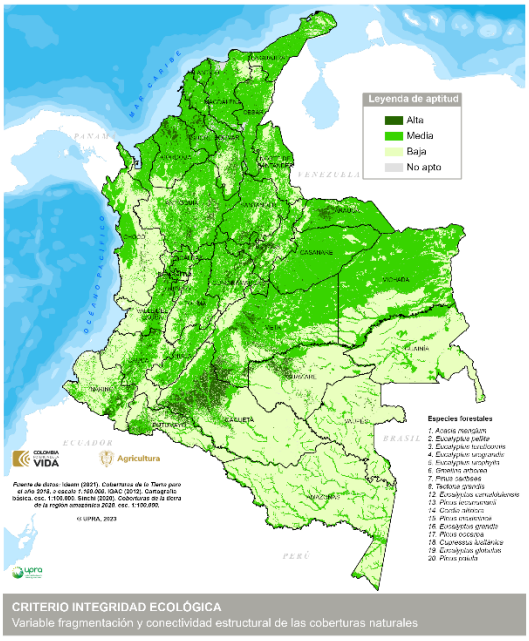
Para establecer las calificaciones de artificialidad en la tabla, se consideraron las áreas que representan un alto costo para la conectividad de las estructuras de las coberturas naturales como territorios artificializados, cuya calificación fue de 10. La resistencia de las coberturas se calificó conforme a un modelo de resistencia, que, de acuerdo con Correa (2009), describe los parámetros que confieren mayor o menor movilidad a las especies o los servicios ecosistémicos con la matriz del paisaje. Así, para las áreas con la misma cobertura existente o con un área de bosques o coberturas naturales en la que el costo fuera menor, la calificación fue de 1.

En las áreas con actividades agropecuarias, la calificación se realizó respecto al impacto que puede tener el desarrollo de las actividades en los procesos de conectividad, cuya calificación puede variar entre 2 y 9. Se consideraron las áreas húmedas y los cuerpos de agua con un costo moderado para la conectividad, ya que permiten la relación de las especies, como se puede observar en la siguiente tabla:

Calificación de costos para la variable *conectividad estructural de las coberturas naturales (CECN)*

Calificación	
Artificialidad alta	10
Artificialidad media	9
Artificialidad baja	8
Semiartificial alta	7
Semiartificial media	6
Semiartificial baja	5
Sin artificialidad baja	4
Sin artificialidad media	3
Sin artificialidad alta	2
Natural	1

Identificadas las coberturas naturales del territorio con la calificación de artificialidad, se elaboró el mapa de costo de distancia (coste de distancia) con el análisis de sistema de información geográfica (SIG). Así la conectividad media tendrá aptitud alta; la conectividad baja, aptitud media; y al conectividad alta, aptitud baja.



Por último, se integraron las subvariables *fragmentación* y *conectividad* mediante el siguiente árbol de decisión:

Aptitud de fragmentación	Aptitud de conectividad	Aptitud de la variable
A1	A1	A1
A1	A2	A1
A1	A3	A2
A2	A1	A1
A2	A2	A2
A2	A3	A2
A3	A1	A2
A3	A2	A2
A3	A3	A3

Rangos para la asignación de valores de aptitud

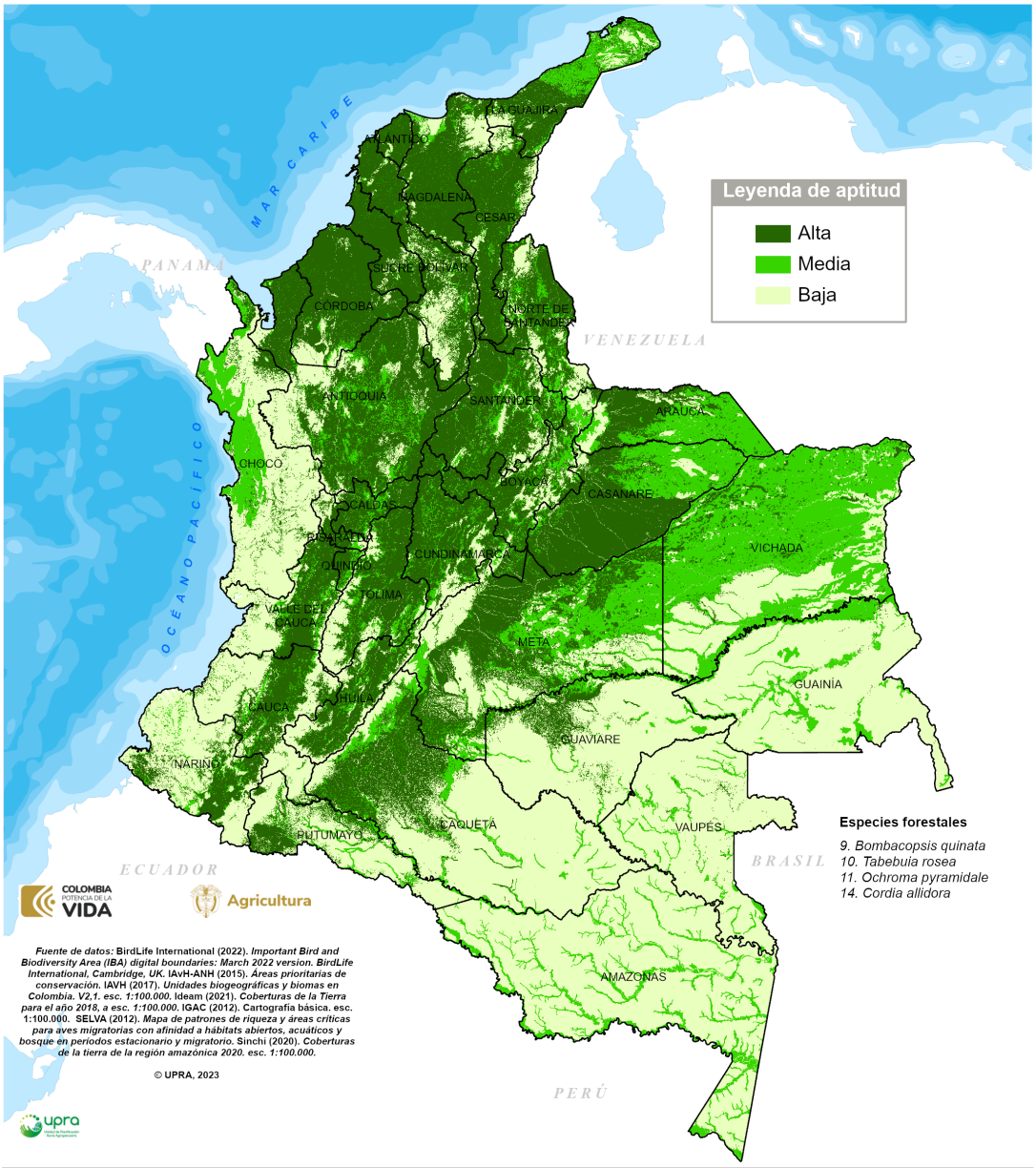
Calificación de la variable *conectividad estructural de las coberturas naturales (CECN)*

Categorías de aptitud	Descripción
Alta (A1)	Conectividad baja: >17.500 Menor número de parches; mayor tamaño medio de los parches; dimensión fractal media del parche 1; parches cortos con menor complejidad de forma
Media (A2)	Conectividad media: 0-17.500 Moderado número de parches; moderado tamaño medio de los parches; dimensión fractal media del parche 2; parches medios con moderada complejidad de forma
Baja (A3)	Conectividad alta: 0 Mayor número de parches; menor tamaño medio de los parches; dimensión fractal media del parche 3; parches largos con mayor complejidad de forma
No apto (N1)	—

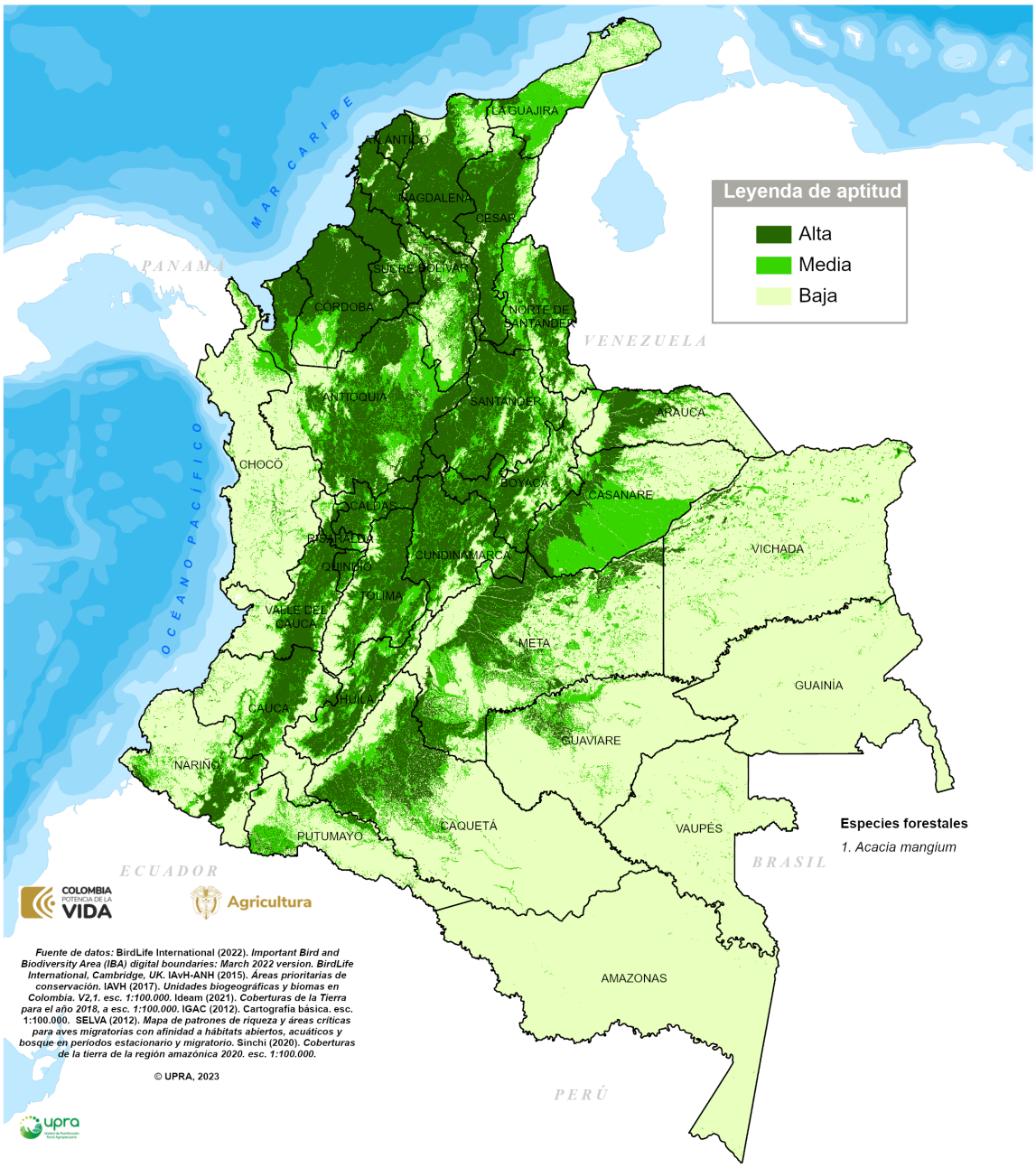
Unidad de análisis

Unidad de cobertura y predios.

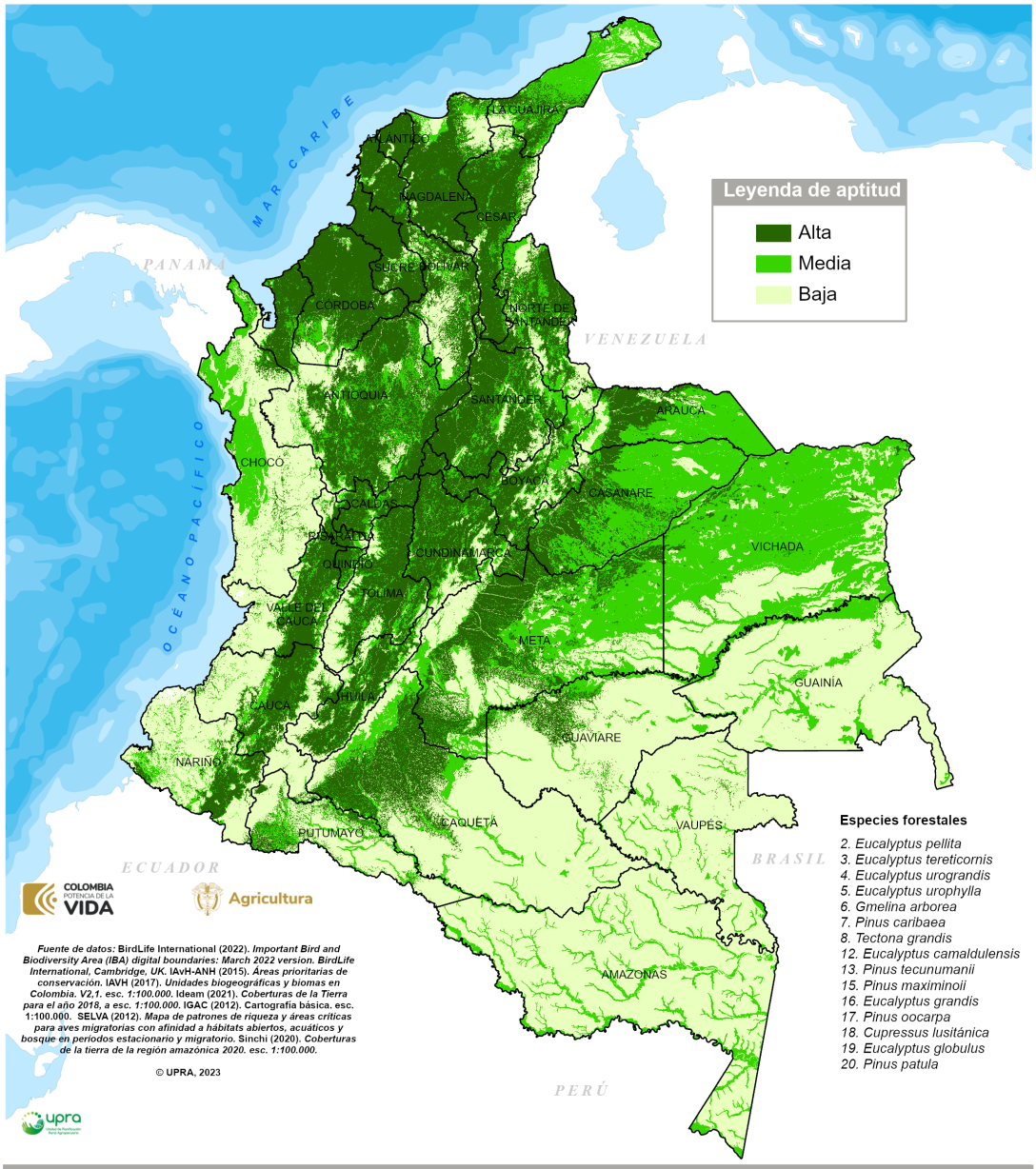
Representación cartográfica de la variable



CRITERIO INTEGRIDAD ECOLÓGICA
Variable fragmentación y conectividad estructural de las coberturas naturales



CRITERIO INTEGRIDAD ECOLÓGICA
Variable fragmentación y conectividad estructural de las coberturas naturales



CRITERIO INTEGRIDAD ECOLÓGICA
Variable fragmentación y conectividad estructural de las coberturas naturales

Fuentes de información

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2010). *Leyenda nacional de coberturas de la tierra: metodología CORINE Land Cover, adaptada para Colombia, escala 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). https://n9.cl/23v8d

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2011). *Estudio nacional del agua: capa de subzonas hidrográficas, escala 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Márquez, G. (2003). Ecosistemas estratégicos. *Boletín de la Sociedad Geográfica de Colombia, 46*(135), 87-103. https://n9.cl/giu80g

2.1.2. Variable *índice de naturalidad (INAT)*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioecosistémico		
Criterio asociado: *integridad ecológica*		
Variable: *índice de naturalidad (INAT)*	Unidad de medida: proporción de área de la unidad biogeográfica (%)	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Proporción de la superficie ocupada en la unidad biogeográfica por las coberturas asociadas a procesos naturales, como coberturas vegetales silvestres, cuerpos de agua, áreas húmedas o superficies de recarga hídrica. Tales procesos garantizan no sólo el funcionamiento natural y sostenible de los procesos vitales del sistema, sino también el abastecimiento a procesos productivos.

La prestación de servicios ecosistémicos y la sostenibilidad ambiental en un área geográfica de análisis se determina por la cantidad de espacios que permiten la prevalencia de los procesos naturales necesarios para sustentar la vida y satisfacer la demanda de recursos en el territorio (Vélez y Gómez, 2008). De esta forma, en cada unidad biogeográfica se calcula la superficie ocupada por las coberturas asociadas a procesos naturales, como coberturas vegetales silvestres, cuerpos de agua, áreas húmedas y superficies de recarga hídrica, en proporción con el tamaño de la unidad biogeográfica.

De acuerdo con lo anterior, cuanta más alta sea la naturalidad, tanta menor la aptitud para establecer plantaciones forestales, pues las labores productivas interrumpen el potencial para el desarrollo de procesos naturales. En las áreas con menor y moderada naturalidad, mayor será la aptitud para establecer estas plantaciones, ya que no interrumpen los procesos naturales, pero potenciaría la prestación de servicios ecosistémicos en comparación con la cobertura existente.

Importancia de la variable

Contribuye con la estimación de la sostenibilidad ambiental de la unidad geográfica de análisis (unidad biogeográfica) mediante la cantidad de espacios disponibles para el funcionamiento natural que sostiene los procesos vitales del sistema y el abastecimiento de procesos productivos.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

Esta variable no generó exclusión técnica (N1). Se identificó un rango de variación porcentual respecto al área de la unidad biogeográfica y se estableció un descriptor de la presencia de áreas naturales.

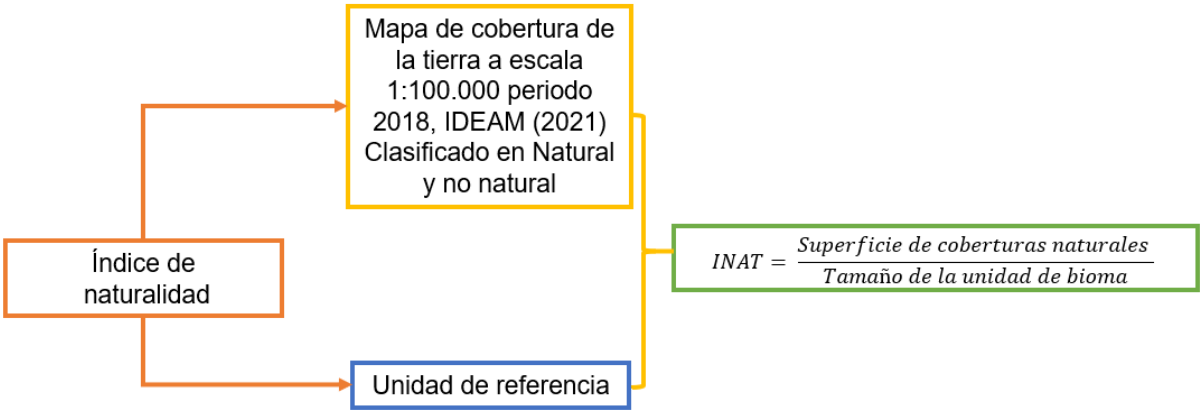
Limitantes de la evaluación de la variable

Al tener como base la capa oficial de coberturas de la tierra 2018 y la leyenda adaptada para Colombia (Ideam, 2010), la información tuvo un nivel de discrepancia con la realidad en función de los cambios que se hayan producido desde el año 2018.

Metodología de procesamiento de la información

Para el presente estudio, se relacionó el área de todos los tipos de coberturas naturales (vegetación y recursos hídricos) según la clasificación de Corine Land Cover, a partir del mapa oficial de coberturas a escala 1:100.000, elaborado por el SINA (Ideam, 2021). Para ello, se realizó el cruce cartográfico de la capa de cobertura de la tierra con el de unidades biogeográficas facilitado por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt (2017). De tal modo, como resultado se dio INAT = superficie de coberturas naturales (ha)/tamaño de unidad biogeográfica (ha).

Esquema metodológico de la variable *índice de naturalidad (INAT)*



Rangos para la asignación de valores de aptitud

De acuerdo con los parámetros de Márquez (2003), se establecieron los siguientes rangos y se reclasificaron en términos del aporte a la aptitud para el establecimiento de plantaciones forestales:

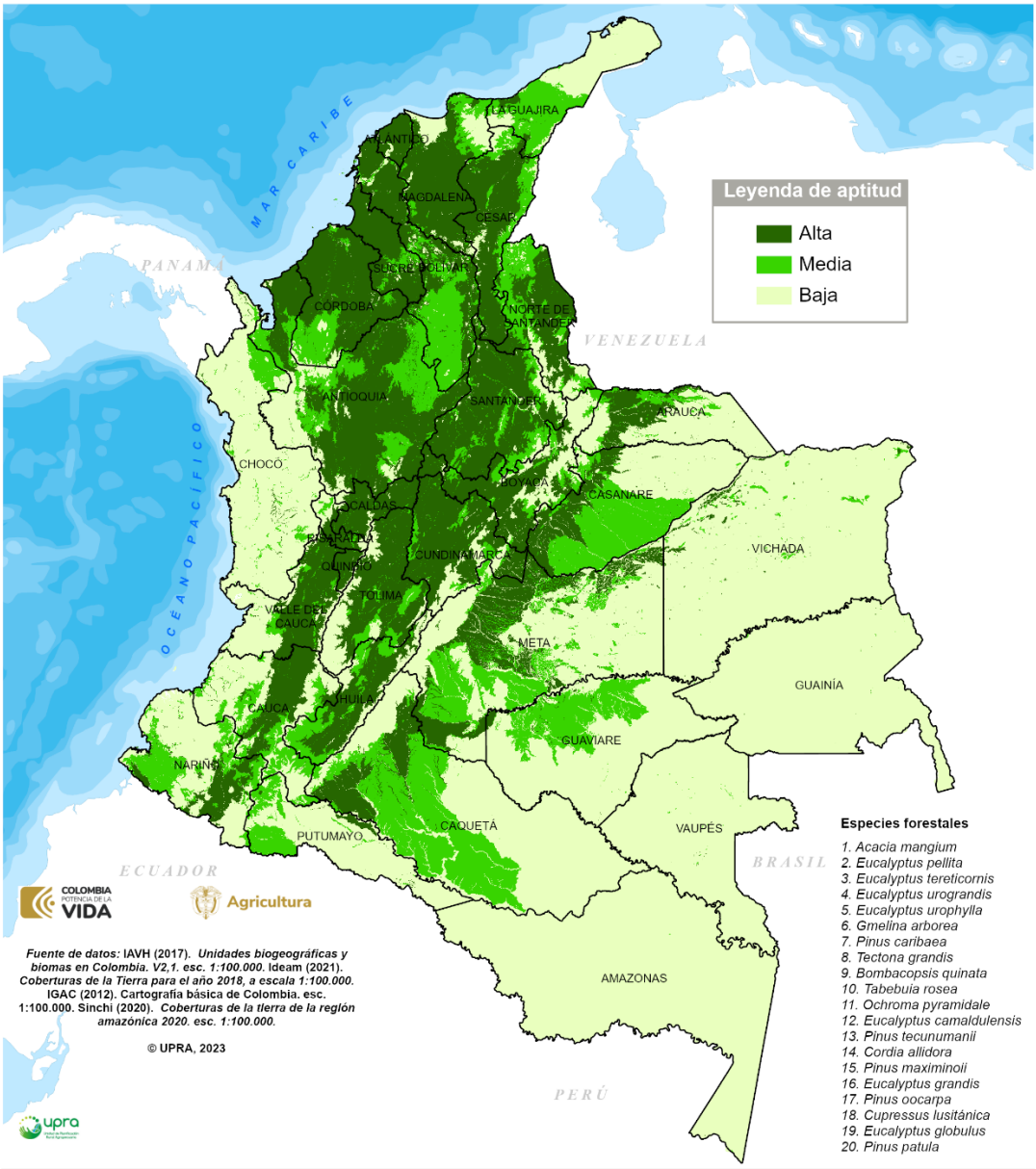
Calificación de la variable *índice de naturalidad (INAT)*

Descripción	Rango Proporción de área de la unidad biogeográfica (%)	Aptitud
INAT muy baja-vital INAT baja-estratégica INAT moderada	Naturalidad muy baja-vital: 0-5 % Naturalidad baja-estratégica: 5-30 % Naturalidad moderada: 30-50 %	Alta (A1)
INAT alta	Naturalidad media-alta: 50-75 %	Media (A2)
INAT muy alta-protección	Naturalidad alta-protección: 75-100 %	Baja (A3)

Unidad de análisis

Porcentaje.

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO INTEGRIDAD ECOLÓGICA
Variable naturalidad

Fuentes de información

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2010). *Leyenda nacional de coberturas de la tierra: metodología CORINE Land Cover, adaptada para Colombia, escala 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). https://n9.cl/23v8d

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2011). *Estudio nacional del agua: capa de subzonas hidrográficas, escala 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Márquez, G. (2003). Ecosistemas estratégicos. *Boletín de la Sociedad Geográfica de Colombia, 46(*135), 87-103. https://n9.cl/giu80g

2.1.3. Variable *áreas de concentración de especies sensibles (ACES)*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioecosistémico		
Criterio asociado: *integridad ecológica*		
Variable: *áreas de concentración de especies sensibles (ACES)*	Unidad de medida: pesos para integrar especies sensibles y riqueza potencial de especies migratorias	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Lugares donde se concentran especies sensibles y se han establecido mediante indicadores, como la densidad, en polígonos definidos como áreas prioritarias para la conservación (APC) o la riqueza de especies migratorias en áreas críticas sobre agroecosistemas. Se integran las áreas de importancia para la conservación de aves silvestres (AICAS), de forma que cuanto mayor sea la concentración de estas especies, dada su sensibilidad, tanto más podría disminuir la aptitud de ciertas plantaciones forestales. En tal sentido, los procesos productivos presionan sobre los procesos que sostienen las poblaciones de interés. Por el contrario, en áreas donde la concentración de estos elementos de la biodiversidad es baja, la aptitud para el establecimiento y desarrollo de las plantaciones es mayor.

La representatividad ecosistémica en el Sistema nacional de áreas protegidas (Sinap) y el potencial para la conservación de la biodiversidad del país son reducidas. Por esta razón, existen en el territorio áreas que, sin presentar figuras de protección, cuentan con altos valores para la conservación (AVC) por los niveles de concentración de biodiversidad, en especial, de especies amenazadas, de distribuciones reducidas o dependientes de la calidad del hábitat en las rutas de migración. Estas áreas se consideran de importancia debido a que constituyen sitios de refugio para elementos de la biodiversidad sensible, los cuales prestan servicios ecosistémicos, como la dispersión de semillas y el control de plagas. Además, aportan al funcionamiento natural de los ecosistemas nacionales y transfronterizos con la integración de cadenas alimenticias y ciclos biogeoquímicos.

De esta forma, cuanta mayor sea la concentración de estas especies, dada su sensibilidad, tanta menor es la aptitud para establecer plantaciones forestales, puesto que los procesos productivos presionan sobre los que sostienen las poblaciones de interés. Por el contrario, en las áreas donde la concentración de estos elementos de la biodiversidad es baja, la aptitud para el establecimiento de las plantaciones forestales es mayor.

Importancia de la variable

Permite identificar áreas donde el establecimiento de plantaciones forestales puede generar un riesgo potencial de afectación a la biodiversidad sensible en áreas no protegidas.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

La concentración de especies sensibles es una variable que no generó exclusiones. Pero el enfoque radicó en la continuidad que debe prevalecer en el territorio cuanto a la favorabilidad del hábitat para el flujo de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos asociados, como la dispersión genética, la polinización, la regulación de cadenas tróficas o el control biológico de plagas. De esta forma, cuanta mayor sea la concentración de especies sensibles, menor será la aptitud para el establecimiento de plantaciones forestales, puesto que pueden generar presiones recíprocas a los ciclos naturales de las especies.

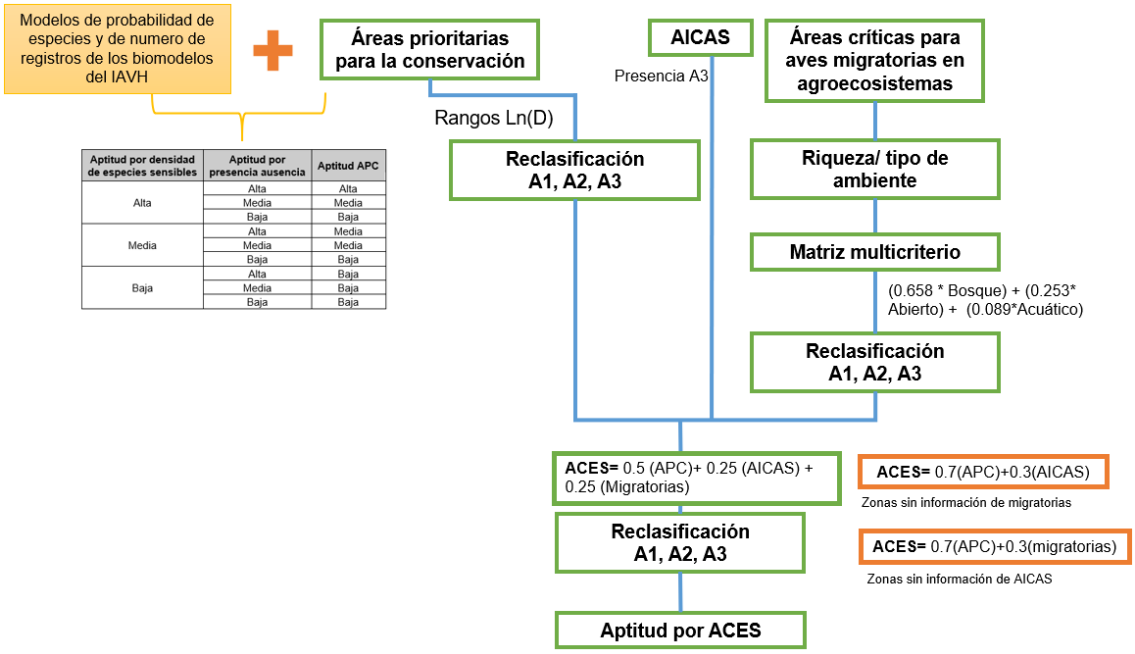
Limitantes de la evaluación de la variable

No existen estudios a nivel nacional que determinen la distribución y concentración de especies sensibles, por lo que el cubrimiento no es homogéneo. Esto supone integrar varios estudios realizados con metodologías y finalidades para complementar el panorama nacional. Partiendo del supuesto de que en el país hay biodiversidad con valor de conservación, se destacan algunos lugares del territorio debido a la concentración de esta biodiversidad. Por lo tanto, la variable supone una menor concentración en las áreas no mencionadas, pero puede corresponder a estudios no elaborados, así que ha de complementarse a medida que se incorpore nueva información.

Metodología de procesamiento de la información

Esta variable se construyó a partir de los siguientes insumos: los mapas de polígonos y las bases de datos asociadas de áreas prioritarias de conservación; los datos de presencia/ausencia de especies de los modelos de probabilidad de especies y de número de registros de los biomodelos del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt (IAvH); el libro rojo de especies amenazadas en Colombia; las listas de áreas de importancia para la conservación de aves silvestres (AICAS); y la riqueza potencial para las aves migratorias en los agroecosistemas.

De acuerdo con lo anterior, se empleó la información sobre la biodiversidad asociada a las áreas prioritarias para la conservación (APC), las áreas de importancia para la conservación de aves silvestres AICAS y los agroecosistemas (IAvH y ANH, 2013; IAvH, 2022; SELVA, 2012). El esquema metodológico para la construcción y evaluación de la variable se registra en la siguiente figura:



Aptitud por densidad de especies sensibles	Aptitud por presencia ausencia	Aptitud APC
Alta	Alta	Alta
	Media	Media
	Baja	Baja
Media	Alta	Media
	Media	Media
	Baja	Baja
Baja	Alta	Baja
	Media	Baja
	Baja	Baja

Áreas prioritarias de conservación (APC). En el presente estudio, esta subvariable se midió mediante la densidad de especies sensibles por kilómetro cuadrado en áreas prioritarias de conservación (APC) no declaradas en el Sinap, para lo cual se tomó como base la información generada por el Instituto Alexander von Humboldt y la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) en 2013 en el portafolio de áreas prioritarias de conservación (APC) a escala 1:100.000. Adicionalmente, se incluyó la capa geográfica de las unidades biogeográficas y biomas en Colombia —que han sido utilizadas para los CONPES nacionales ambientales— con datos para las 355 áreas sobre bioma y superficie en hectáreas; los datos de presencia/ausencia de especies de los modelos de probabilidad de especies y del número de registros de los biomodelos del IAVH; y el listado de especies de mamíferos, peces, aves y plantas endémicas o amenazadas.

Para incorporar esta información, se tomaron los objetos de conservación de filtro fino y de filtro grueso del portafolio de áreas prioritarias de conservación (APC), los cuales representan unidades de análisis para la conservación de elementos de la biodiversidad a nivel de especies, o ecosistemas. De tal modo, cuanto mayor sea el número (riqueza) de especies sensibles o endémicas con relación al tamaño del área que las contiene —sitios de mayor concentración o densidad de especies—, tanto menor será la compatibilidad del territorio con el establecimiento de plantaciones forestales.

Para este análisis, se asignó a cada polígono de APC el valor de la densidad de la riqueza, para lo cual se consideró la riqueza por hectárea y se calculó la riqueza mediante la suma de los valores reportados de mamíferos, aves, peces, reptiles, anfibios y plantas. La definición de los rangos de aptitud se determina mediante intervalos geométricos, como se muestra en al siguiente tabla.

Descripción	Aptitud por densidad de especies sensibles
Áreas sin identificación de APC: ln(*D*) < a –10,02	Alta (A1)
APC con densidad muy baja de especies sensibles: ln(*D*) = de –10,02 a –5,72 APC con densidad baja de especies sensibles: ln(*D*) = de –5,71 a –2,77	Media (A2)
APC con densidad moderada de especies sensibles: ln(*D*) = de –2,76 a –1,42 APC con densidad alta de especies sensibles: ln(*D*) = de –1,42 a –0,06 APC con densidad muy alta de especies sensibles ln(*D*) = de –0,05 a 6,42	Baja (A3)
—	No apto (N1)

Posteriormente, se utilizó la capa de las unidades biogeográficas y biomas en Colombia; los datos de presencia/ausencia de especies de los modelos de probabilidad de especies y de número de registros de los biomodelos del IAvH; y el listado de especies de mamíferos, peces, aves y plantas endémicas o amenazadas para construir el parámetro denominado *especies prioritarias*, en el que se deben incluir todos los biomodelos. Se contabilizaron por medio de los datos de presencia/ausencia de especies de los modelos de probabilidad de especies y de número de registros de los biomodelos del IAvH para asignar 1 para las especies presentes y 0 para las ausentes.

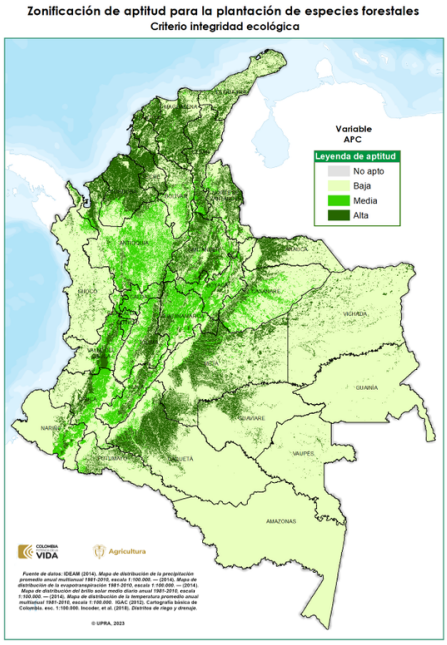
Se asignó a cada unidad biogeográfica el valor de las especies amenazadas o endémicas que le correspondiera. Luego, se unieron las dos tablas en el campo *unidad biogeográfica* en el programa ArcGIS 10.4 y se obtuvo una tabla que indicó la cantidad de especies amenazadas o endémicas para cada unidad para, al final, realizar una clasificación de los valores obtenidos. Acto seguido, se reclasificaron los parámetros evaluados de acuerdo con el siguiente árbol de decisión, en el cual se adoptó el nivel de mayor restricción para ser consecuente con el principio de precaución, como se muestra a continuación:

Aptitud por densidad de especies sensibles	Aptitud por presencia/ausencia	Aptitud APC
Alta	Alta	Alta
	Media	Media
	Baja	Baja
Media	Alta	Media
	Media	Media

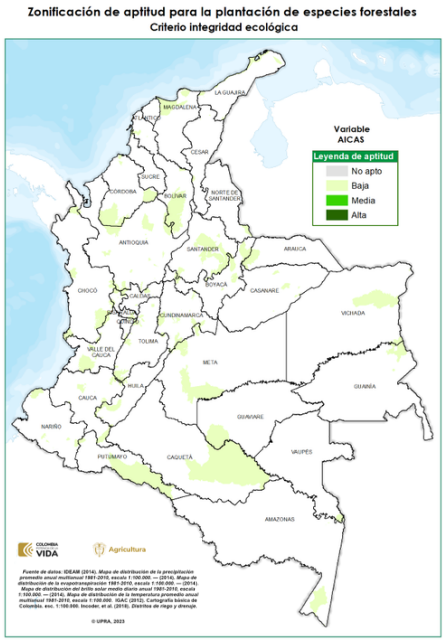
	Baja	Baja
Baja	Alta	Baja
	Media	Baja
	Baja	Baja

Una vez obtenido este mapa, se llevó a cabo una comparación con las áreas naturales. Las áreas que contenían áreas naturales, se calificaron con *aptitud baja* (A3), es decir las áreas naturales se mantuvieron con aptitud baja y los APC se clasificaron con aptitud media (A2) y aptitud alta (A1) en las zonas donde no existen coberturas naturales, como se registra en la siguiente tabla:

Descripción	Aptitud
Baja presencia de APC y especies sensibles	Alta (A1)
Alta presencia de APC y especies sensibles	Media (A2)
Áreas asociadas a coberturas naturales, en las cuales se asume una muy alta densidad de especies	Baja (A3)

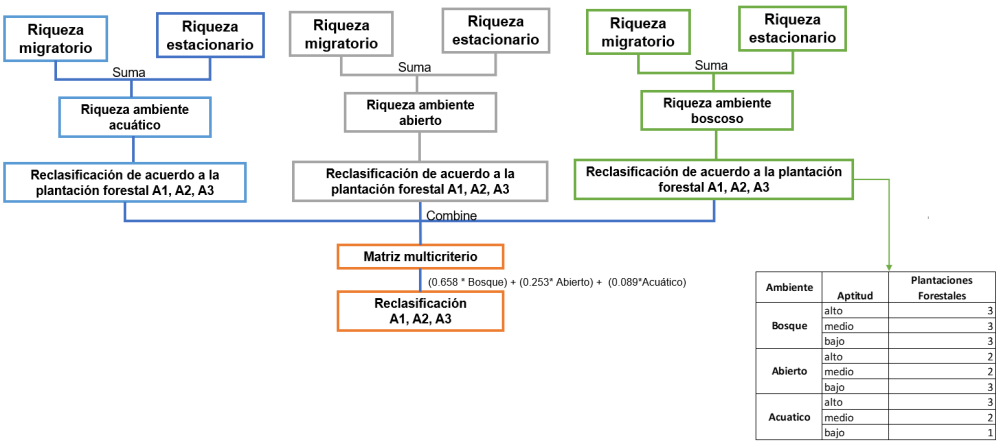


Áreas de importancia para la conservación de aves silvestres (AICAS). Para el desarrollo y análisis de las AICAS, se tomó la información suministrada por el IAvH en formato *shape* y documental. Se ajustó la riqueza de la capa AICAS (IAvH, 2022) de acuerdo con la información publicada en la página *web* de BirdLife International, tomando las categorías de especies vulnerables y amenazadas de cada AICAS. Teniendo en cuenta la importancia de cada AICAS, se calificó con *aptitud baja* (A3) la totalidad de los polígonos.



Áreas críticas para aves migratorias en paisajes agropecuarios. A partir de la información producida por SELVA (2012), se emplearon las capas relacionadas con la riqueza de especies de periodo estacionario y migratorio asociadas a los ambientes acuáticos, abiertos y de bosque. Para los hábitats de bosque y acuáticos, se llevó a cabo un esquema por Fuzzy, según el cual 1 es la menor presencia y 3, la mayor. Posteriormente, los tres hábitats se reclasificaron y se combinaron.

La reclasificación se realizó de acuerdo con la implementación de plantaciones forestales y su afectación en la aptitud de la riqueza. La siguiente figura ilustra el procedimiento para encontrar la aptitud según la riqueza de especies migratorias asociadas a ambientes acuáticos, abiertos y de bosque en los periodos migratorio y estacionario, para lo que se sumaron las dos capas con el fin de identificar las áreas que representan ambientes críticos a lo largo de todo el ciclo migratorio.



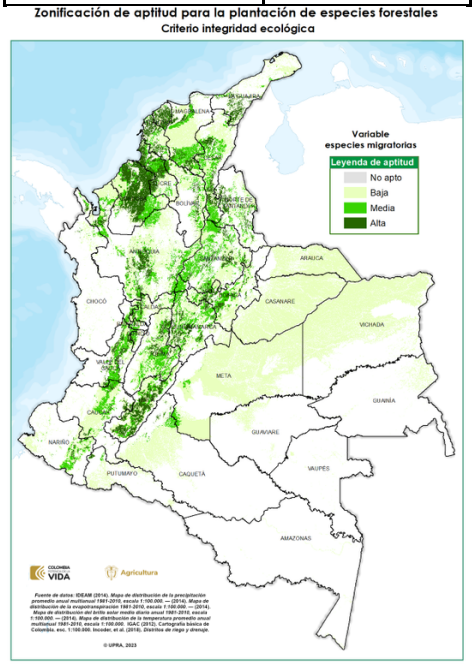
Ambiente	Aptitud	Plantaciones Forestales
Bosque	alto	3
	medio	3
	bajo	3
Abierto	alto	2
	medio	2
	bajo	3
Acuatico	alto	3
	medio	2
	bajo	1

La consolidación de los ambientes se realizó mediante matrices multicriterio, las cuales permitieron determinar el porcentaje de participación de cada uno, según la siguiente ecuación:

Riqueza de especies migratorias = (0,658 * bosque) + (0,253 * abierto) + (0,089 * acuático)

Los valores de la riqueza se reclasificaron al aplicar la herramienta *intervalos geométricos* del programa ArcGIS para asignar categorías de aptitud, como se mustra a continuación:

Rango	Aptitud
>2,9	Alta (A1)
2,66-2,9	Media (A2)
<2,66	Baja (A3)



Para integrar toda la información de concentración de especies sensibles relacionada con biodiversidad y para evitar redundancias, se usaron matrices multicriterio, de lo cual se obtuvieron los siguientes pesos:

$$ACES = 0,5\ (APC) + 0,25\ (AICAS) + 0,25\ (AC\ migratorias)$$

Para las áreas que no presentaron información de especies migratorias, se manejó la siguiente integración:

$$ACES = 0,7\ (APC) + 0,3\ (AICAS)$$

Para las áreas que no presentaron información de AICAS se manejó la siguiente integración:

$$ACES = 0,7\ (APC) + 0,3\ (migratorias)$$

Rangos para la asignación de valores de aptitud

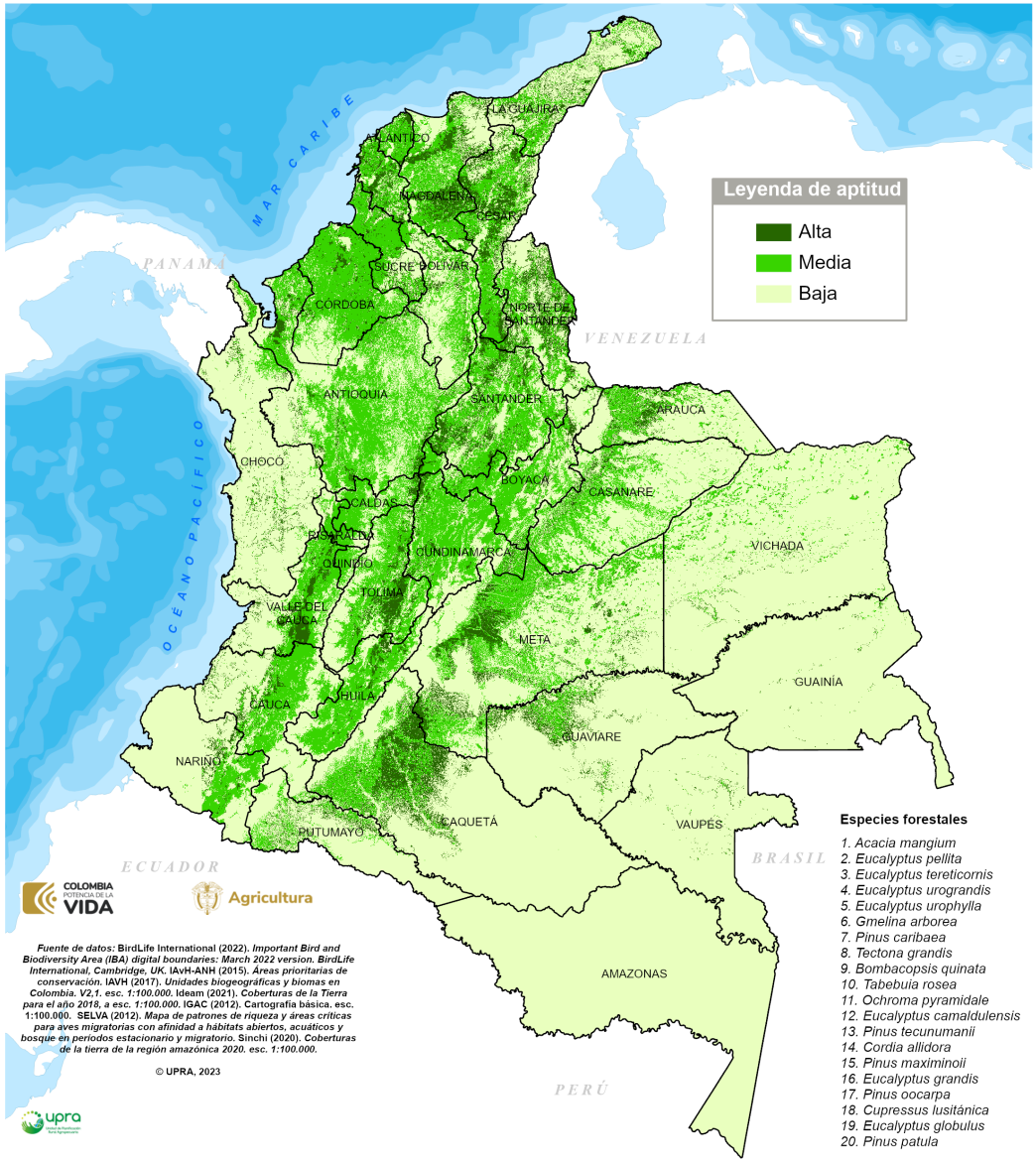
Se establecieron los rangos de aptitud para las ACES que se registran en al siguiente tabla:

Rango	Aptitud
>2,75	Alta (A1)
1,25-2,75	Media (A2)
<1,25	Baja (A3)

Unidad de análisis

Asignación de pesos para integrar especies sensibles en AICAS y APC; riqueza potencial de especies migratoria.

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO INTEGRIDAD ECOLÓGICA
Variable ACES

Fuentes de información

Franco, A.M., Devenish, C., Barrero, M.C. y Romero, M.H. (2009). Colombia. En Devenish, C., Díaz, D.F., Clay, R. P., Davidson, I., & Yépez, I. (eds.). *Important bird areas Americas: priority sites for biodiversity conservation* (pp. 135-148). Birdlife International. Recuperado de https://n9.cl/tou2e

García-Márquez, J. R., Moreno, M.I. y Sacharow, O. (2012). *Modelamiento de áreas críticas para especies migratorias con relación a los agroecosistemas de Colombia: informe final del Convenio 044 de 2012*. SELVA: Investigación para la Conservación en el Neotrópico y Unidad de Planificación de Tierras Rurales, Adecuación de Tierras y Usos Agropecuarios (UPRA).

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Agencia Nacional de Hidrocarburos (2010). *Áreas prioritarias para la conservación, escala 1:250.000*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH) y Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH).

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (2015). *Mapa de áreas importantes para la conservación de las aves (AICAS)*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (2022). *Mapa de áreas importantes para la conservación de las aves (AICAS)*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).

2.2. Criterio *apropiación del agua*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioecosistémico		
Criterio: *apropiación del agua*		
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Variables asociadas al criterio

Diferencia del uso consuntivo, expresada en milímetros por año.

Diferencia del uso del agua, expresada en millones de metros cúbicos.

Definición

Cantidad de agua que es retenida del flujo de la cuenca para satisfacer la demanda de plantaciones forestales, tanto para el crecimiento como para la materia prima del sustento de la plantación. De esta agua captada por el cultivo, una parte queda contenida en la biomasa de la especie; otra retorna a la cuenca como excesos o menores rendimientos de aprovechamiento del agua; y otra se pierde en el balance hídrico de la cuenca, porque queda contenida en el producto que se exporta para el aprovechamiento vía evapotranspiración de las plantaciones.

Del agua captada por la plantación, una parte queda contenida en la biomasa; otra retorna a la cuenca como excesos o menores rendimientos de provecho de agua; y otra se pierde en el balance hídrico de la cuenca porque queda contenida en el producto que se exporta para el provecho o por evapotranspiración de las plantaciones. El requerimiento de agua se suple en la unidad geográfica de análisis según la oferta hídrica del agua contenida en el suelo y los aportes de la lluvia; del agua de drenaje superficial; del aporte de fuentes subterráneas; y de transvases de cuencas circundantes. Así, cuanta mayor sea la demanda de las plantaciones, tanta mayor la cantidad de elementos para suministrar la competencia frente a otras coberturas y usos.

El abastecimiento suple el crecimiento de la especie; la producción maderera; la neutralización de los principales contaminantes generados por la dinámica de producción; y las concentraciones aceptables en los cuerpos de agua según los niveles permitidos por la normativa ambiental. Ante la prospectiva de la demanda adicional en la unidad de análisis por la plantación forestal y el consumo real en cada subzona hidrográfica por las coberturas y usos establecidos, se plantea la disyuntiva acerca de la sostenibilidad hídrica del nuevo cultivo por competencia frente a las demás coberturas y usos o bien por el riesgo en el abastecimiento para las plantaciones forestales.

Debido a la falta de discriminación de la demanda hídrica de cada especie forestal, se decidió calcularla en relación tanto con la evapotranspiración asociada a la subzona hidrográfica como con el índice de eficiencia de uso del agua. Éste hace referencia a los kilogramos de agua requeridos para la producción de materia seca en gramos asociados al área potencial para el desarrollo de cada plantación definida en el criterio de cambio de cobertura (León y Suárez, 1998).

Importancia del criterio

En el escenario del establecimiento de plantaciones forestales, permite estimar la sostenibilidad hídrica de la unidad geográfica de análisis, a saber: los polígonos de evapotranspiración de referencia (Eto) por la subzona hidrográfica (SZH). De esta forma, es posible identificar si, dada la capacidad hídrica de la SZH, se configura un riesgo para el abastecimiento de las plantaciones o si el establecimiento entra en competencia con los ecosistemas, los agrosistemas y demás usos existentes.

Limitantes de la evaluación del criterio

Para procesar el componente de diferencia de uso de agua por la plantación, se usó la información secundaria para identificar el índice de eficiencia de uso del agua, aunque algunos estudios no son nacionales. Además, se estimó el *Kc* de las coberturas actuales mediante imágenes MODIS, cuyos mayores limitantes son la resolución espacial y la temporalidad.

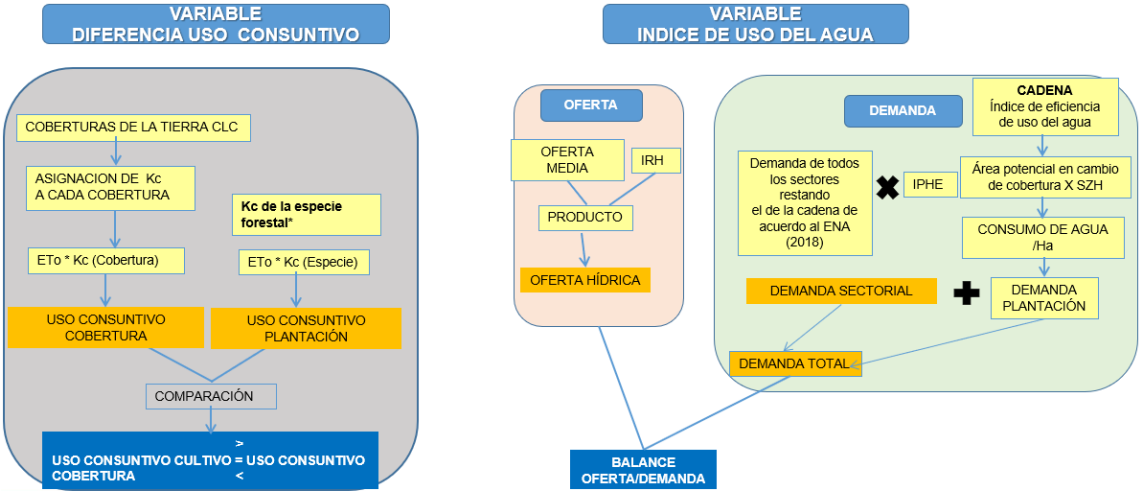
Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

No hubo valores de exclusión, pues ninguna variable presentó límites que calificaran zonas del territorio nacional como no aptas (N1).

Metodología de procesamiento de la información

Para procesar la variable *apropiación del agua* para las veinte plantaciones evaluadas, se siguió la metodología que se descibe en la siguiente figura:

Metodología para el cálculo de la apropiación del agua para las plantaciones forestales



donde

CLC = Corine Land Cover;

Kc = coeficiente del cultivo;

IRH = índice de regulación hídrica;

IPHE = índice de presión hídrica de los ecosistemas.

Los *Kc* asociados a cada especie se tomaron de los valores máximos calculados en el componente físico.

El criterio está compuesto de dos variables: *diferencia del uso consuntivo* e *índice del uso del agua*. De acuerdo con el Ideam (2010), el uso consuntivo se refiere al requerimiento de agua para el arreglo de cultivos para cuyo cálculo se parte del valor de evapotranspiración y el coeficiente del cultivo (*Kc*). La variable de la diferencia del uso consuntivo se refiere a la comparación del *Kc* de las coberturas actuales multiplicado por la evapotranspiración de referencia y el *Kc* de las potenciales plantaciones forestales nacionales multiplicado por la evapotranspiración de referencia, de modo que es posible realizar una comparación entre la evapotranspiración de las coberturas actuales y las de cada plantación forestal. Si el dato de la relación es mayor a 0, es porque la evapotranspiración de la plantación es mayor a la cobertura actual, por lo que es mejor continuar con la cobertura actual; si el dato de la relación es menor a 0, es porque la evapotranspiración de la plantación es menor a la cobertura actual, por lo que un cambio de la plantación sería favorable. Hay un rango intermedio alrededor del 0, cuya variación no es grande pero las dos coberturas presentan similares evapotranspiraciones.

La variable *diferencia del uso del agua* es una relación entre la oferta y la demanda hídrica en la subzona hidrográfica. Para esto, fue necesrio tomar el dato de oferta media del *Estudio nacional del agua* (ENA, 2019) y se multiplicó por el índice de regulación hídrica para verificar si esa oferta está bien distribuida o no durante todo el año, con lo que se otuvo la oferta total por subzona hidrográfica. En relación con la demanda, se tomaron los datos de la demanda sectorial del *Estudio nacional del agua* (2019) y se multiplicaron por el índice de presión de los ecosistemas para considerar la demanda requerida por los ecosistemas para la sostenibilidad. Posteriormente, se adicionó la demanda hídrica de cada plantación, para lo cual se partió del índice de eficiencia de uso del agua reportado por la literatura de consulta para cada especie. Acto seguido el dato se llevó tradujo a metros cúbicos de agua por hectárea, teniendo en cuenta una densidad de siembra de 1.111 árboles/ha mediante la superposición por subzonas hidrográficas y el área potencial para cada plantación obtenida en el criterio de cambio de cobertura. La diferencia del uso del agua correspondió a la diferencia entre la oferta y la demanda total (ver siguiente tabla).

Índice de eficiencia de uso del agua y biomasa promedio 0-30 cm de DAP para las especies forestales priorizadas

Especie	Índice de eficiencia de uso de agua	Biomasa promedio del periodo de crecimiento de DAP 0-30 cm (kg/árbol)
1. *Acacia mangium*	5,58 (Camacho *et al.*, 2007)	192,47
2. *Eucalyptus pellita*	2,9 (León y Suárez, 1998)	282,89
3. *Eucalyptus tereticornis*		
4. *Eucalyptus urograndis*		
5. *Eucalyptus urophylla*		
6. Gmelina arborea	4,09 (Camacho *et al.*, 2007)	344,46
7. Pinus caribaea	2,1 (León y Suárez, 1998)	219,96
8. Tectona grandis	3,02 (Sohel, 2022)	282,95
9. Bombacopsis quinata	16,3 (Bravo *et al.*, 2019)	150,82
10. Tabebuia rosea	4,0419 (Sohel, 2022)	538,73
11. Ochroma pyramidale	8,08 (Bravo *et al.*, 2019)	130,45
12.Eucalyptus camaldulensis	2,9 (León y Suárez, 1998)	328,96
13. Pinus tecunumanii	2,1 (León y Suárez, 1998)	302,61
14. Cordia alliodora	3,6 (Sohel, 2022)	358,41
15. Pinus maximinoi	2,1 (León y Suárez, 1998)	302,61
16. Eucalyptus grandis	6,9 (Sohel, 2022)	727,66
17. Pinus oocarpa	2,1 (León y Suárez, 1998)	250,83
18. Cupressus lusitanica	2,1 (León y Suárez, 1998)	617,58
20. Pinus patula		
19. Eucalyptus globulus	2,9 (León y Suárez, 1998)	371,64

Finalmente, con los resultados de la diferencia del uso del agua y la diferencia del uso consuntivo, se estableció la aptitud por apropiación del agua para cada plantación, haciendo uso de un árbol de decisión que involucró las dos variables, como se muestra en la tabla de abajo:

Índice del uso del agua	Diferencia del uso consuntivo	Aptitud
		Apropiación del agua
A1	A1	A1
	A2	A1
	A3	A2
A2	A1	A1
	A2	A2
	A3	A3
A3	A1	A2
	A2	A3
	A3	A3

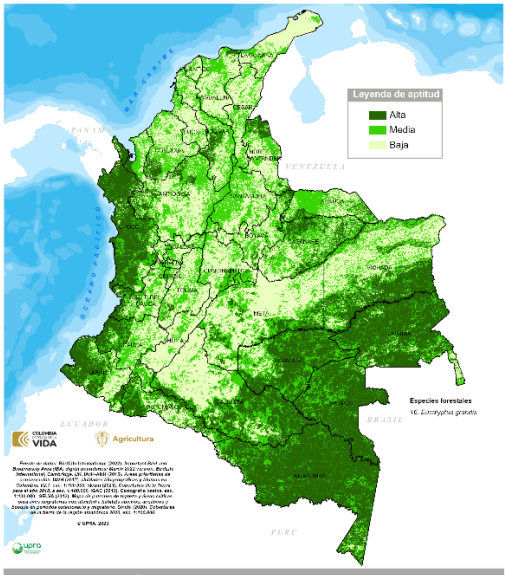
Rangos para la asignación de valores de aptitud

Se estableció un valor de la relación entre la capacidad hídrica de la subzona hidrográfica y el requerimiento de la plantación. Se calificó con *aptitud alta* (A1) los lugares (Eto x SZH) con agua disponible para satisfacer la nueva demanda impuesta por la plantación forestal sin poner en riesgo los usos preexistentes ni la plantación; y con *aptitud baja* (A3), los lugares con mayor déficit hídrico donde establecer plantaciones forestales generara un riesgo por desabastecimiento para la plantación y otros usos establecidos en la subzona hidrográfica. Se obtuvieron los rangos de variación del procesamiento entre los rangos de los mapas constitutivos de la diferencia del uso consuntivo y la diferencia de uso de agua (ver siguiente tabla).

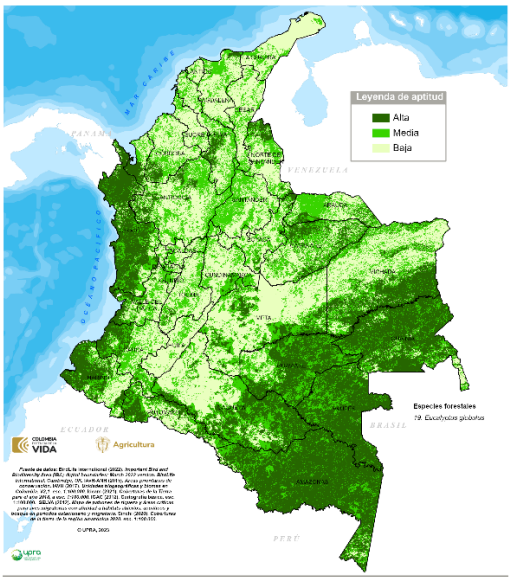
Rango de variación de la aptitud por apropiación del agua para las plantaciones forestales

Descripción	Rango de variación	Aptitud
Zonas con sostenibilidad hídrica alta para el abastecimiento de la demanda de plantaciones forestales y usos preexistentes. Puede implicar niveles bajos de riesgo hídrico para la plantación o presión baja por competencia con las coberturas naturales o los usos establecidos en la unidad de análisis.	A1A1 A1A2 A2A1	Alta (A1)
Zonas con sostenibilidad hídrica moderada para el abastecimiento de la demanda de las plantaciones forestales y usos preexistentes. Puede implicar niveles moderados de riesgo hídrico para la plantación o presión moderada por competencia con las coberturas naturales o los usos establecidos en la unidad de análisis.	A1A3 A2A2 A3A1	Media (A2)
Zonas con sostenibilidad hídrica baja o nula para el abastecimiento de la demanda plantaciones forestales y los usos preexistentes. Puede implicar niveles altos de riesgo hídrico para la plantación o presión alta por competencia con las coberturas naturales o los usos establecidos en la unidad de análisis.	A2A3 A3A2 A3A3	Baja (A3)

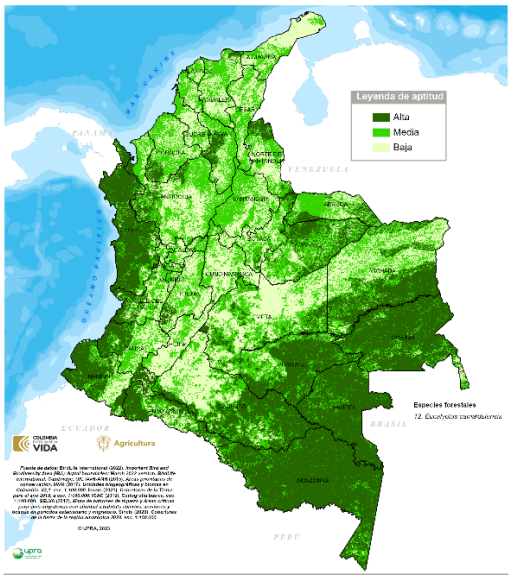
Representación cartográfica del criterio



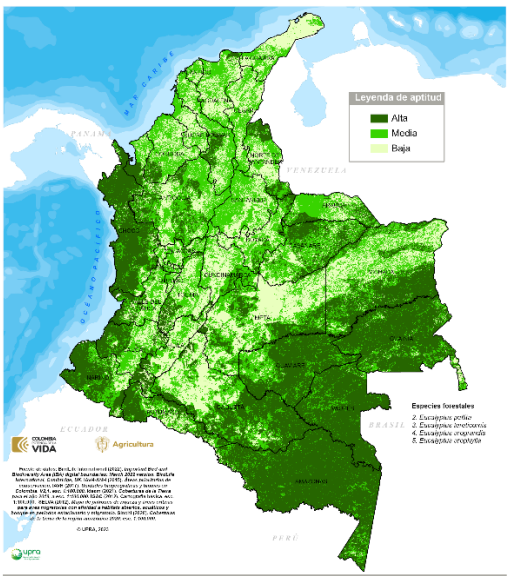
CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA



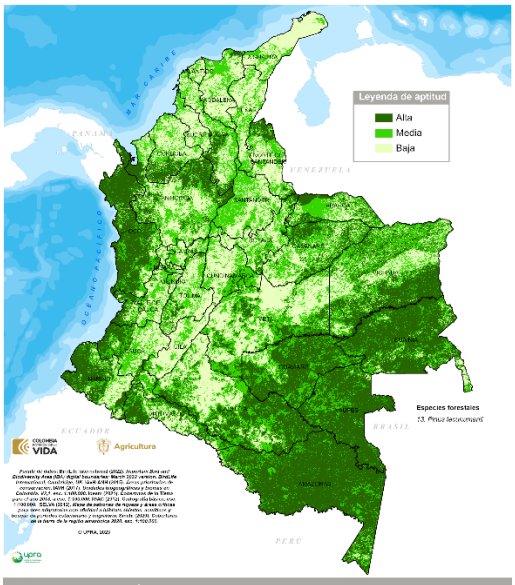
CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA



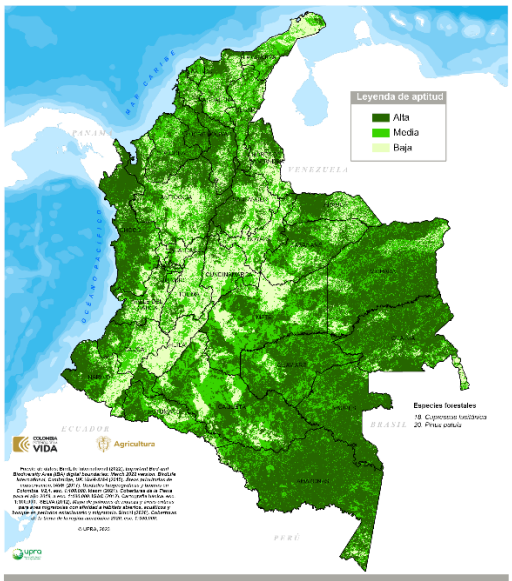
CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA



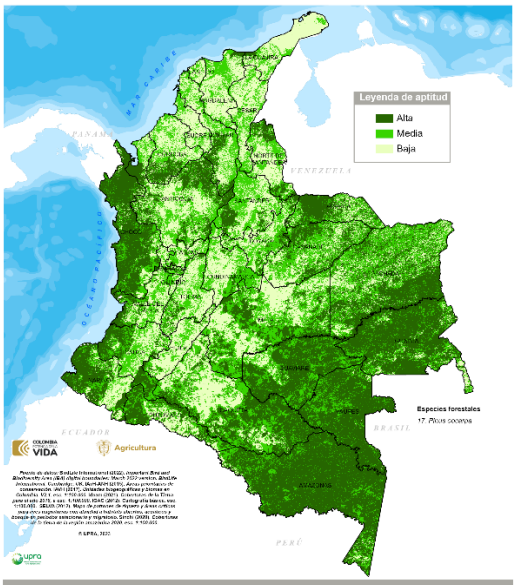
CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA



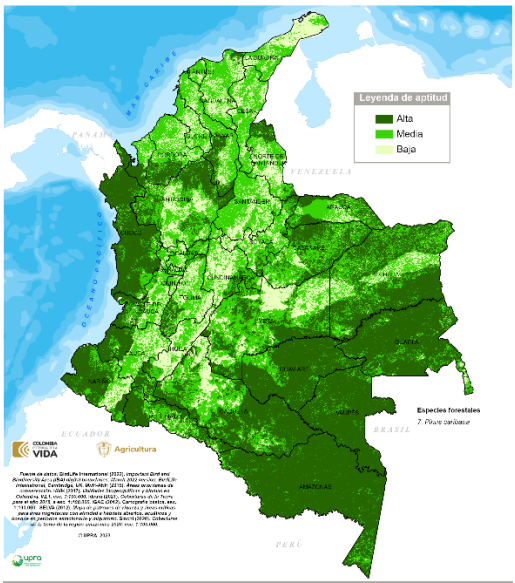
CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA



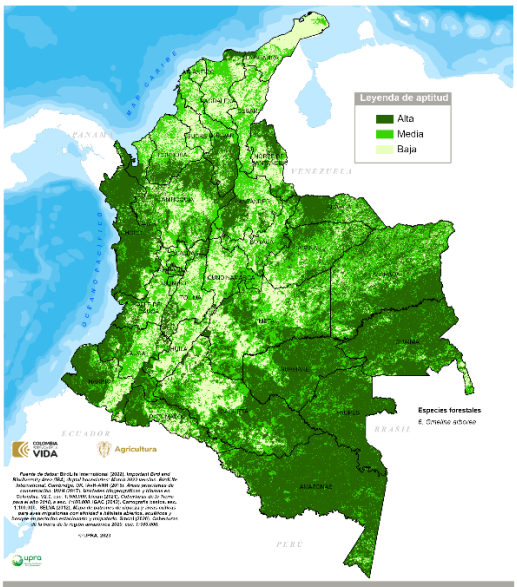
CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA



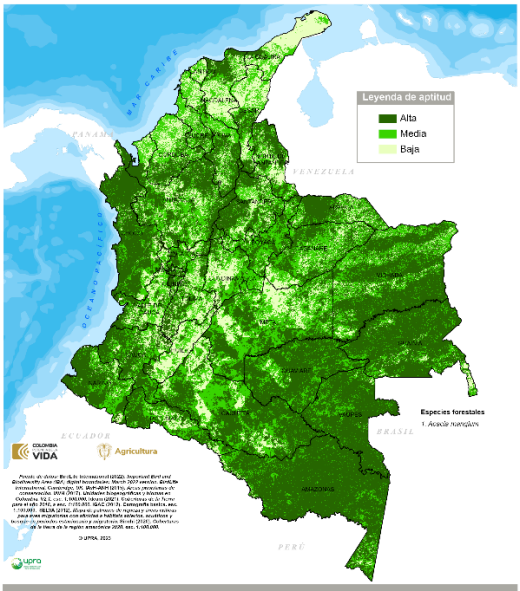
CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA



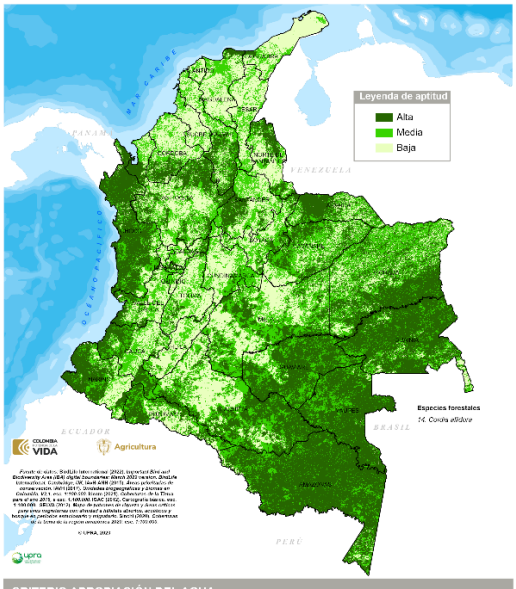
CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA



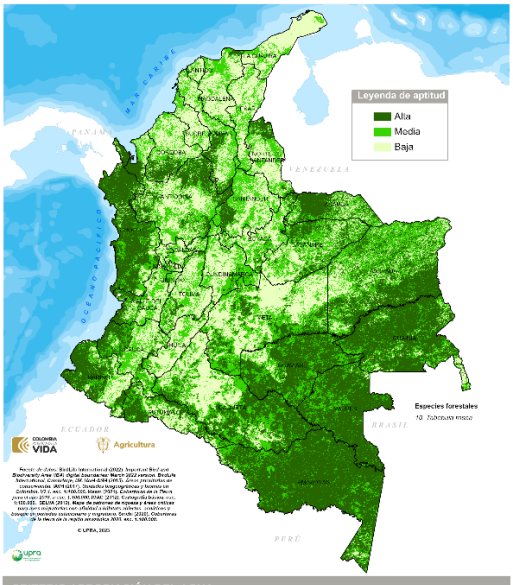
CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA



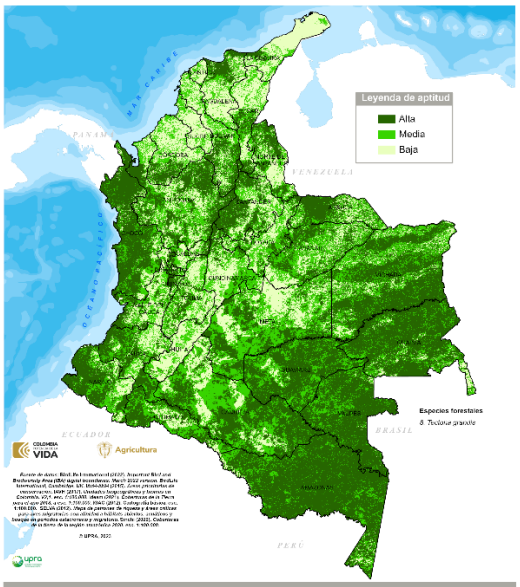
CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA



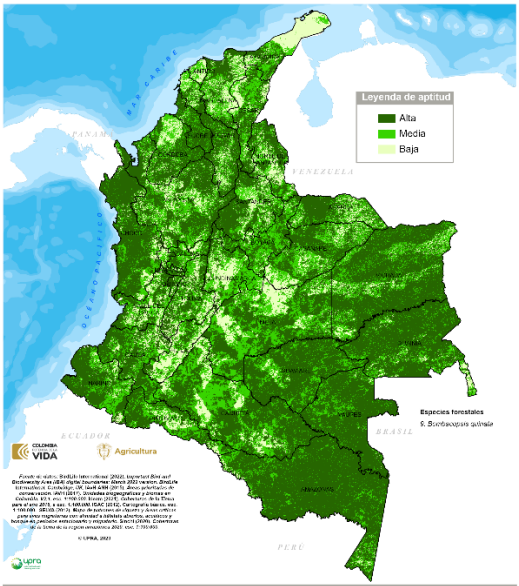
CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA



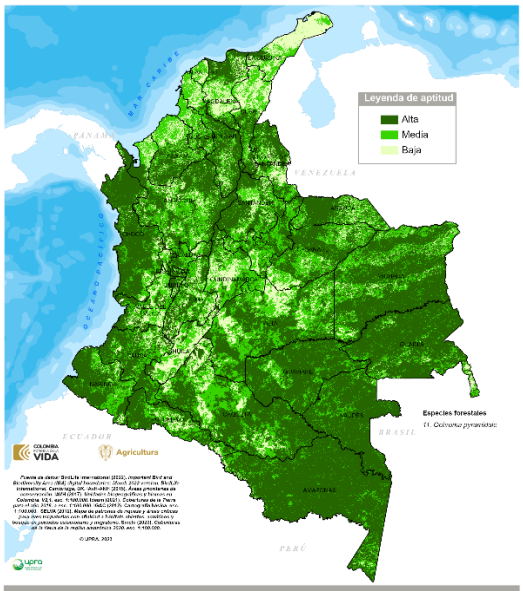
CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA



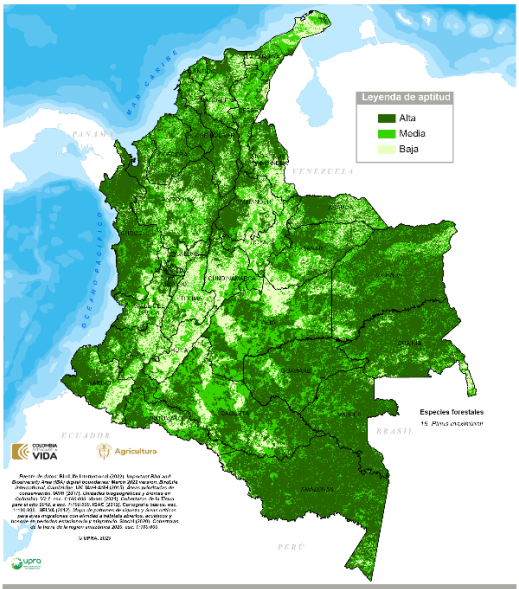
CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA



CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA



CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA



CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA

Fuentes de información

Araújo, G.G., Voltolini, T.V., Chizzotti, M.L., Turco, S.H. & Carvalho F.F. (2010). Water and small ruminant production. *R Bras Zootec, 39*(Suppl. Spe), 326-336. DOI: https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001300036

Bravo, N.I., Osorio, L.F., Bravo, F. Martínez, E. (2019). *Survival, growth and photosynthesis analysis of native forest species established in the tropical dry forest in Antioquia, Colombia*. Rev Fac Nac Agron Medellín 72(1): 8751-8761. DOI: https://doi.org/10.15446/rfnam.v72n1.69575

Camacho, L.D., Tolentino, E.L., Rebugio, L.L. & Camacho., S.C. (2007*). Economics of using water use efficient forest landscape restoration tree species. For Sci Technol 3*(2), 101-107. DOI: https://doi.org/10.1080/21580103.2007.9656325

Fraser, D. (2006). *El bienestar animal y la intensificación de la producción animal: una interpretación alternativa*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). https://n9.cl/ulo9a3

León, T. y Suárez, A. (1998). *Efectos de plantaciones forestales sobre suelo y agua*. Serie Técnica n.º 4. Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2010). *Leyenda nacional de coberturas de la tierra: metodología CORINE Land Cover, adaptada para Colombia, escala 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). https://n9.cl/23v8d

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2012). *Mapa nacional de cobertura de la tierra: imágenes 2005-2009, escala 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2019). *Estudio nacional del agua 2018*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). https://n9.cl/jtozxg

Meehan, M.A., Stokka, G. & Mostrom M. (2015). *Livestock water requirements*. NDSU Extension Service. https://n9.cl/xq656

Sohel, S. (2022). *Systematic review and meta-analysis reveals functional traits and climate are good predictors of tropical tree water use. Trees For People* 8(2022), 1-21. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tfp.2022.100226

2.2.1. Variable *diferencia del uso consuntivo*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioecosistémico		
Criterio asociado: *apropiación del agua*		
Variable: *diferencia del uso consuntivo*	Unidad de medida: mm/año	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Requerimiento de agua neta para el establecimiento de un cultivo que partiendo del agua contenida en el suelo y que está disponible para la cobertura vegetal (Ideam, 2010). Es decir: para esta variable no se tiene en cuenta el agua que alimenta los acuíferos superficiales o subterráneos (UPRA, 2016). Este uso consuntivo abarca la totalidad de agua requerida por un cultivo determinado para realizar la evapotranspiración y la construcción celular, desde la siembra hasta la cosecha, en un régimen climático específico. El uso consuntivo se calcula para otras coberturas vegetales según la metodología de Cuesta *et al*. (2005). La variable analiza la relación entre el uso consuntivo de una plantación forestal y las otras coberturas vegetales.

Importancia de la variable

La FAO (2006) define la evapotranspiración como la relación entre la evaporación y la transpiración. La evaporación se entiende como la pérdida de vapor de agua directamente del suelo; mientras que la transpiración está asociada a la vaporización del agua contenida en los tejidos vegetales. El cálculo de la evapotranspiración, propia de la cobertura y de las plantaciones forestales mediante la determinación del uso consuntivo, permite estimar el requerimiento de agua por parte de estas coberturas vegetales. La variable compara la evapotranspiración de las coberturas actuales y la evapotranspiración de una plantación forestal. Lo que se pretende evaluar es la sostenibilidad del territorio con relación a la evapotranspiración: si es mejor mantener las coberturas actuales o tener una plantación forestal.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

En el análisis de esta variable, no se presentó ningún límite que calificara zonas del territorio nacional como no aptas (N1).

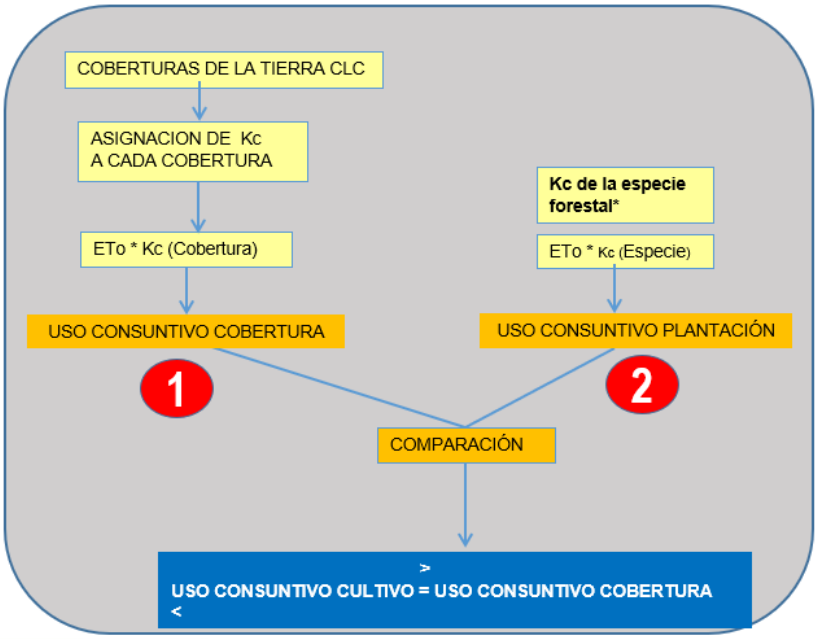
Limitantes de la evaluación de la variable

La estimación del *Kc* de las coberturas actuales se realizó mediante imágenes MODIS, las cuales tienen como mayor limitante la resolución espacial y la temporalidad.

Metodología de procesamiento de la información

El uso consuntivo se obtiene, de acuerdo con el Ideam (2010), al aplicar el enfoque del coeficiente del cultivo (*Kc*), que corresponde al coeficiente entre la evapotranspiración del cultivo (*Etc*) y la evapotranspiración del cultivo de referencia (*Etp*) perteneciente a pasto (FAO, 2006). La Etp representa un indicador de la demanda climática y el *Kc* cambia en función de las características del cultivo o la cobertura vegetal, por lo que la evapotranspiración del cultivo se obtiene de la multiplicación del *Etp* y el *Kc* correspondientes (FAO, 2006). Para procesar la variable *diferencia del uso consuntivo* para las veinte plantaciones forestales evaluadas, se siguió la siguiente metodología:

Metodología para el cálculo de la diferencia del uso consuntivo para plantaciones forestales



Uso consuntivo de la cobertura. Para calcular el uso consuntivo, se partió de la información de evapotranspiración potencial (Etp) generada por la temperatura y el índice calórico (I), de acuerdo con el método de Thornthwaite adoptado por el grupo físico del proyecto de zonificación. De acuerdo con lo anterior, surgió las siguientes ecuaciones:

$$Etp = 0{,}53\left(\frac{10T}{\mathrm{I}}\right)^{\propto}$$

donde

Etp = evapotranspiración potencial media diaria sin ajustar, medida en milímetros;

T = temperatura media (°C);

I = índice calórico anual.

$$I = 12\left(\frac{T_{\text{anual}}}{5}\right) \times 1{,}514$$

$$\propto = (675 \times 10^{-9})\mathrm{I}^3 - (771 \times 10^{-7})\mathrm{I}^2 + (179 \times 10^{-4})\mathrm{I} + 0{,}492$$

Los *Kc* de la cobertura actual se determinaron de acuerdo con la ecuación de Cuesta *et al*. (2005):

$$Kc = 1{,}5625 * NDVI - 0{,}05$$

El NDVI (por sus siglas en inglés) se define como el índice de vegetación de diferencia normalizada calculado mediante la siguiente expresión:

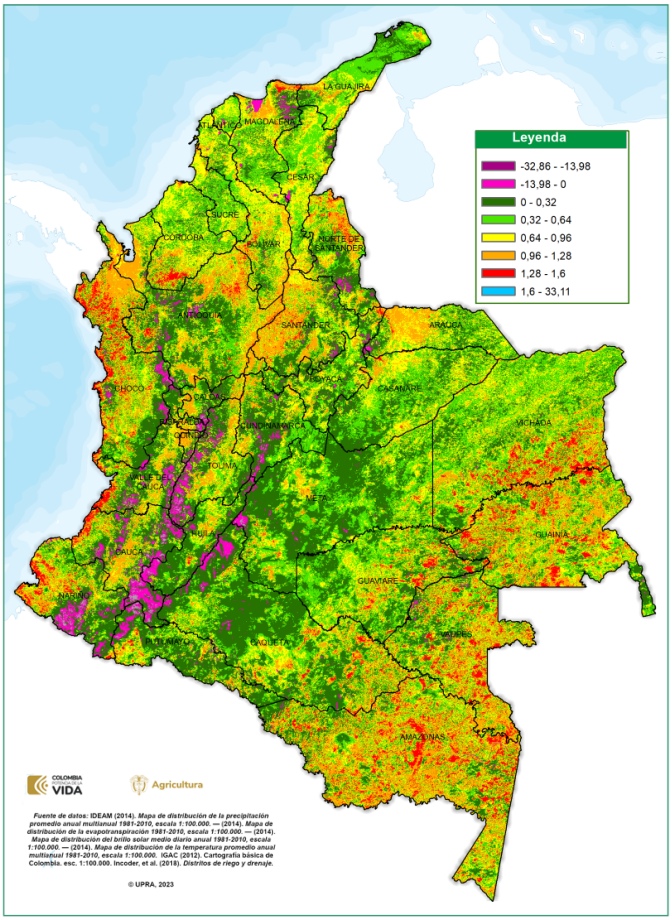
$$NDVI = (NIR\text{-}RED) / (NIR + RED)$$

donde:

NIR = banda 2 del infrarrojo cercano del MODIS;

RED = banda 1 del rojo del MODIS.

KC a partir de imágenes MODIS



Uso consuntivo del cultivo. Se calculó la evapotranspiración de referencia del cultivo (Eto), que representa el uso de agua para los procesos fisiológicos en condiciones de secano, esto es, a partir del agua contenida en el suelo y que está disponible para la vegetación y por tanto no alimenta los acuíferos superficiales o subterráneos. Para esto, el valor obtenido de *Etp* se corrige por el factor de consumo de agua del cultivo (*Kc*) de la siguiente forma:

$$\mathrm{Eto} = \mathrm{K_c} \times Etp$$

El valor de *Kc* fue calculado por el grupo físico del proyecto de zonificación para cada una de las especies forestales, como se muestra en la siguiente tabla:

Especie	*Kc*
1. Acacia mangium	0,84
2. Eucalyptus pellita	0,79*
3. Eucalyptus tereticornis	
4. Eucalyptus urograndis	
5. Eucalyptus urophylla	
6. Gmelina arborea	0,83
7. Pinus caribaea	0,71
8. Tectona grandis	0,9
9. Bombacopsis quinata	0,84
10. Tabebuia rosea	0,9
11. Ochroma pyramidale	0,8
12.Eucalyptus camaldulensis	0,79
13. Pinus tecunumanii	0,89
14. Cordia alliodora	0,91
15. Pinus maximinoi	0,89
16. Eucalyptus grandis	0,9
17. Pinus oocarpa	0,89
18. Cupressus lusitanica	0,925*
20. Pinus patula	
19. Eucalyptus globulus	0,93
* El valor corresponde al promedio del *Kc* de las especies que hacen parte del grupo	

El dato generado del uso consuntivo para cada especie requirió de una conversión por un factor multiplicador de 10, el cual representó el cambio de unidades de milímetros de precipitación de la información climática a metros cúbicos de agua por hectárea, con el fin de hacerlo compatible con la información de oferta de las subzonas hidrográficas.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

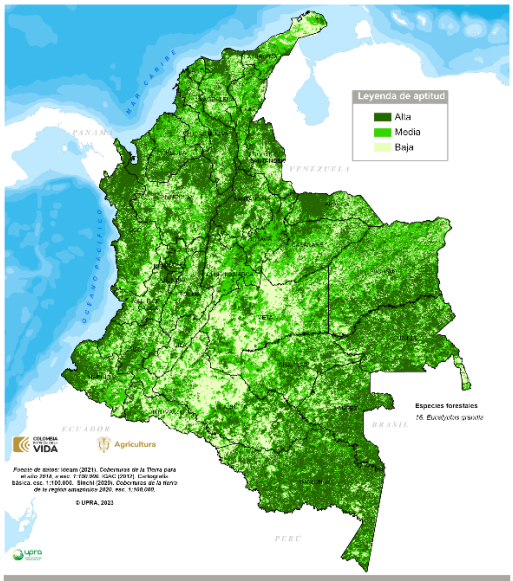
Aptitud por uso consuntivo para plantaciones forestales

Descripción	Rango Eto (mm/año)	Aptitud
El cultivo evapotranspira menos que la cobertura actual: uso consuntivo menor	>800	Alta (A1)
La evapotranspiración del cultivo es similar al de la cobertura actual: uso consuntivo moderado	300-800	Media (A2)
La cobertura actual evapotranspira menos que el cultivo: uso consuntivo alto	<300	Baja (A3)
Uso consuntivo muy alto		

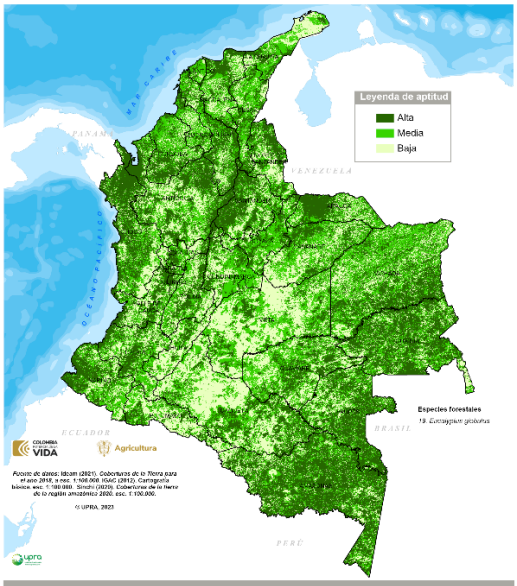
Unidad de análisis

Unidad de cobertura.

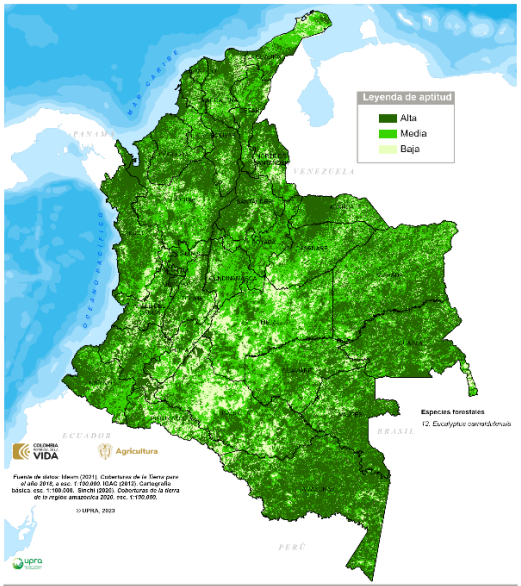
Representación cartográfica de la variable



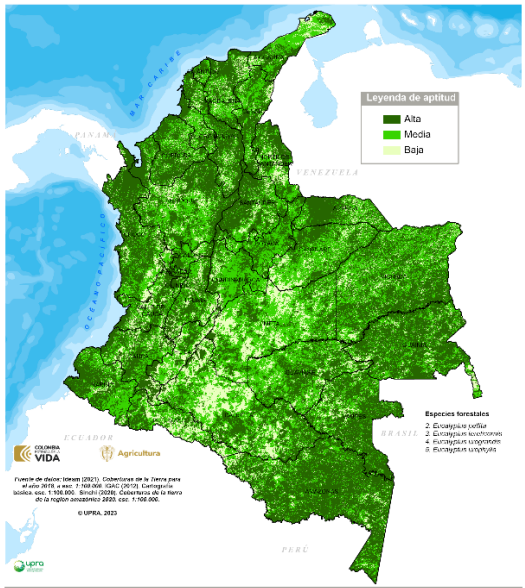
CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA
Variable uso consuntivo



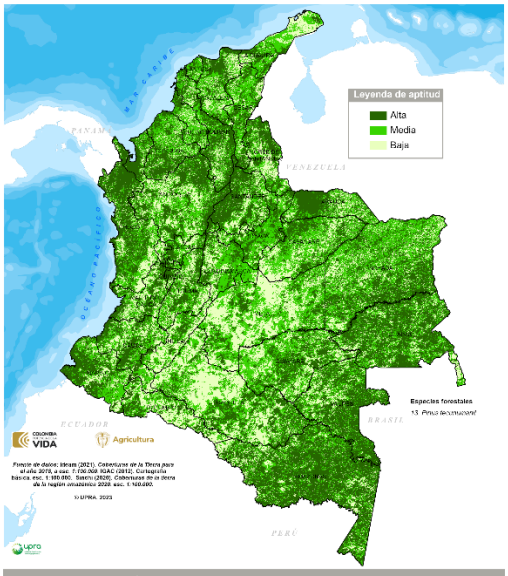
CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA
Variable uso consuntivo



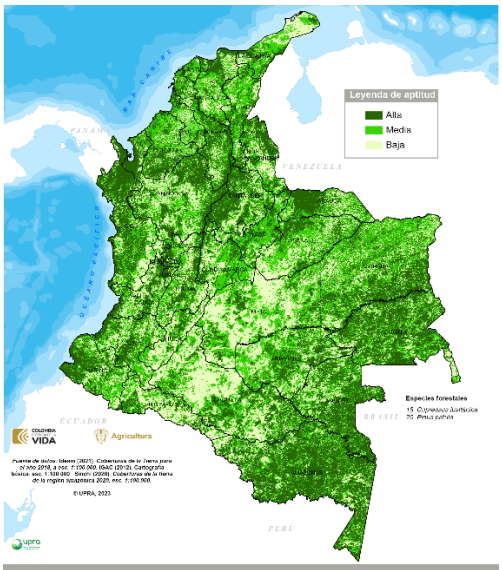
CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA
Variable uso consuntivo



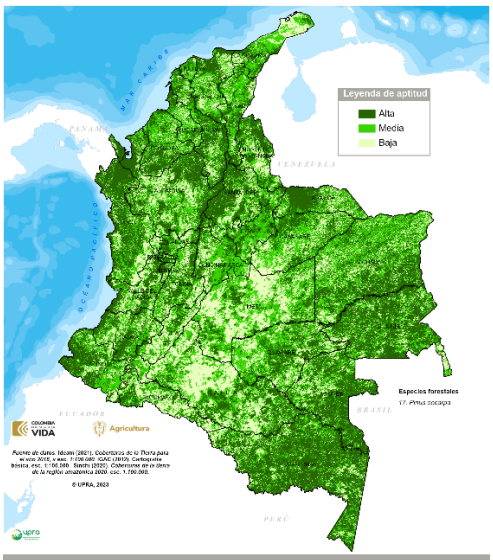
CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA
Variable uso consuntivo



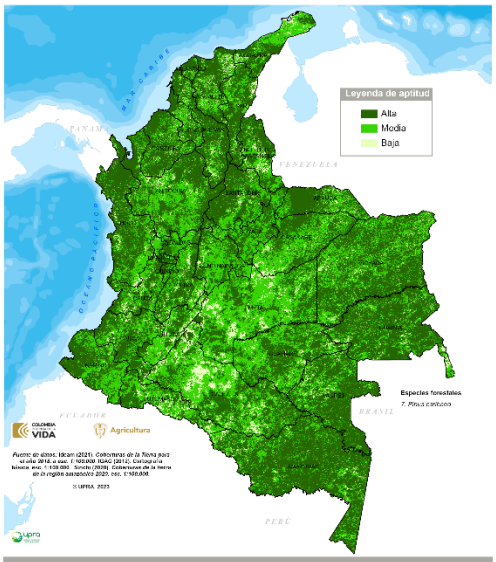
CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA
Variable uso consuntivo



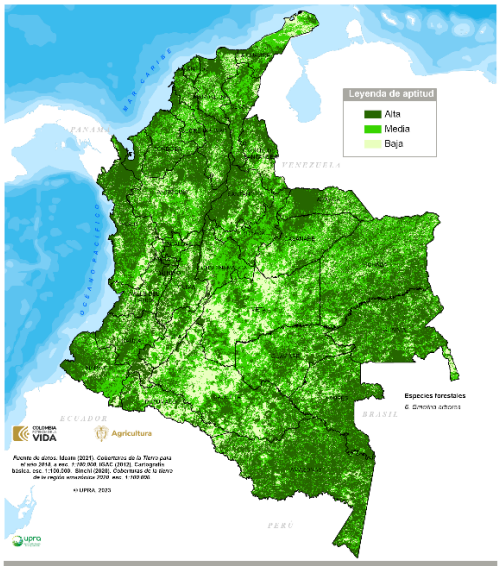
CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA
Variable uso consuntivo



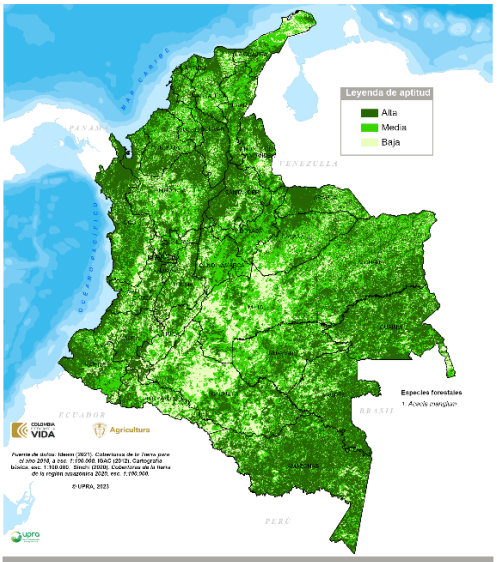
CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA
Variable uso consuntivo



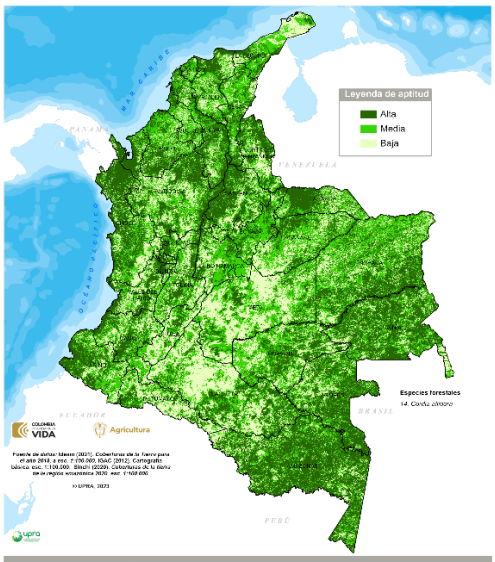
CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA
Variable uso consuntivo



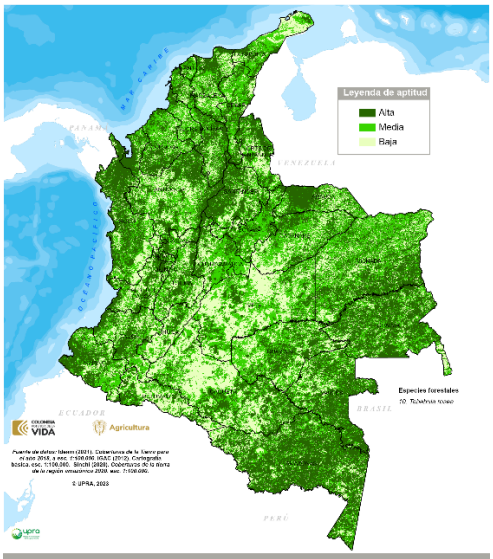
CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA
Variable uso consuntivo



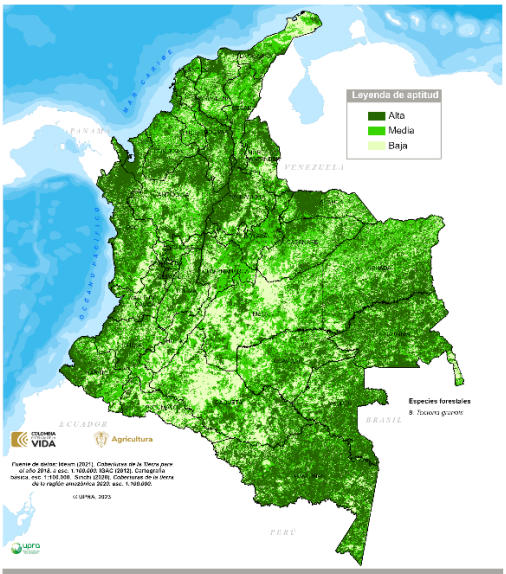
CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA
Variable uso consuntivo



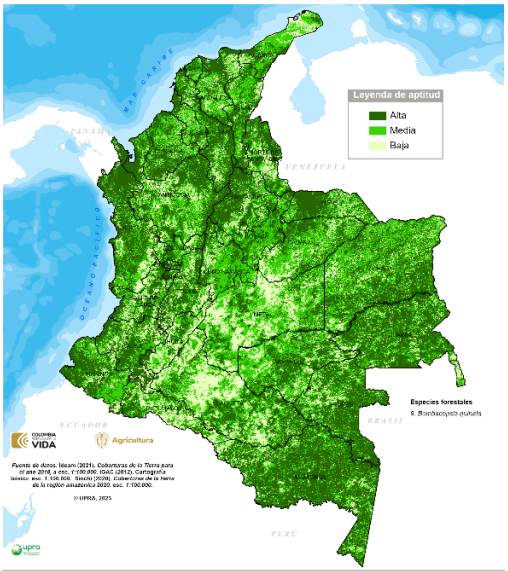
CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA
Variable uso consuntivo



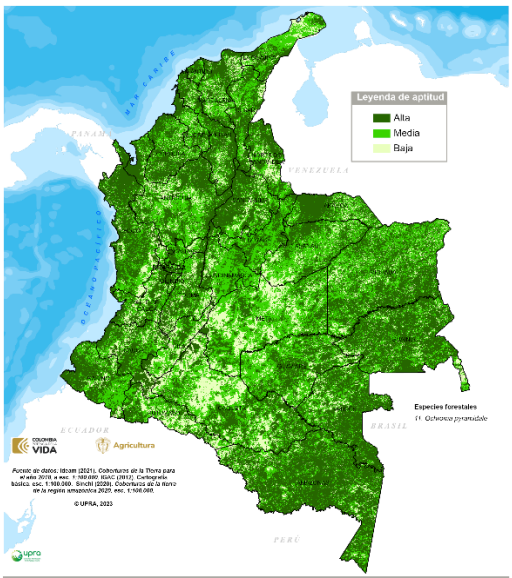
CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA
Variable uso consuntivo



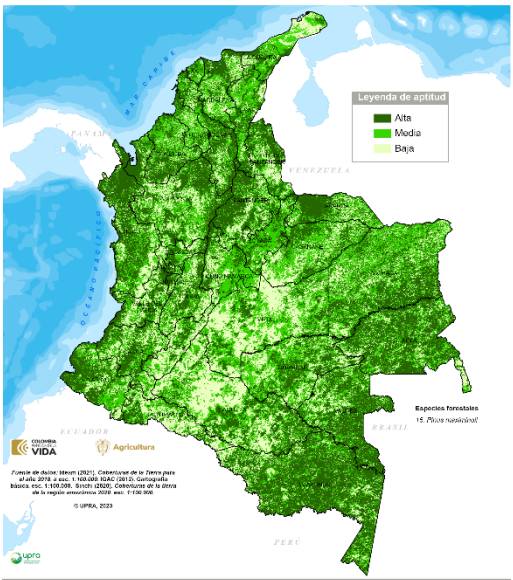
CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA
Variable uso consuntivo



CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA
Variable uso consuntivo



CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA
Variable uso consuntivo



CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA
Variable uso consuntivo

Fuentes de información

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D, y Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos: estudio FAO riego y drenaje 56*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf

Cuesta *et al*. (2005). Metodología operativa para la obtención del coeficiente de cultivo desde imágenes de satélite. *ITEA*, *101*(3), 212-224. https://n9.cl/g9ef9w

Food and Agriculture Organization of the United Nations (2019). *Aquastat*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). https://n9.cl/uxjt3

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2011). *Estudio nacional del agua: capa de subzonas hidrográficas, escala 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (2016). *Cultivo comercial de papa: identificación de zonas aptas en Colombia a escala 1:100.000*. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

2.2.2. Variable *diferencia del uso del agua*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioecosistémico		
Criterio asociado: *apropiación del agua*		
Variable: *diferencia del uso del agua*	Unidad de medida: Mm^3	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Cantidad de agua que es retenida del flujo de la cuenca para satisfacer la demanda de las plantaciones forestales, tanto para el crecimiento como para la materia prima del sustento de la plantación. De esta agua captada por la plantación, una parte queda contenida en la biomasa de la especie; otra retorna a la cuenca como excesos o menores rendimientos de aprovechamiento del agua; y otra se pierde en el balance hídrico de la cuenca, porque queda contenida en la producción de biomasa aérea o vía evapotranspiración del cultivo. La demanda de agua de la plantación se basa en el índice de eficiencia del uso del agua, definido por León y Suárez (1998) como la producción de biomasa por unidad de agua, relación entre la ganancia de carbono y la pérdida de agua (Kuglitsh *et al*., 2008).

Importancia de la variable

Permite estimar la sostenibilidad hídrica de la unidad geográfica de análisis para establecer plantaciones forestales. De esta forma, es posible identificar si, dada la capacidad hídrica de la SZH, se configura un riesgo para el abastecimiento de la plantación o si la plantación a establecer entra en competencia con los ecosistemas, los agrosistemas y otros usos existentes.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

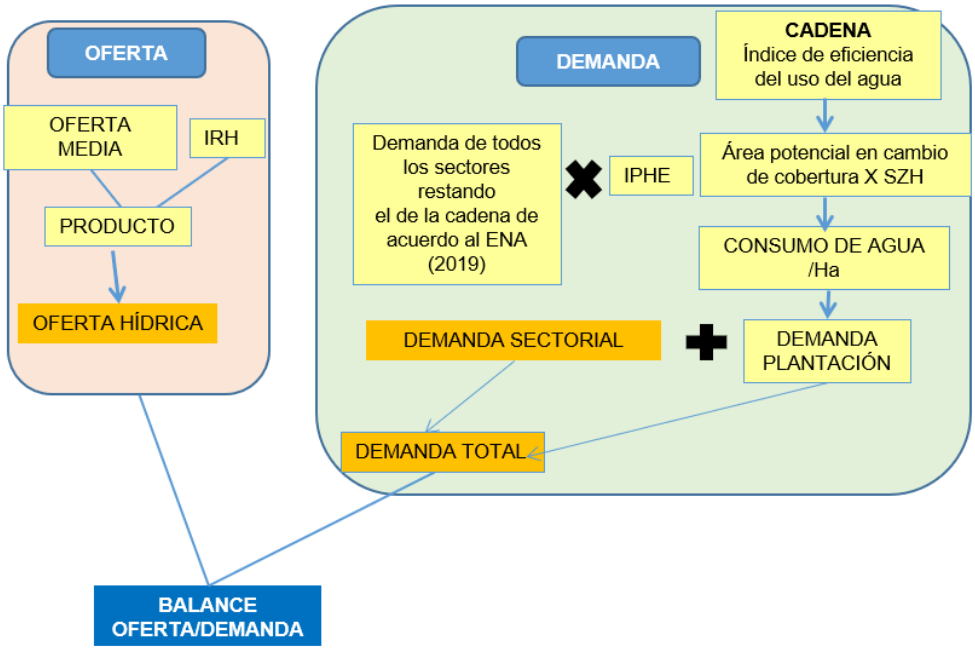
En el análisis de la variable, no se presentaron límites que calificaran zonas del territorio nacional como no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

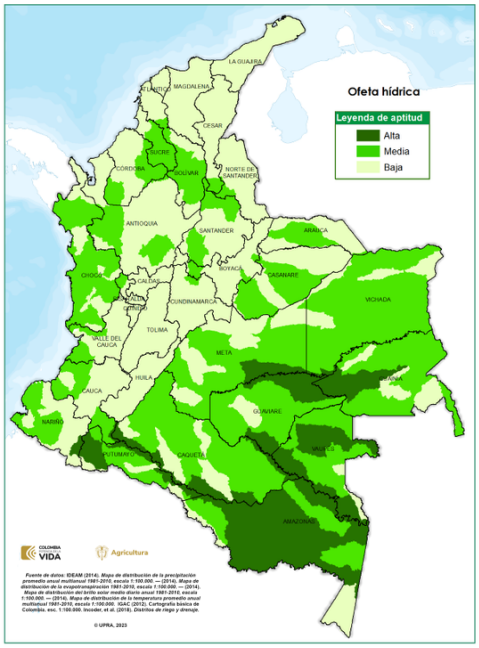
Para identificar el índice de eficiencia de uso del agua, se recurrió a la información secundaria y a algunos estudios que no fueron realizados en el ámbito nacional.

Metodología de procesamiento de la información

El procesamiento de la variable de diferencia del uso del agua se presenta en la siguiente figura:



Para llevar a cabo este cálculo, se partió de la información sobre oferta y demanda hídrica por subzonas hidrográficas del *Estudio nacional del agua* (Ideam, 2019). El procesamiento partió de identificar la oferta hídrica actual de cada subzona hidrográfica que se multiplica por el índice de regulación hídrica (IRH) para verificar si está bien o no distribuida durante todo el año, con lo cual se obtuvo la oferta total por subzona hidrográfica.



En relación con la demanda, se tomaron los datos de la demanda sectorial del ENA (2019) y se multiplicó por el índice de presión de los ecosistemas (IPHE) para considerar la demanda requerida para la sostenibilidad. A esta demanda sectorial se le incluyó la demanda de agua de las plantaciones forestales, calculada a partir del índice de eficiencia del uso del agua reportado para cada especie y de la biomasa promedio producida hasta un crecimiento de DAP de 30 centímetros. Luego, la demanda se definió en metros cúbicos de agua por hectárea por año, considerando una densidad de siembra de 1.111 árboles por hectárea, el turno de aprovechamiento de cada especie y la superposición por subzonas hidrográficas con el área apta para cada plantación según resultado del mapa del criterio de cambio de cobertura. La diferencia del uso del agua correspondió a la diferencia entre la oferta y la demanda total.

Índice de eficiencia de uso del agua, biomasa promedio 0-30 cm de DAP y turno para las especies forestales priorizadas

Especie	Índice de eficiencia de uso de agua	Biomasa promedio del periodo de crecimiento de DAP 0-30 cm (kg/árbol)	Turno (años)
1. Acacia mangium	5,58 (Camacho *et al.*, 2007)	192,47	10
2. Eucalyptus pellita	2,9 (León y Suárez, 1998)	282,89	8
3. Eucalyptus tereticornis			
4. Eucalyptus urograndis			
5. Eucalyptus urophylla			
6. Gmelina arborea	4,09 (Camacho *et al.*, 2007)	344,46	13
7. Pinus caribaea	2,1 (León y Suárez, 1998)	219,96	10
8. Tectona grandis	3,02 (Sohel, 2022)	282,95	25
9. Bombacopsis quinata	16,3 (Bravo *et al.*, 2019)	150,82	18
10. Tabebuia rosea	4,0419 (Sohel, 2022)	53,73	15
11. Ochroma pyramidale	8,08 (Bravo *et al.*, 2019)	130,45	7
12.Eucalyptus camaldulensis	2,9 (León y Suárez, 1998)	328,96	8
13. Pinus tecunumanii	2,1 (León y Suárez, 1998)	302,61	15
14. Cordia alliodora	3,6 (Sohel, 2022)	358,41	15
15. Pinus maximinoi	2,1 (León y Suárez, 1998)	302,61	15
16. Eucalyptus grandis	6,9 (Sohel, 2022)	727,66	8
17. Pinus oocarpa	2,1 (León y Suárez, 1998)	250,83	15
18. Cupressus lusitanica	2,1 (León y Suárez, 1998)	617,58	18
20. Pinus patula			
19. Eucalyptus globulus	2,9 (León y Suárez, 1998)	371,64	10

Rangos para la asignación de valores de aptitud

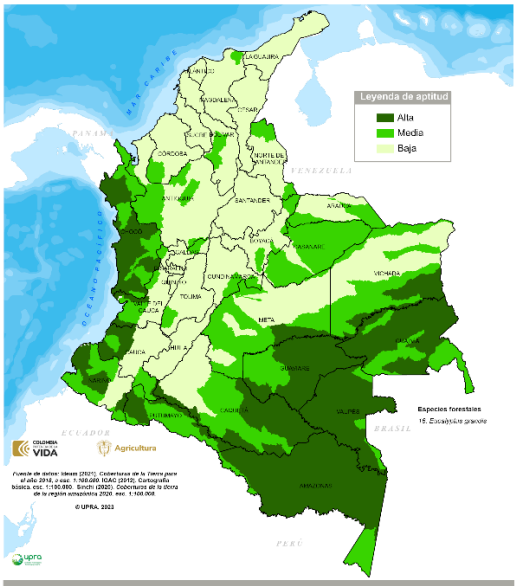
Aptitud por diferencia de uso de agua para las plantaciones forestales

Descripción	Diferencia de uso (Mm^3)	Aptitud
La subzona hidrográfica se encuentra en superávit hídrico mayor. La oferta hídrica es muy superior en comparación con la demanda hídrica sectorial total incluida la de la plantación forestal	>4000	Alta (A1)
La subzona hidrográfica se encuentra en superávit hídrico moderado. La disponibilidad hídrica real (DHR) es moderadamente superior en comparación con la demanda hídrica sectorial total incluida la de la plantación forestal.	0-4000	Media (A2)
La subzona hidrográfica se encuentra en déficit hídrico, o la disponibilidad hídrica real (DHR) es menor o ligeramente superior en comparación con la demanda hídrica sectorial total incluida la de la plantación forestal.	<0	Baja (A3)

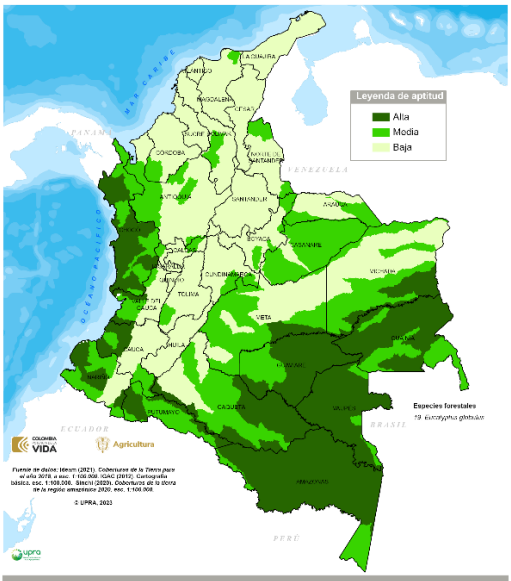
Unidad de análisis

Subzonas hidrográficas.

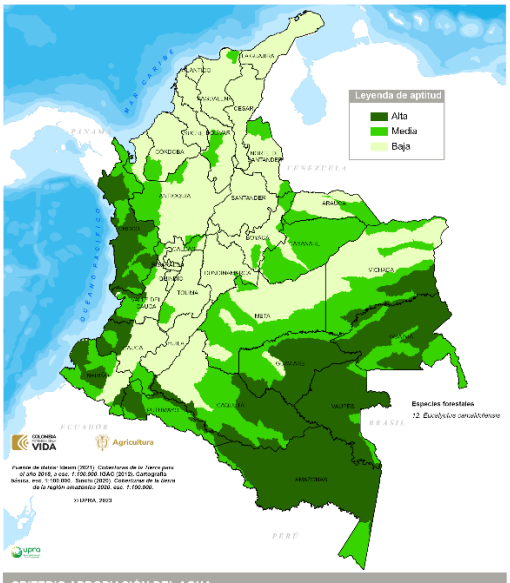
Representación cartográfica de la variable



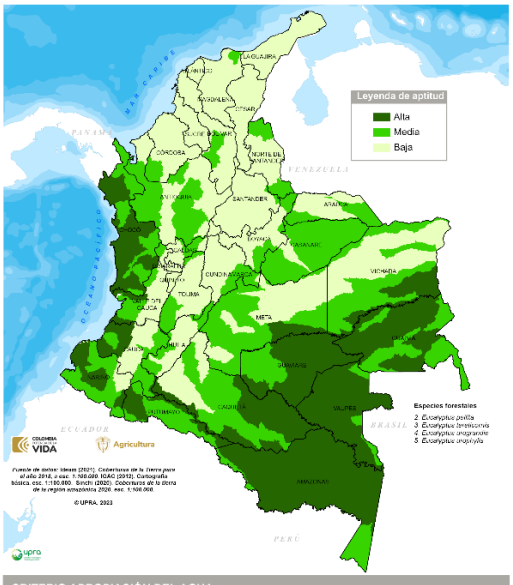
CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA
Variable diferencia de uso del agua



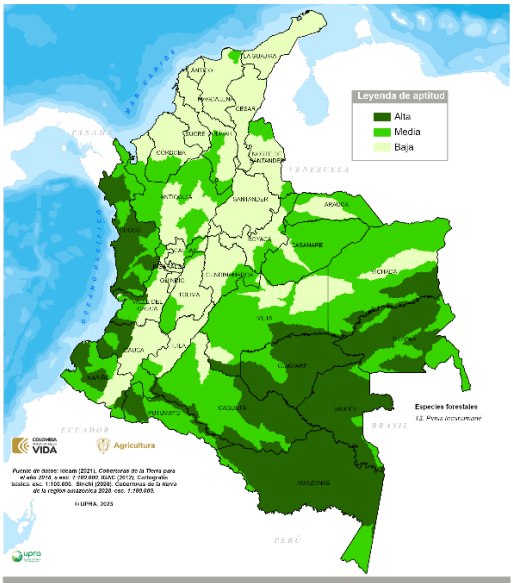
CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA
Variable diferencia de uso del agua



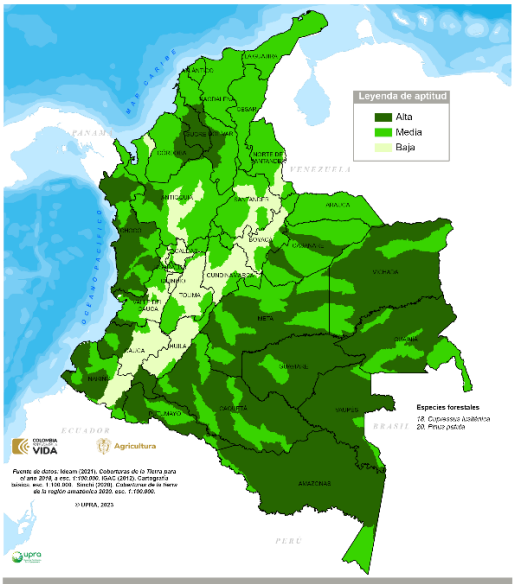
CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA
Variable diferencia de uso del agua



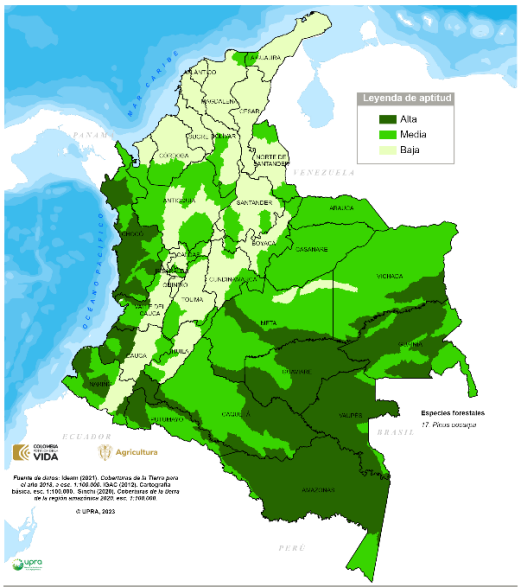
CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA
Variable diferencia de uso del agua



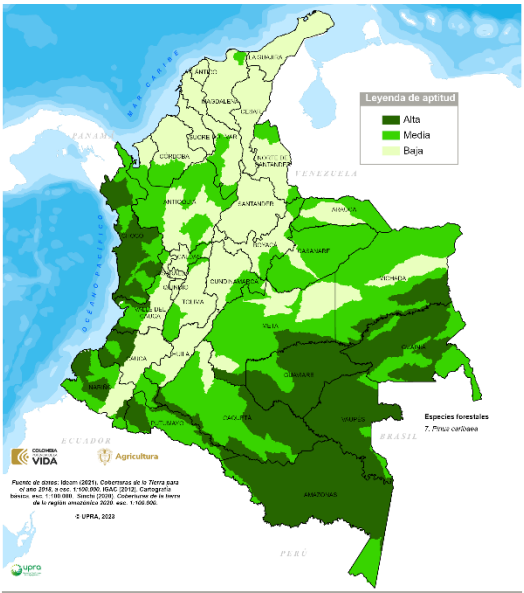
CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA
Variable diferencia de uso del agua



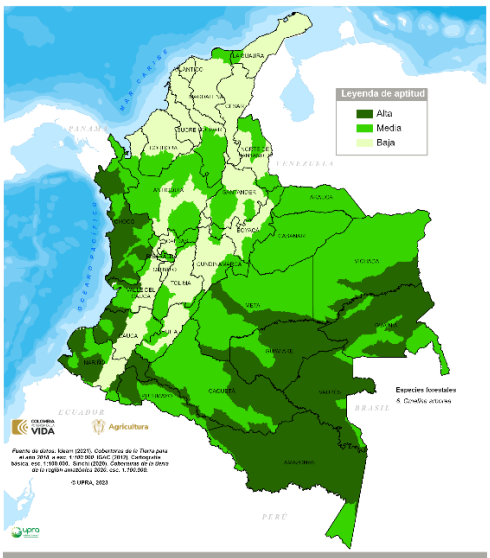
CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA
Variable diferencia de uso del agua



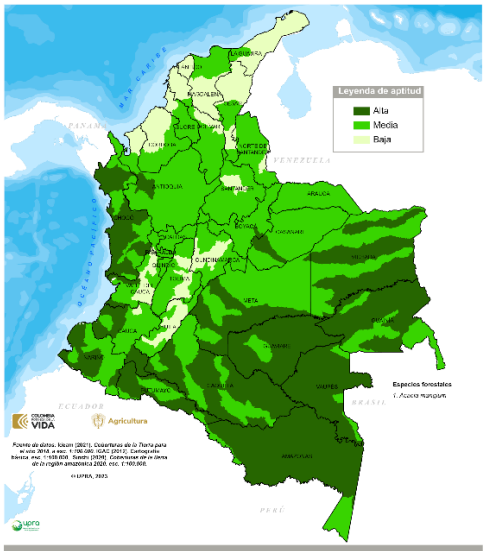
CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA
Variable diferencia de uso del agua



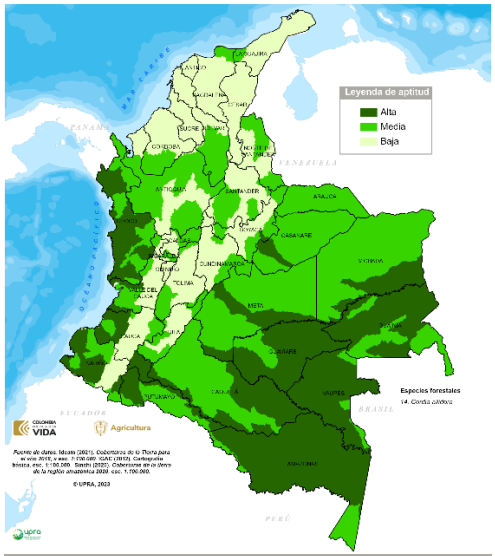
CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA
Variable diferencia de uso del agua



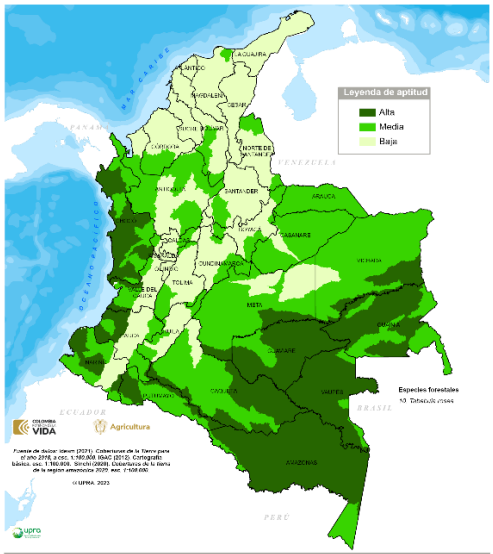
CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA
Variable diferencia de uso del agua



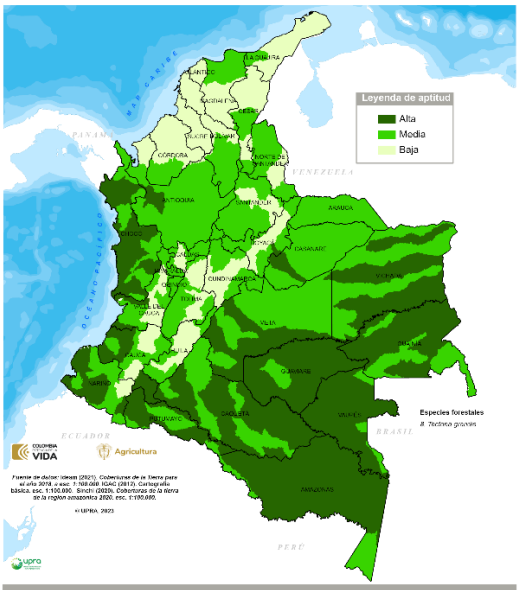
CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA
Variable diferencia de uso del agua



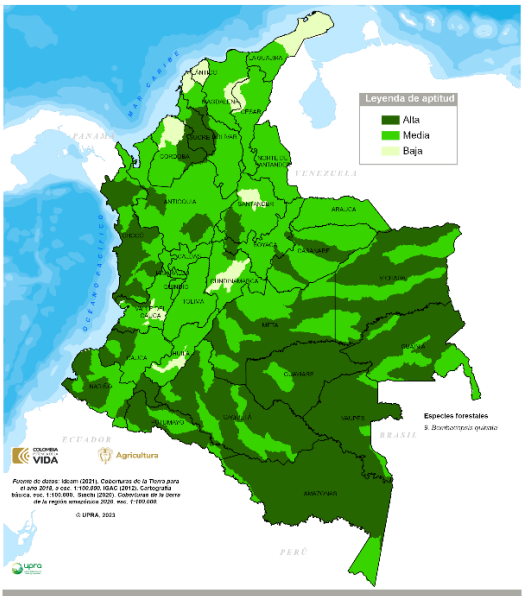
CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA
Variable diferencia de uso del agua



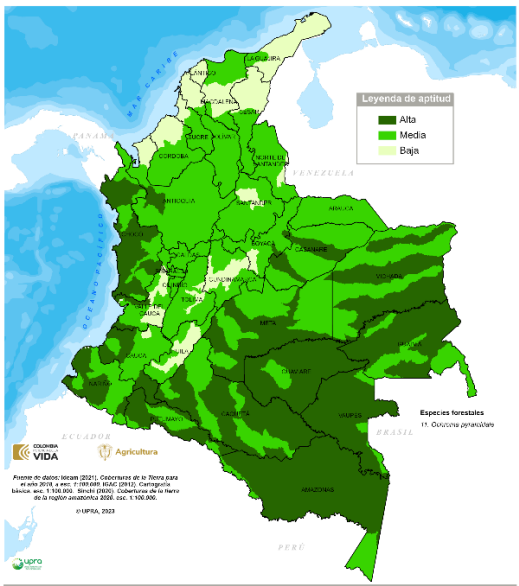
CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA
Variable diferencia de uso del agua



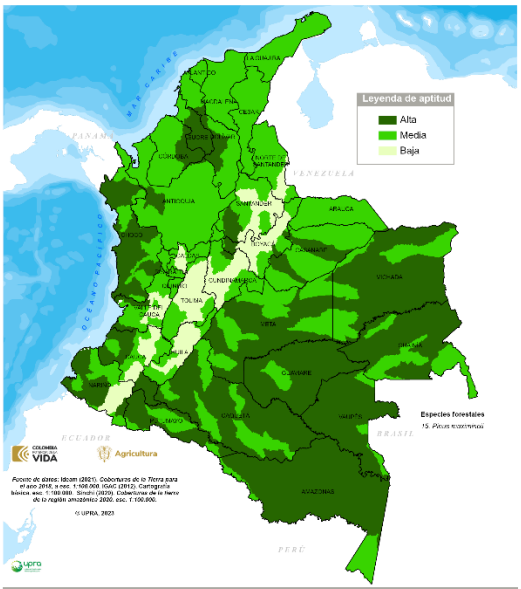
CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA
Variable diferencia de uso del agua



CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA
Variable diferencia de uso del agua



CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA
Variable diferencia de uso del agua



CRITERIO APROPIACIÓN DEL AGUA
Variable diferencia de uso del agua

Fuentes de información

Bravo, N.I., Osorio, L.F., Bravo, F. Martínez, E. (2019). *Survival, growth and photosynthesis analysis of native forest species established in the tropical dry forest in Antioquia, Colombia*. Rev Fac Nac Agron Medellín 72(1): 8751-8761. DOI: https://doi.org/10.15446/rfnam.v72n1.69575

Camacho, L.D., Tolentino, E.L., Rebugio, L.L. & Camacho., S.C. (2007*). Economics of using water use efficient forest landscape restoration tree species. For Sci Technol 3*(2), 101-107. DOI: https://doi.org/10.1080/21580103.2007.9656325

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2019). *Estudio nacional del agua 2018*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). https://n9.cl/jtozxg

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Kuglitsch, F.G., Reichstein, M., Beer, C., Carrara, A., Ceulemans, R., Granier, A., Janssens, I.A., Koestner, B., Lindroth, A., Loustau, D., Matteucci, G., Montagnani, L., Moors, E.J., Papale, D., Pilegaard, K., Rambal, S., Rebmann, C., Schulze, E.D., Seufert, G., Verbeeck, H., Vesala, T., Aubinet, M., Bernhofer, C., Foken, T., Grünwald, T., Heinesch, B., Kutsch, W., Laurila, T., Longdoz, B., Miglietta, F., Sanz, M. J., & Valentini, R. (2008). *Characterisation of ecosystem water-use efficiency of European forests from eddy covariance measurements. Biogeosciences Discuss, 5*, 4481–4519. DOI: https://doi.org/10.5194/bgd-5-4481-2008

León, T. y Suárez, A. (1998). *Efectos de plantaciones forestales sobre suelo y agua*. Serie Técnica n.º 4. Corporación Nacional de Investigación y Fomento Forestal (CONIF).

Sohel, S. (2022). *Systematic review and meta-analysis reveals functional traits and climate are good predictors of tropical tree water use. Trees For People* 8(2022), 1-21. https://doi.org/10.1016/j.tfp.2022.100226

2.3. Criterio *variación del contenido estimado de carbono*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioecosistémico		
Criterio: *variación del contenido estimado de carbono*		
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Variables asociadas al criterio

El criterio no presenta variables. Se basa en la variación del contenido estimado de carbono en la biomasa.

Definición

Estimación del contenido de carbono calculado como balance resultante entre emisiones de dióxido de carbono y la captura de carbono, que se generarían por el desarrollo de plantaciones forestales en zonas con aptitud para implementarse en el país. Con base en esto, uno de los ejes de atención corresponde a los efectos ambientales de las actividades agropecuarias sobre la dinámica de captura y emisión de carbono. El criterio se asocia a los efectos ambientales de las actividades agropecuarias sobre la dinámica de captura y emisión de carbono, por lo que se fundamenta en la estimación del contenido de carbono calculado como el balance resultante entre captura y emisiones de dióxido de carbono que se generarían por el desarrollo de plantaciones forestales en zonas con aptitud potencial para la implementación en el país.

Importancia del criterio

Permite determinar la sostenibilidad ambiental de un territorio en términos de la prestación del servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono. Además, la estimación posibilita incorporar elementos de competitividad ambiental y económica, pues se puede articular a los esfuerzos nacionales e internacionales de reducción de gases de efecto invernadero que pretenden disminuir la huella de carbono. Con base en lo anterior, uno de los ejes de atención corresponde a los efectos ambientales de las actividades agropecuarias sobre la dinámica de captura y emisión de carbono.

Limitantes de la evaluación del criterio

En concordancia con las metodologías empleadas, la estimación del contenido de carbono en las coberturas a partir de la productividad primaria neta se realizó mediante imágenes MODIS, las cuales presentaron como mayor limitante la resolución espacial y la temporalidad.

Metodología de evaluación

El modelo utilizado de estimación del contenido de carbono se fundamentó en lo planteado por Bolaños *et al.* (2017), quienes consideran que el carbono en los ecosistemas se distribuye en la biomasa viva por encima del suelo (biomasa aérea); biomasa viva por debajo del suelo (biomasa subterránea); y la madera muerta sobre el suelo, mantillo y carbono orgánico del suelo (IPCC 2006).

Contenido de carbono en la biomasa vegetal aérea. La estimación de la biomasa vegetal aérea (BA) se realizó a partir de la siguiente ecuación, propuesta por Páramo (2011):

$$\text{Biomasa} = 11{,}2693 + 9{,}255\ (X)$$

donde *X* corresponde a la inversa de la banda 7 de imágenes MODIS (producto MOD13Q1 v006), definida por el rango del espectro electromagnético de infrarrojo de onda corta (SWIR).

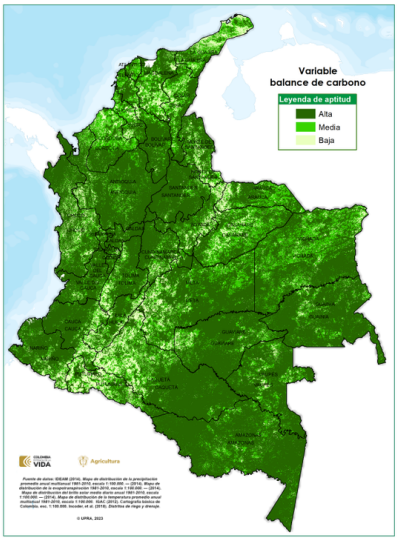
Contenido de carbono en la biomasa vegetal subterránea. La estimación de la biomasa subterránea se efectúa de acuerdo con los fundamentos planteados por Cairns *et al.* (1997) y Brown y Lugo (1992), según la siguiente ecuación:

$$\text{Biomasa vegetal subterránea} = e\ (-1{,}085 + 0{,}925\ x\ \ln\ (\text{BA}))$$

Para el mapa de biomasa subterránea, se calculó el mapa de carbono en biomasa subterránea de acuerdo con el IPCC (2006) mediante la siguiente ecuación:

$$C\ (\text{biomasa subterránea}) = \text{biomasa subterránea}/2$$

Contenido de carbono en la biomasa. Posteriormente, mediante la suma de los mapas de carbono en biomasa aérea y de carbono en biomasa subterránea, se calculó el mapa de carbono total contenido en la biomasa.



Contenido de carbono en el suelo. El contenido de carbono en el suelo se estimó mediante álgebra de mapas a partir de la información suministrada por el ISRIC (Soil World Information, 2015) relacionada con las capas de porcentaje de carbono orgánico en el suelo, densidad aparente y porcentaje de fragmentos de más de dos milímetros (*organic carbon*, *bulk density*, *coarse fragments* > 2 mm) a 30 centímetros de profundidad, aplicando la siguiente ecuación, propuesta por Gardi *et al*., (2014):

Carbono orgánico suelo = % carbono orgánico × densidad aparente × profundidad (0,3 m) × (1 – % fragmentos gruesos)

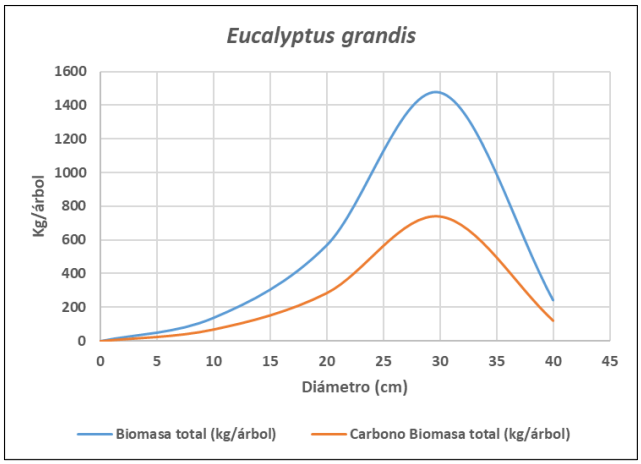
Contenido de carbono total. El mapa de carbono total se generó a partir de la suma de los mapas de biomasa vegetal subterránea y carbono orgánico en el suelo.

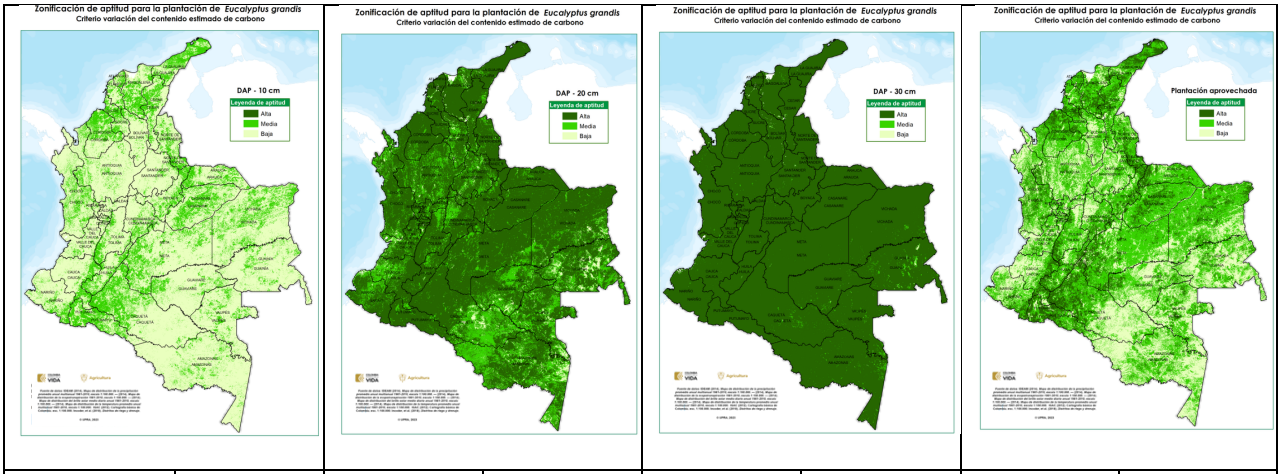
Calificación de la aptitud por la variación del contenido estimado de carbono. Con el fin de realizar el balance de carbono, se estimó la biomasa de cada plantación para cuatro periodos de crecimiento aplicando las ecuaciones alométricas para diámetros a la altura del pecho (DAP) de 10, 20 y 30 centímetros posterior al aprovechamiento. Se llevó a cabo la calificación de la aptitud mediante la comparación del valor estimado de carbono (valor del píxel o de la unidad de análisis espacial) con el valor de referencia estimado de carbono capturado por la plantación de la especie forestal para cada periodo de crecimiento, con el fin de obtener el mapa de diferencia en carbono total frente al de cada especie, mediante una ecuación aplicada con álgebra de mapas, como se muestra a continuación:

$$\Delta \mathrm{CEC} = \frac{\mathrm{C_{COBERTURA}} - \mathrm{C_{Plantacion\ forestal}}}{\mathrm{C_{COBERTURA}}}$$

Posteriormente, se realizó un promedio entre el balance de cada periodo de crecimiento. De esta forma, dependiendo de la cobertura existente, establecer especies forestales plantadas puede representar una mayor cantidad de carbono promedio almacenado en comparación con la cobertura actual, en cuyo caso el reemplazo representa una ganancia en términos de la captura (t de carbono/ha año). En otras circunstancias de cobertura actual, el reemplazo puede representar una cantidad capturada semejante o significar una menor cantidad de carbono, en cuyo caso se constituye una pérdida en la acumulación neta por modificación de la cobertura, lo cual se traduce en emisiones de carbono a la atmósfera en forma de dióxido de carbono. En la siguiente gráfica se presenta el balance de carbono para los periodos de crecimiento de DAP de 10, 20 y 30 centímetros posterior al aprovechamiento.

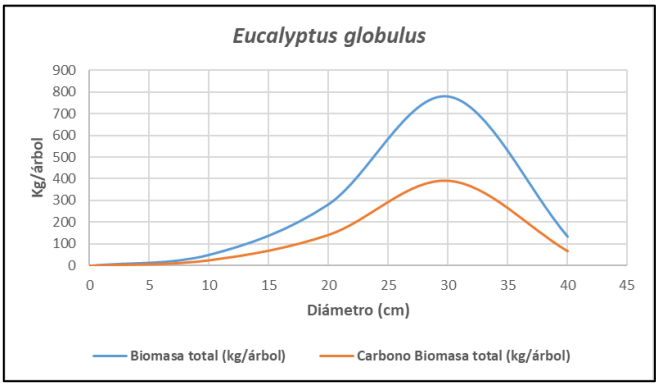
Modelo alométrico de Ospina *et al.* (2006)

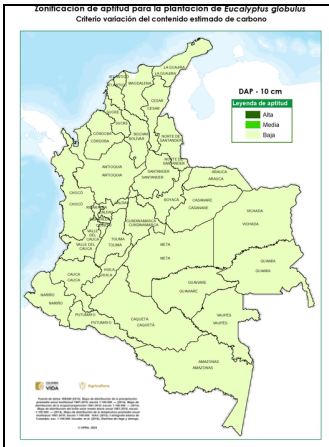


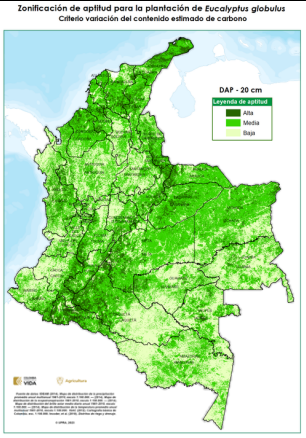


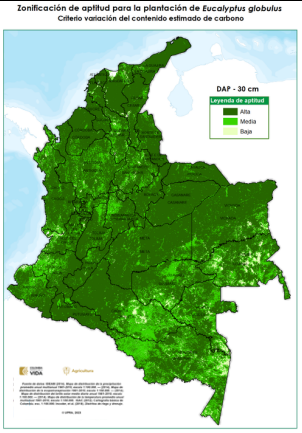
Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)
138,42	69,21	568,54	284,27	1476,03	738,01	244,10	122,05

Modelo aloméetrico de González (2011)



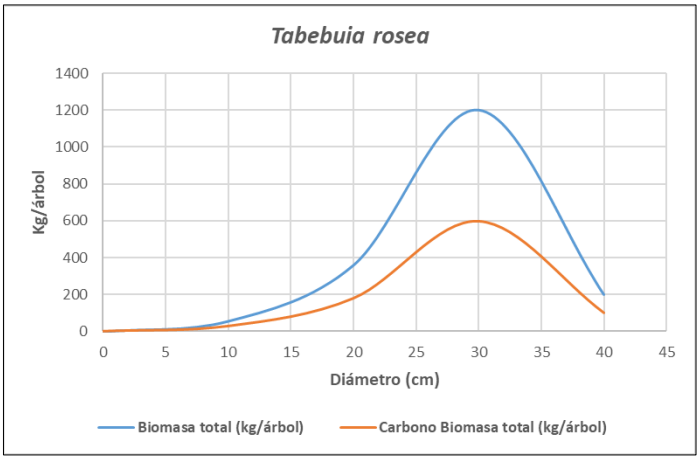


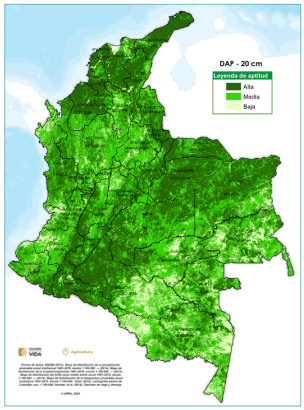
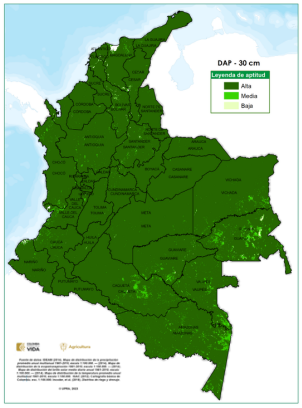
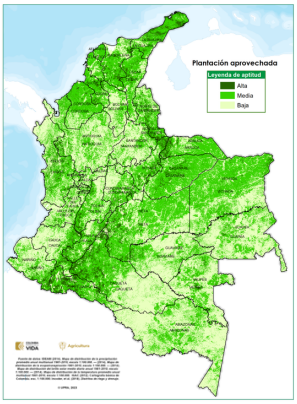




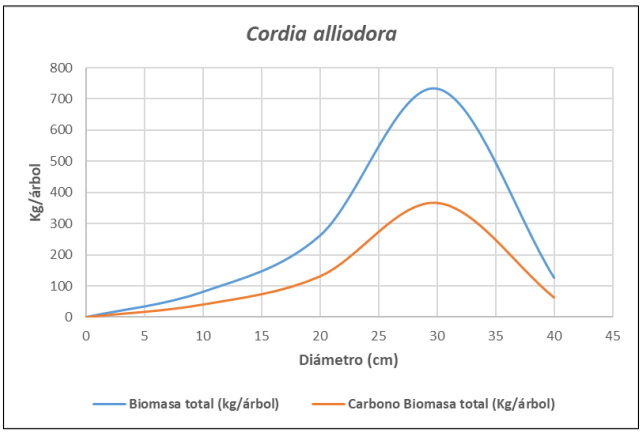
Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)
50,39	25,19	283,76	141,88	780,77	390,39	134,42	67,21

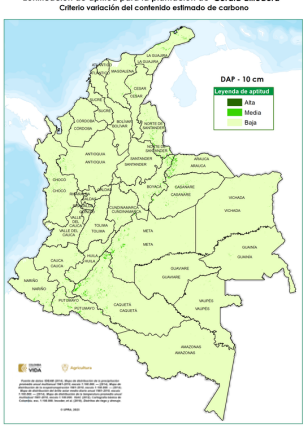
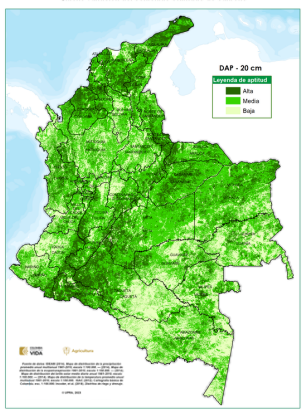
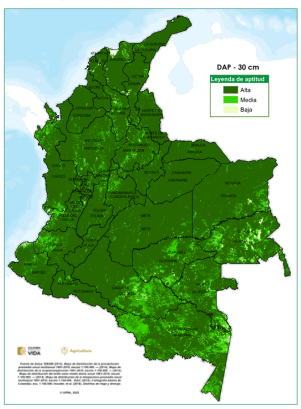
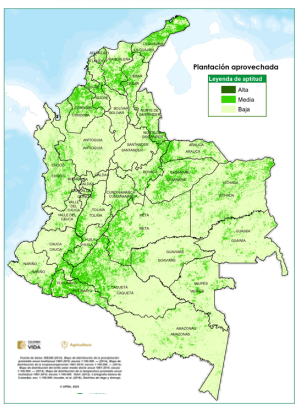
Modelo alométrico de Ospina *et al.* (2008)



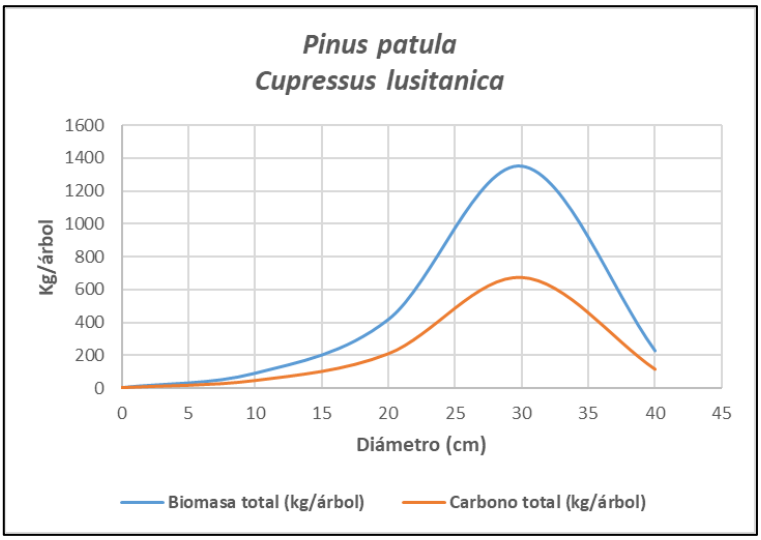
							
Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)
56,77	28,38	359,83	179,92	1199,59	599,79	20,01	100,50

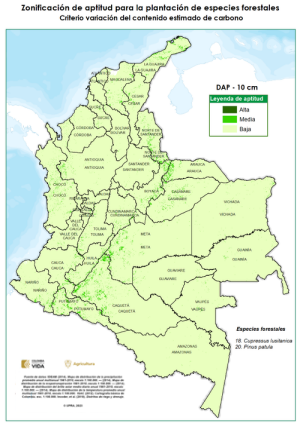
Modelo alométrico de Ospina *et al.* (2010)

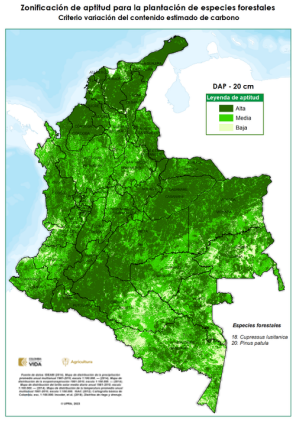


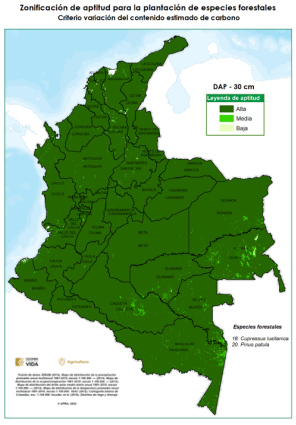
							
Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)
81,25	40,62	261,34	130,67	732,63	366,32	126,64	63,32

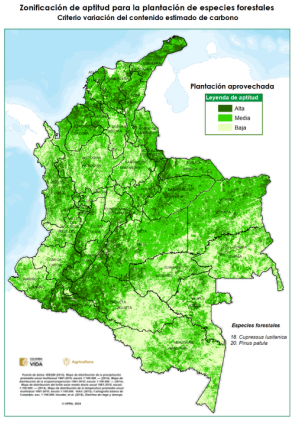
Modelo alométrico de Ospina *et al.* (2011)





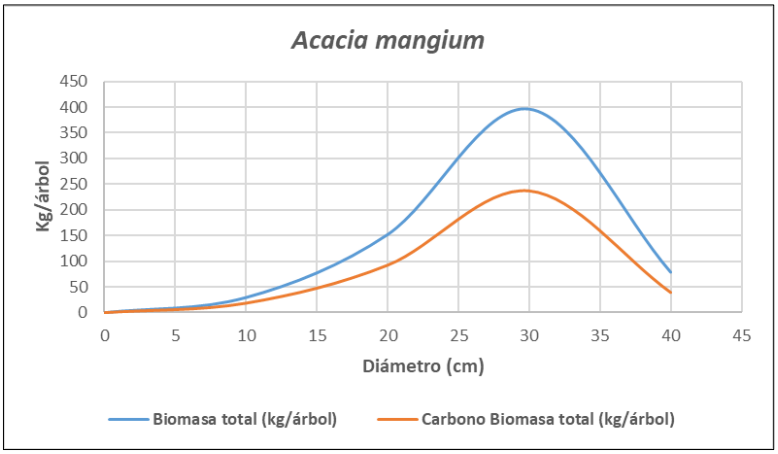


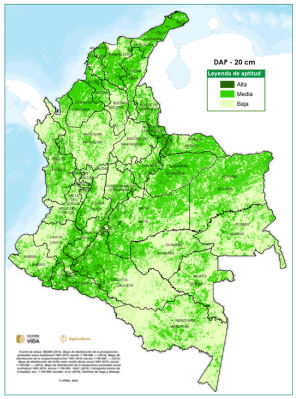


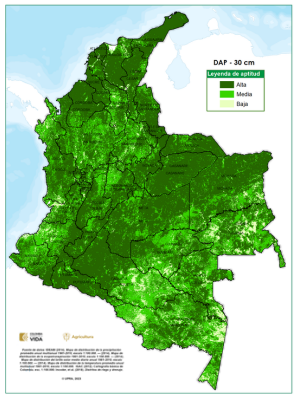


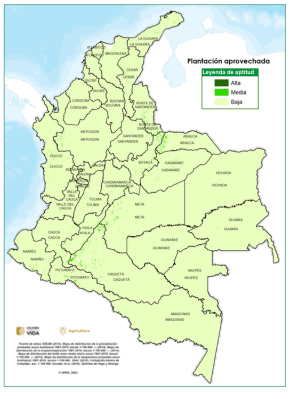
Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)
87,68	43,84	415,32	207,66	1349,75	674,88	224,49	112,24

Modelo alométrico de Giraldo *et al.* (2006)



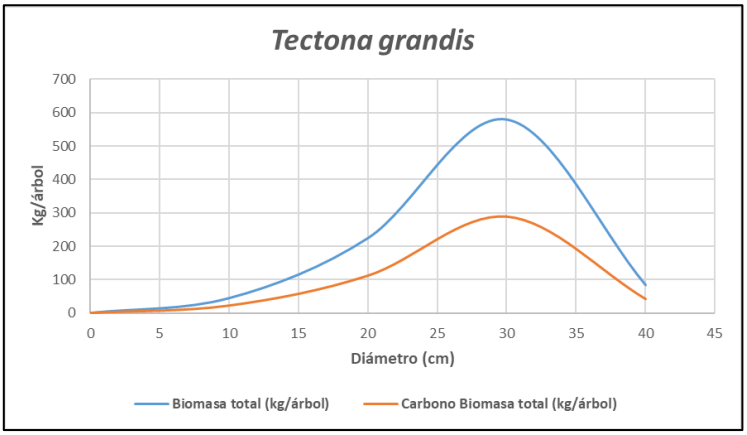


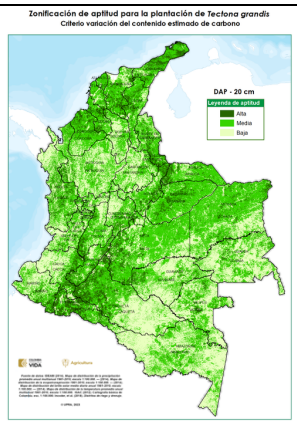
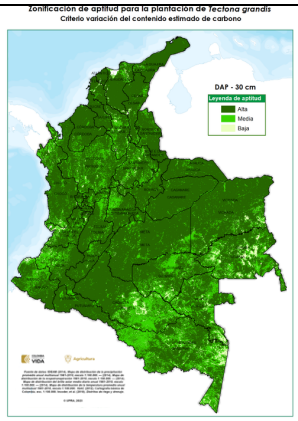
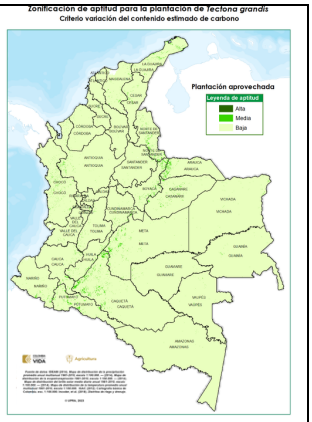




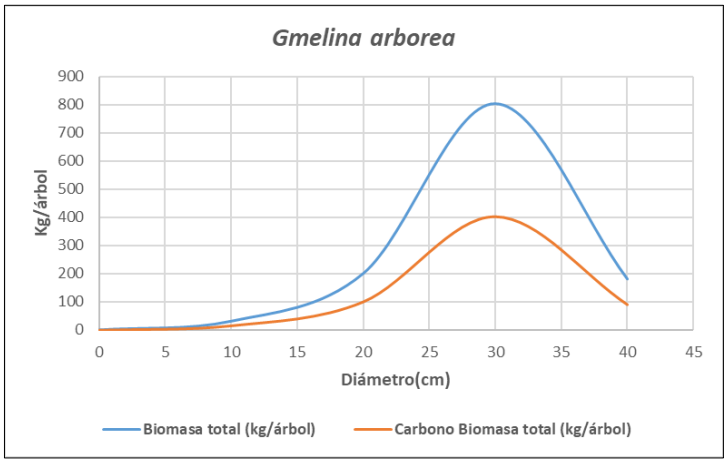
Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)
29,51	18,57	151,88	92,57	396,01	237,38	78,76	39,38

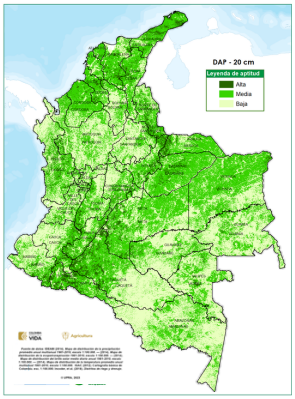
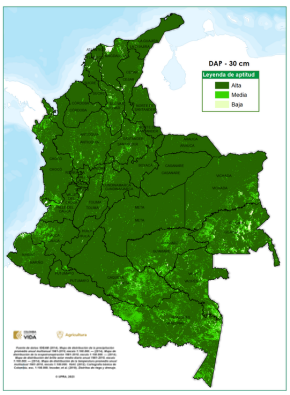
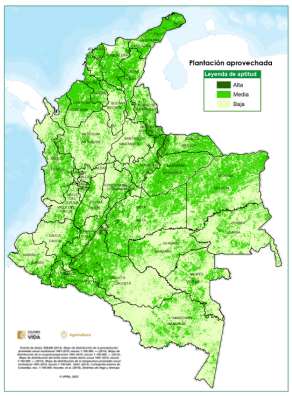
Modelo alométrico de Pérez y Kanninen (2003)



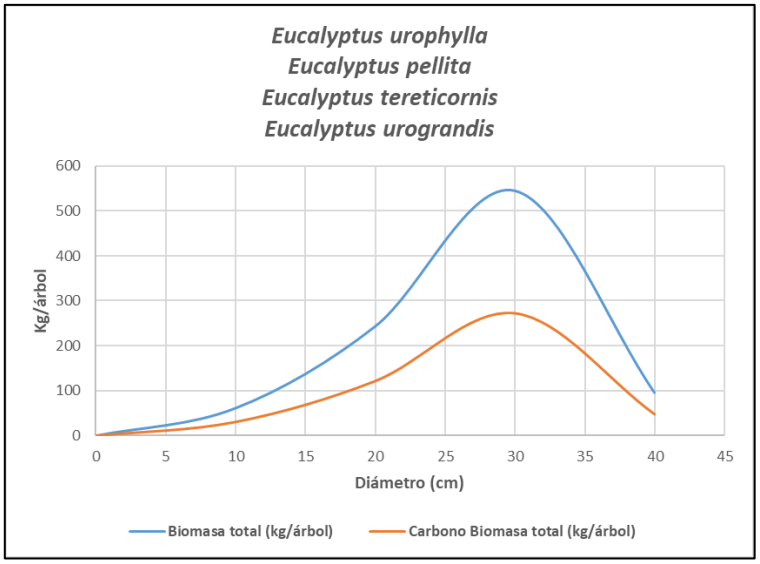
							
Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)
44,59	22,29	224,61	11,31	579,64	289,82	83,56	41,78

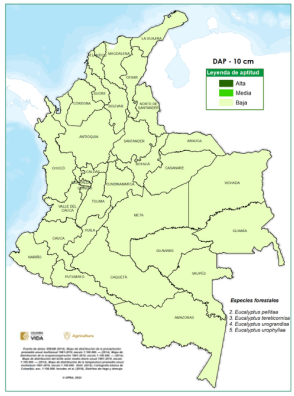
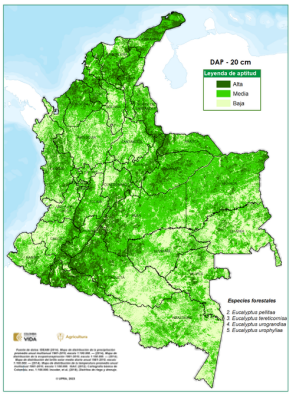
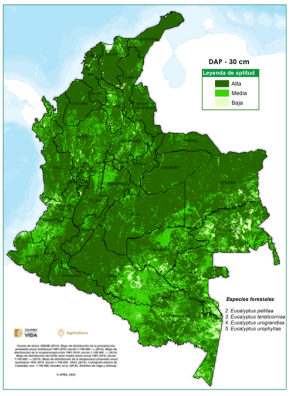
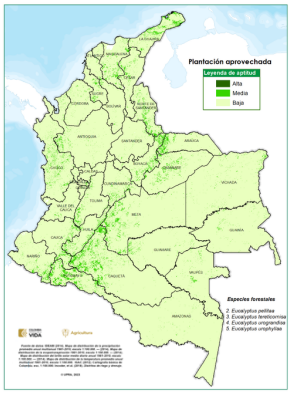
Modelo alométrico de Fonseca *et al.* (2021)



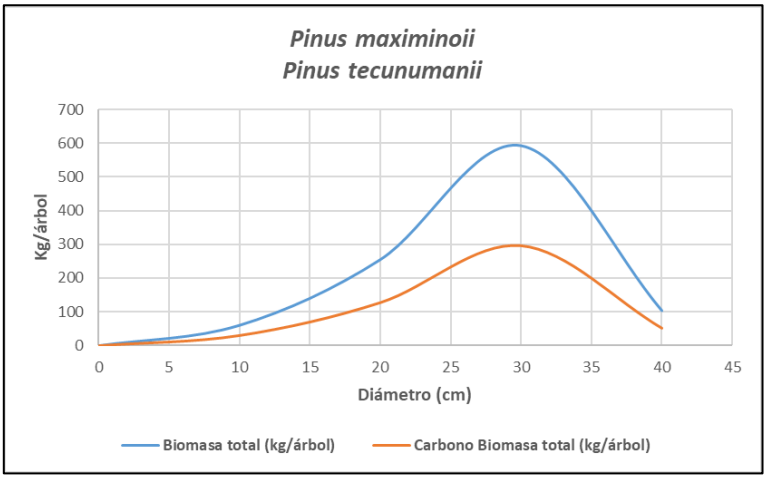
							
Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)
30,93	15,47	199,89	99,95	802,55	401,28	180,44	90,22

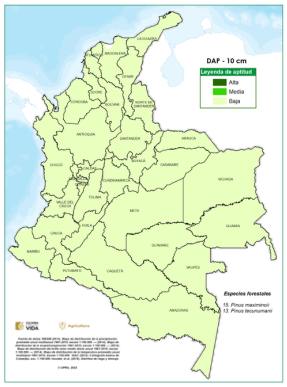
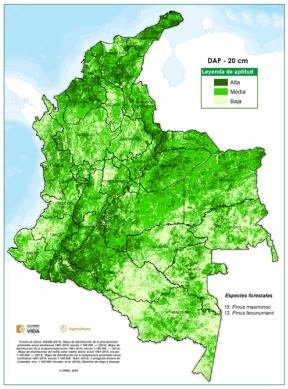
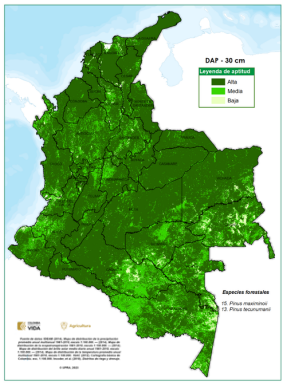
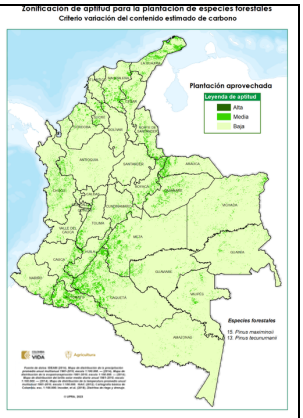
Modelo alométrico de Sadono *et al.* (2021)



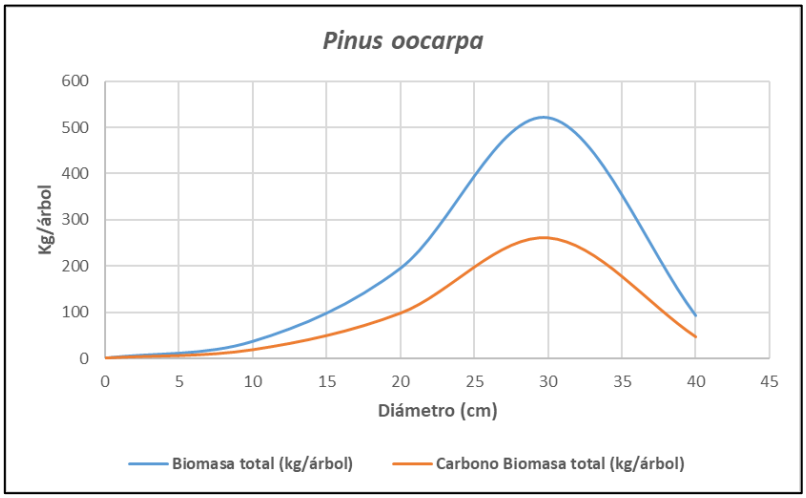
							
Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)
61,32	30,66	243,03	121,51	544,32	272,16	95,86	47,93

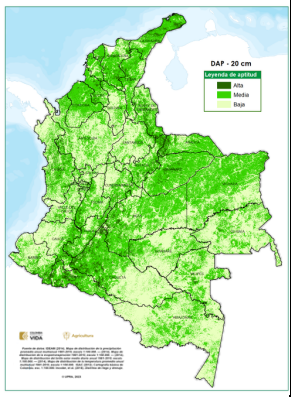
Modelo alométrico de González (2008)

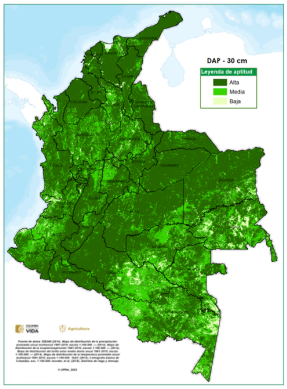


							
Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)
60,49	30,25	255,05	127,52	592,29	296,15	103,76	51,88

Modelo alométrico de Navarro-Martínez *et al.* (2020)

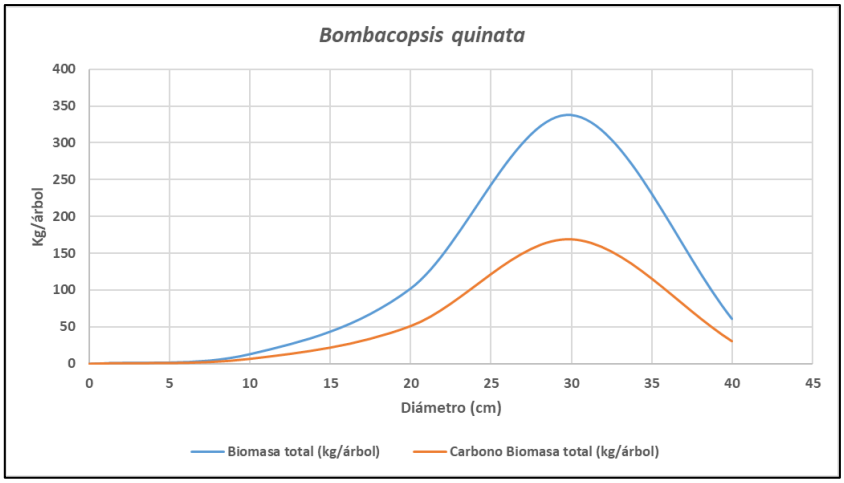


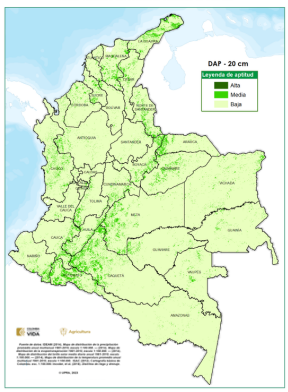
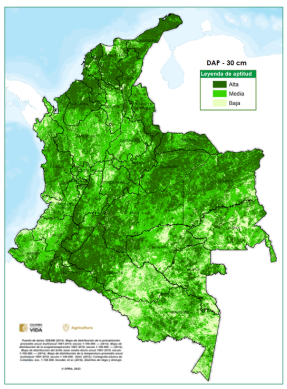
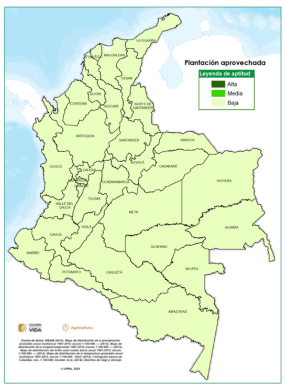




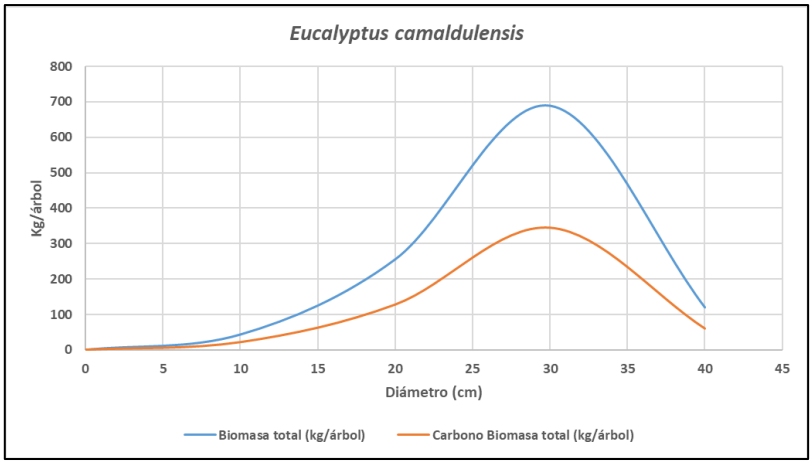
Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)
36,6	18,18	194,95	97,47	521,19	260,59	92,04	46,02

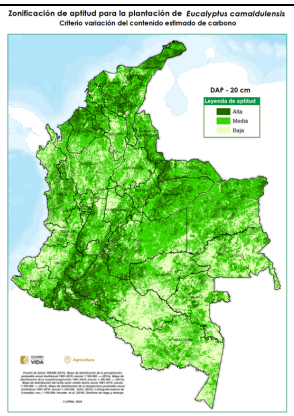
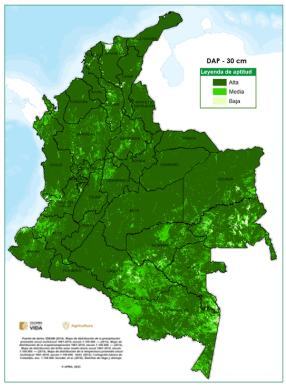
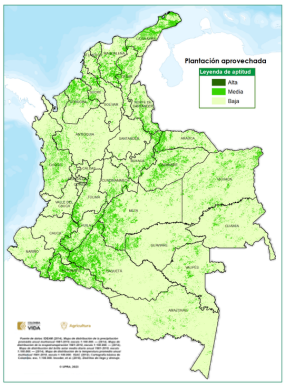
Modelo alométrico de Pérez y Kanninen (2002)



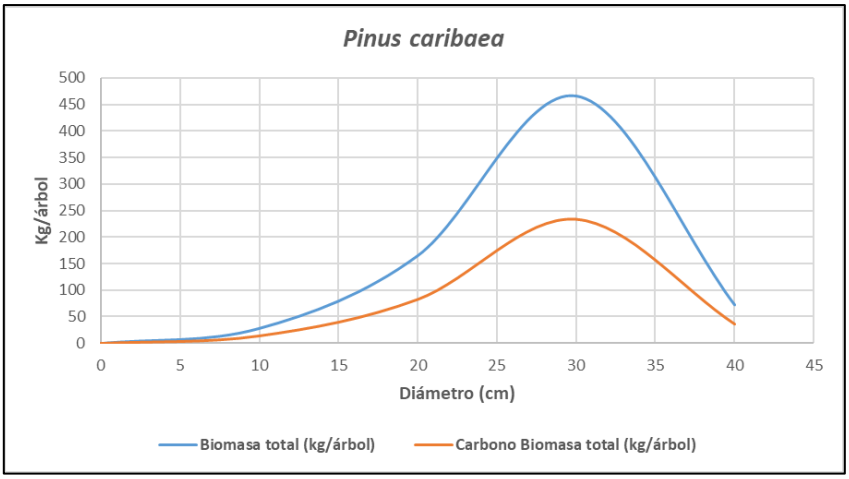
							
Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)
13,23	6,61	101,95	50,97	337,27	168,63	61,19	30,59

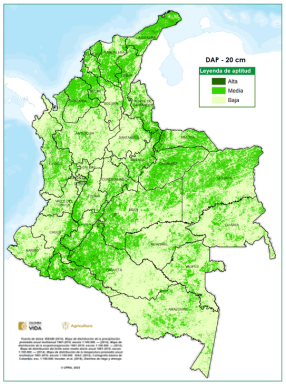
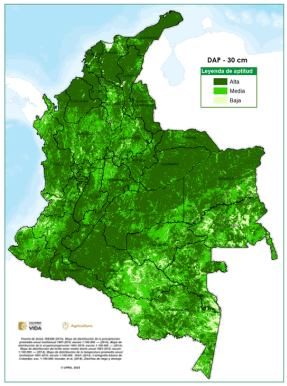
Modelo alométrico de Wongchai *et al.* (2020)



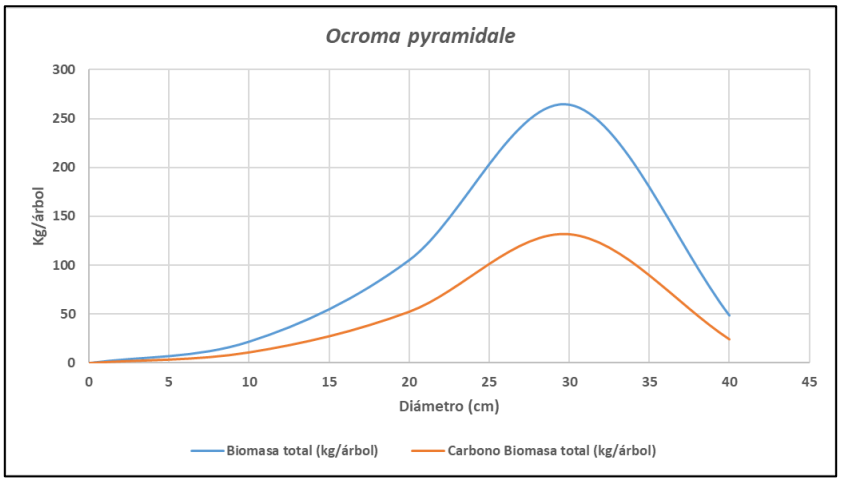
							
Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)
43,19	21,59	255,21	127,61	688,49	344,24	119,47	59,74

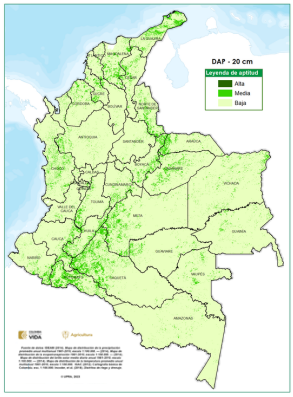
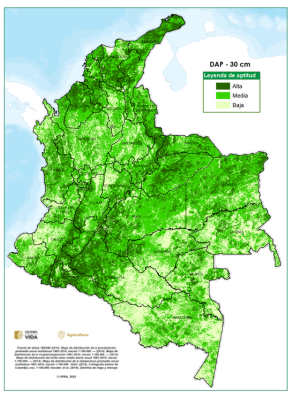
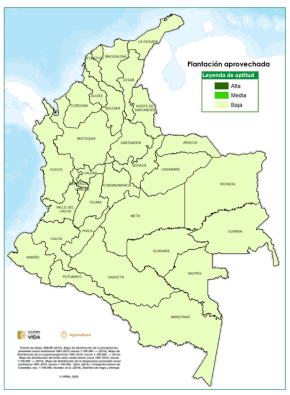
Modelo alométrico de Kadeba (1989)



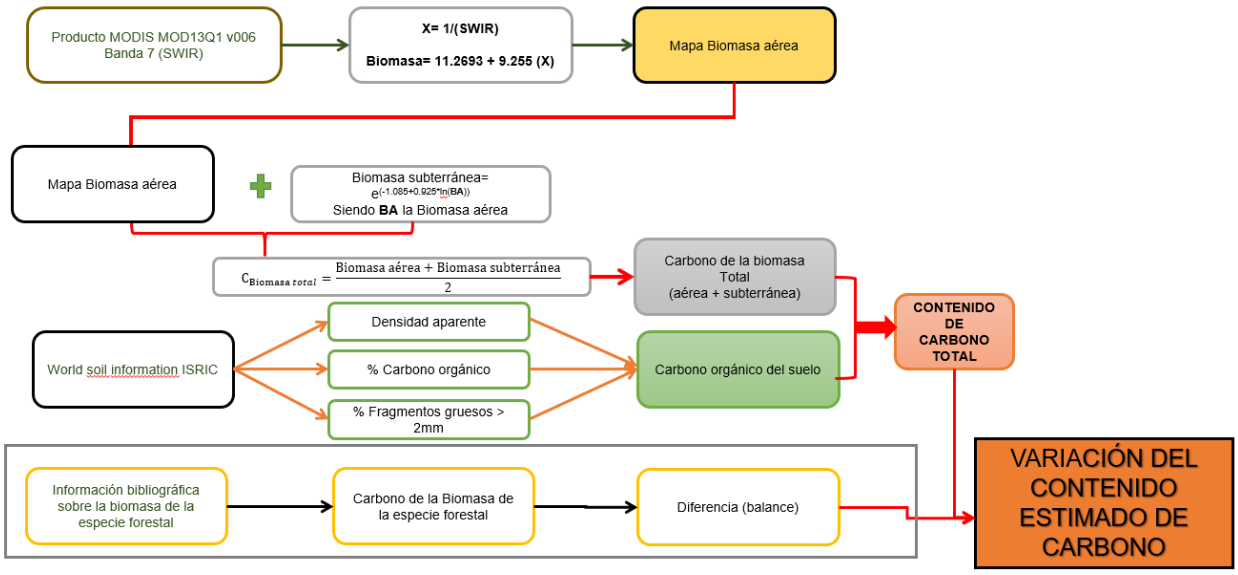
							
Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)
28,17	14,08	165,26	82,63	466,45	233,22	72,63	36,32

Modelo alométrico de Douterlungne *et al.* (2013)



							
Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)	Biomasa (kg/árbol)	C Biomasa (kg/árbol)
21,92	10,96	105,33	52,66	264,11	132,07	48,66	24,33

A continuación, en la siguiente figura, se presenta un diagrama de flujo que resume la metodología:



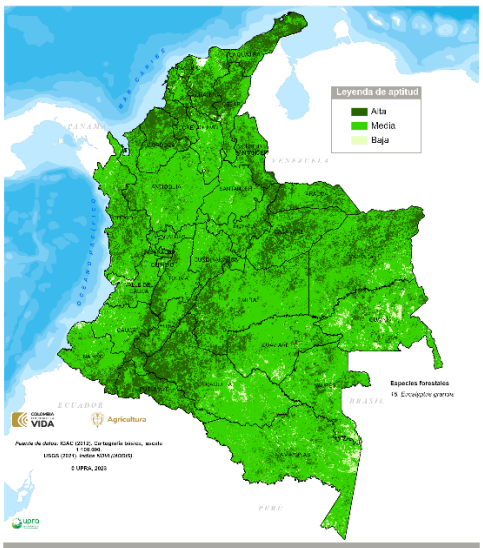
Los valores obtenidos en estos mapas se reclasificaron según los rangos de aptitud propuestos en la presente metodología de zonificación de aptitud.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

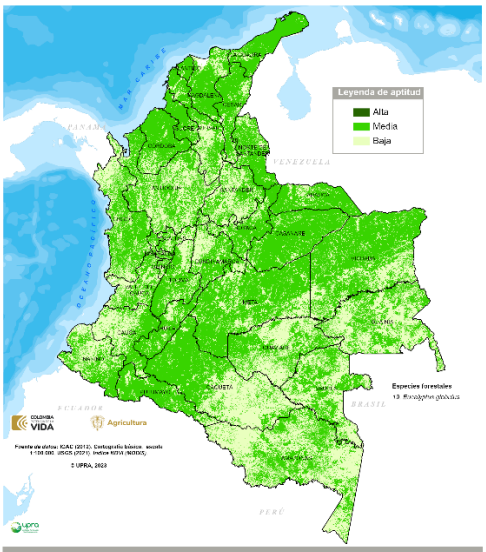
La calificación de la aptitud para las plantaciones de las veinte especies forestales, desde el punto de vista de este criterio, se estableció siguiendo los siguientes preceptos:

Descripción	Balance de carbono	Aptitud
El cultivo es sumidero	>2,33	Alta (A1)
El cultivo está en equilibrio entre emisión y captura de carbono	1,66-2,33	Media (A2)
El cultivo es fuente de emisión de carbono	<1,66	Baja (A3)

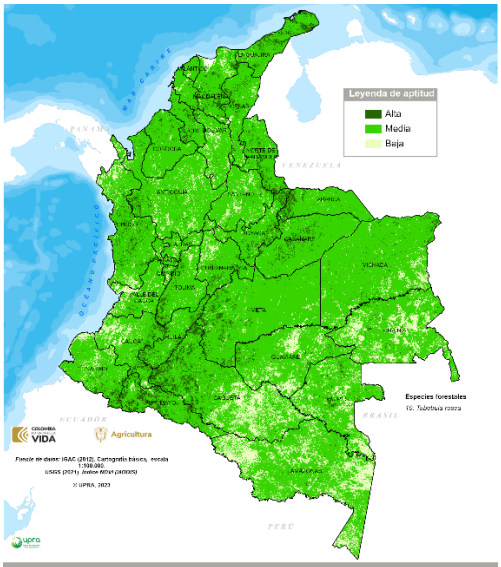
Representación cartográfica del criterio



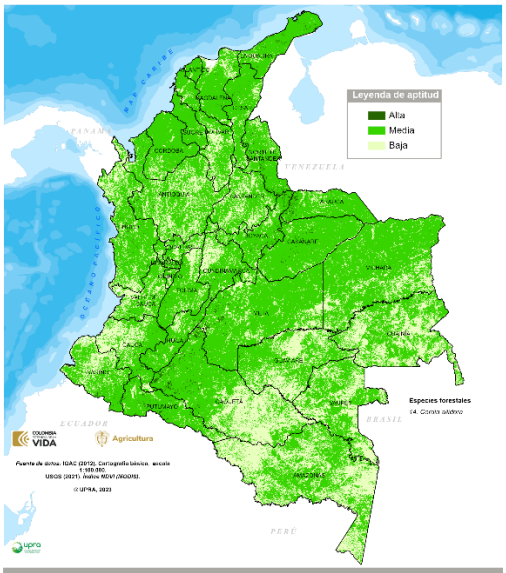
CRITERIO VARIACIÓN DEL CONTENIDO ESTIMADO DE CARBONO



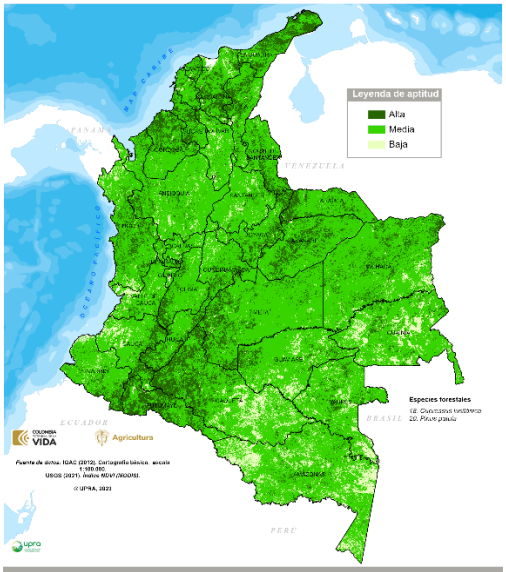
CRITERIO VARIACIÓN DEL CONTENIDO ESTIMADO DE CARBONO



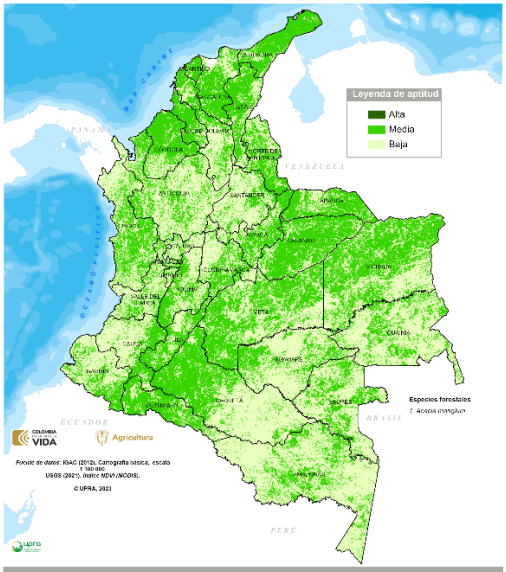
CRITERIO VARIACIÓN DEL CONTENIDO ESTIMADO DE CARBONO



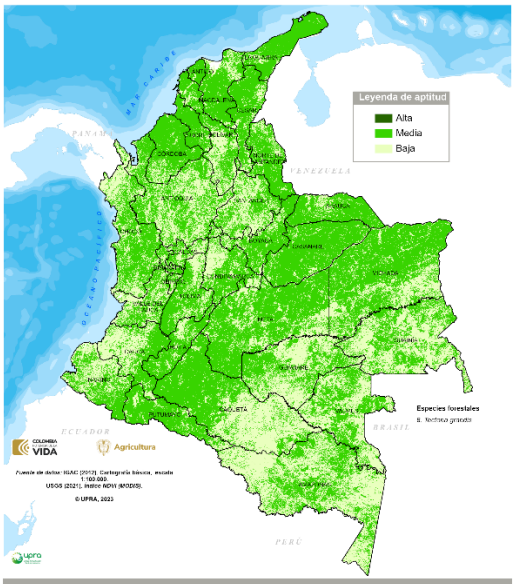
CRITERIO VARIACIÓN DEL CONTENIDO ESTIMADO DE CARBONO



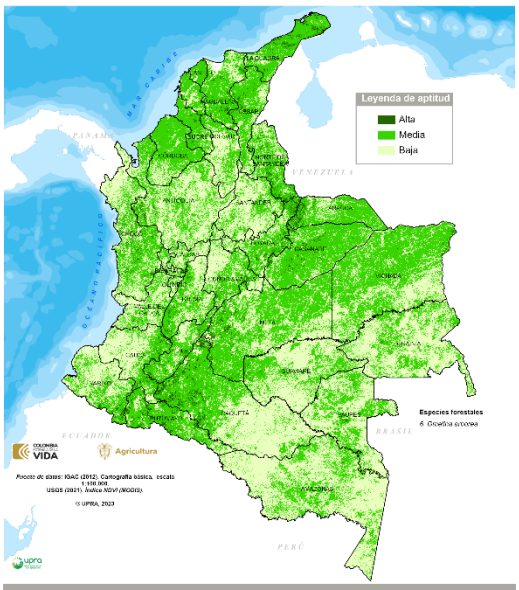
CRITERIO VARIACIÓN DEL CONTENIDO ESTIMADO DE CARBONO



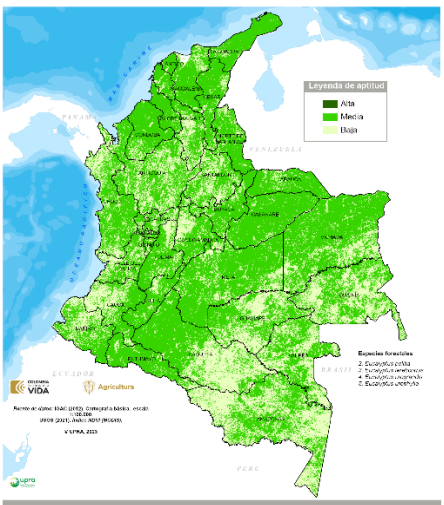
CRITERIO VARIACIÓN DEL CONTENIDO ESTIMADO DE CARBONO



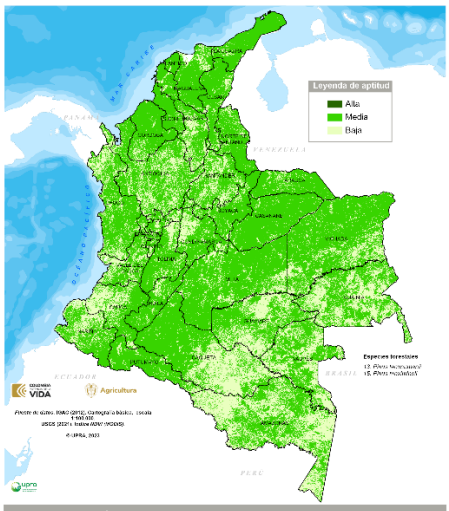
CRITERIO VARIACIÓN DEL CONTENIDO ESTIMADO DE CARBONO



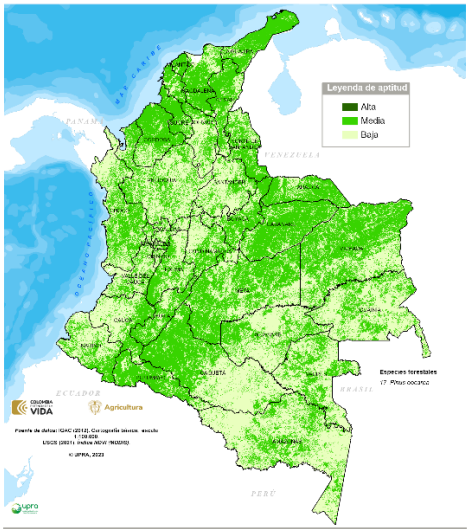
CRITERIO VARIACIÓN DEL CONTENIDO ESTIMADO DE CARBONO



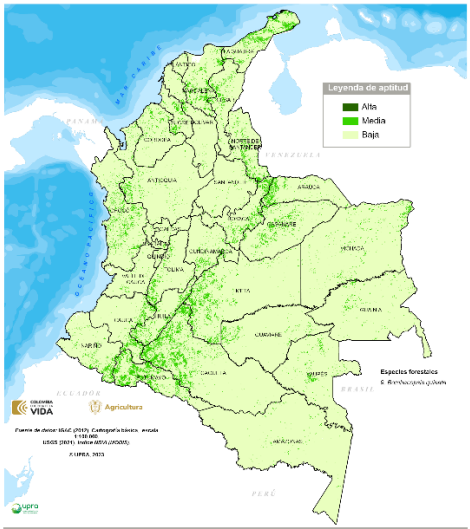
CRITERIO VARIACIÓN DEL CONTENIDO ESTIMADO DE CARBONO



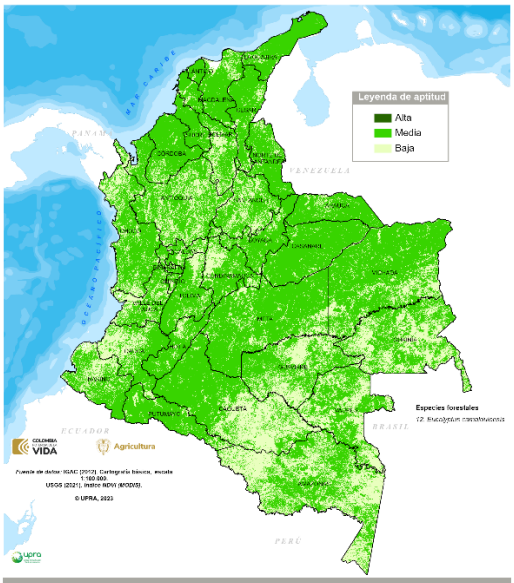
CRITERIO VARIACIÓN DEL CONTENIDO ESTIMADO DE CARBONO



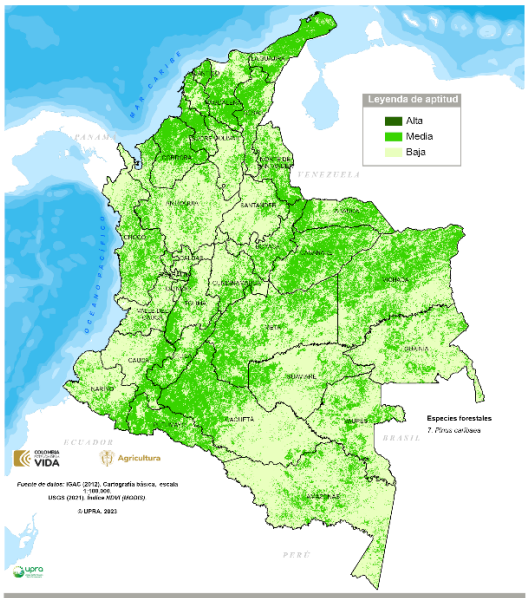
CRITERIO VARIACIÓN DEL CONTENIDO ESTIMADO DE CARBONO



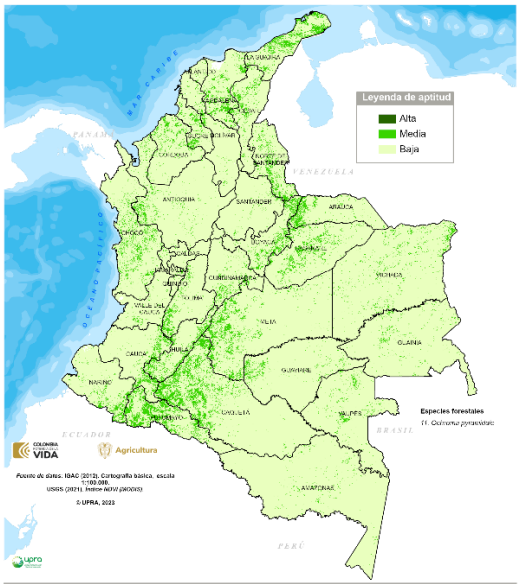
CRITERIO VARIACIÓN DEL CONTENIDO ESTIMADO DE CARBONO



CRITERIO VARIACIÓN DEL CONTENIDO ESTIMADO DE CARBONO



CRITERIO VARIACIÓN DEL CONTENIDO ESTIMADO DE CARBONO



CRITERIO VARIACIÓN DEL CONTENIDO ESTIMADO DE CARBONO

Fuentes de información

Bolaños, Y., Bolaños, Y.A., Paz, F y Ponce, J.I. (2017). Estimación de carbono almacenado en bosques de oyamel y ciprés en Texcoco, Estado de México. *Terra Latinoam, 35*(1), 73-86. https://n9.cl/gsx5h

Brown, S. y Lugo, A.E. (1992). *Above ground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon*. *Interciencia, 17*, 8-18. https://n9.cl/3lmay

Cairns, M.A., Brown, S., Helmer, E.H. & Baumgardner, G.A. (1997). *Root biomass allocation in the world's upland forests*. *Oecologia 111*, 1-11. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/s004420050201

De Klein, C., Novoa, R.S., Ogle, S., Smith, K.A., Rochette, P., Wirth, T.C. ... Rypdal, K. (2006). Emisiones de N2O de los suelos gestionados y emisiones de CO2 derivadas de la aplicación de cal y urea. En Eggleston, S., Buendía, L., Miwa, K., Ngara T. y Tanabe K. (Eds). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero volumen 4: agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra*. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. https://n9.cl/3j5i9

Douterlungne, D., Herrera-Gorocica, A.M., Ferguson, B.G., Siddique, I. y Soto-Pinto, L. (2013). Ecuaciones alometricas para estimar biomasa y carbono de cuatro especies leñosas neotropicales con potencial para la restauración. *Agrociencia, 47*(4), 385-397. https://n9.cl/1tngv

Fonseca-González, W., Murillo-Cruz, R., Ávila-Arias, C., Rojas-Vargas, M. y Spínola, R.M. (2021). Modelos de biomasa y carbono para árboles de *Gmelina arborea* en plantaciones clonales. *Ciencias Ambientales, 55*(1), 143-159. DOI: http://dx.doi.org/10.15359/rca.55-1.7

Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A., Jones, A., Krasilnikov, P., Mendonça Santos Brefin, M.L., Montanarella, L., Muñiz Ugarte, O., Schad, P., Vara Rodríguez, M.I., Vargas. (2014). *Atlas de suelos de América Latina y el Caribe*. Comisión Europea, Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. https://n9.cl/rjz77

Giraldo, L.A., Zapata, M. y Montoya, E. (2006). Estimación de la captura y flujo de carbono en silvopastoreo de la *Acacia mangium* asociada con *Brachiaria dyctioneura* en Colombia. *Pastos y Forrajes*, 29(4), 421-435. https://n9.cl/cc08rg

González, M.M. (2011). *Capacidad de captura de carbono en los distintos sistemas de uso de la tierra en el campo experimental de Tulumayo – Leoncio Prado* (monografía de pregrado). Universidad Nacional Agraria de la Selva, Facultad de Recursos Naturales Renovables. https://n9.cl/fwdgyg

González, M. (2008). *Estimación de la biomasa aérea y la captura de carbono en regeneración natural del* Pinus maximinoi *H. E. Moore*, Pinus oocarpa *var.* Ochoterenai *Mtz. y* Quercus *sp. en el norte del Estado de Chiapas, México* (tesis de maestría). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). https://n9.cl/rayznl

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2021). *Mapa nacional de cobertura de la tierra, imágenes 2018-2020, escala 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

International Soil Reference and Information Centre-World Soil Information (2013). *SoilGrids: an automated system for global soil mapping*. International Soil Reference and Information Centre (ISRIC)-World Soil Information.

International Soil Reference and Information Centre-World Soil Information (2013). *SoilGrids: an automated system for global soil mapping*. International Soil Reference and Information Centre (ISRIC)-World Soil Information.

Kadeba, O. (1989). Biomass equations for evenaged stands of Caribean Pine (*Pinus caribaea*) planted as an exotic in Nigeria. *J Trop For Sci, 1*(4), 346-355. https://n9.cl/whohq

Navarro-Martínez, J., Godínez-Jaimes, F., López-López, M.A., Rosas-Acevedo, J.L., Juárez-López, A.L. y Reyes-Umaña, M. (2020). *Ajuste de ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea en Pinus oocarpa y Quercus resinosa en Guerrero, México*. Madera y Bosques, 26(1), 1-12. DOI: https://doi.org/10.21829/myb.2020.2611964

Ospina, C.M., Hernández, R.J., Rodas, C.A., Urrego, J.B., Riaño, N.M., Aristizábal, F.A., Godoy, J.A. y Osorio, O.I. (2006). *Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana: el Eucalipto (*Eucalyptus grandis *W. Hill ex Maiden)*. Centro Nacional de Investigaciones de Café (CeniCafé). https://n9.cl/3mkdvf

Ospina, C.M., Hernández, R.J., Yandar, S.E., Aristizábal, F.A., Rincón, E.A., Gil, Z.N., García, J.C. y Paternina, N.M. (2008). *Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana: el guayacán rosado o roble (*Tabebuia rosea *(Bertol) DC)*. Centro Nacional de Investigaciones de Café (CeniCafé). https://n9.cl/uye79

Ospina, C.M., Hernández, R.J., Sánchez, F.A., Rincón, E.A., Ramírez, C.A., Godoy, J.A., Medina, J.A. y Obando, D. (2010). *Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana: el nogal cafetero (*Cordia alliodora Ruiz y Pavón Oken). Centro Nacional de Investigaciones de Café (CeniCafé). https://n9.cl/snb2v

Ospina, C.M., Hernández, R.J., Rincón, E.A., Sánchez, F.A., Urrego, J.B., Rodas, C.A, Ramírez, C.A. y Riaño, N.M. (2011). *Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana: el pino pátula (*Pinus patula *Deppe in Schlecht. & Cham)*. Centro Nacional de Investigaciones de Café (CeniCafé). https://n9.cl/afhj4

Páramo-Rocha, G.E. (2011). *Susceptibilidad de las coberturas vegetales de Colombia al fuego.* En Parra, A.C. (Ed). *Incendios de la cobertura vegetal en Colombia.* Tomo I (pp. 73-144). Universidad Autónoma de Occidente, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Red Colombiana de Formación Ambiental. https://n9.cl/sb0yr

Pérez, L.D. & Kanninen, M. (2003). Aboveground biomass of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. *J Trop For Sci, 15*(1), 199-213. http://www.jstor.org/stable/23616336

Pérez, L.D. & Kanninen, M. (2002). *Wood specific gravity and aboveground biomass of Bombacopsis quinata plantations in Costa Rica*. For Ecol Manag 165(1-3), 1-9. DOI: https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00627-2

Sadono, R., Wardhana, W., Wirabuana, P.Y. & Idris, F. (2021). Allometric equations for estimating aboveground biomass of *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake in East Nusa Tenggara. *J Manaj Hutan Tropik, 27*(1), 24-31. DOI: https://doi.org/10.7226/jtfm.27.1.24

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (2016). Cultivo comercial de papa: identificación de zonas aptas en Colombia a escala 1:100.000. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

Wongchai, W., Promwungkwa, A. & Insuan, W. (2020). Above-ground biomass allometric equation and dynamics accumulation of Eucalyptus camaldulensis and Acacia hybrid plantations in Northern Thailand. *Int J Renew Energy Res, 10*(4), 1664-1673. DOI: https://doi.org/10.20508/ijrer.v10i4.11358.g8051

2.4. Criterio *cambio de cobertura*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioecosistémico		
Criterio: *cambio de cobertura*		
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	✓
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Variables asociadas al criterio

Cambio de cobertura de la tierra, expresado como categoría de favorabilidad del cambio de cobertura para el establecimiento de plantaciones forestales.

Definición

Define la favorabilidad o no del cambio de la cobertura actual frente a la cobertura de la plantación forestal. La cobertura de la tierra puede definirse como el recubrimiento biofísico que se observa sobre la superficie de la tierra y describe la vegetación y elementos antrópicos existentes. La cobertura de la tierra y los cambios que ocurren enella son fundamentales para un gran número de procesos físicos del planeta. Este criterio es el resultado de la interacción de factores físicos, económicos, tecnológicos, institucionales y culturales que operan en escalas espacio-temporales y que se correlacionan con procesos en los ecosistemas y en las poblaciones biológicas. Cualquier tipo de cambio de cobertura que ocurra por las actividades humanas incide en cambios en la productividad primaria, la diversidad biótica, la sedimentación y los flujos de materia y energía en los ecosistemas, incluyendo las emisiones de gases de efecto de invernadero y el ciclo hidrológico. En otras palabras, las coberturas son el resultado de la asociación espacio-temporal de elementos naturales y sociales característicos

EL criterio determina la aptitud del territorio al cambio de cobertura producido por las plantaciones forestales, para lo cual define la favorabilidad o no del cambio de la cobertura para la sostenibilidad del territorio. Para ello, el criterio considera el grado de antropización y transformación de las coberturas; la importancia ecológica de cada cobertura de acuerdo con sus características; y la importancia de la cobertura frente a la producción alimentaria.

Importancia del criterio

Permite identificar áreas con vegetación natural sujetas a exclusiones y áreas transformadas donde es favorable establecer plantaciones forestales bajo una visión integral del territorio, para lo que se identifican las zonas cuyo cambio propuesto genera menor y mayor impacto en la dinámica ecológica.

Limitantes de la evaluación del criterio

Los limitantes identificados se relacionan con la información básica con la cual se construyó esta variable: la *Leyenda nacional de coberturas de la Tierra, metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia*, que permite determinar la ocupación del suelo con información clave para el análisis espacial y territorial. Sin embargo, esta leyenda engloba las coberturas de forma muy general con un pérdida de información para la gestión del territorio (Aguilera *et al.*, 2009).

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

Las exclusiones técnicas del criterio cambio de cobertura fueron definidas bajo los siguientes parámetros:

Coberturas naturales y territorios artificiales que son incompatibles con el TUT

1.1.1. Tejido urbano continuo	1.4.1.6. Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas	3.2.1.1.2.3. Arracachal
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	1.4.2. Instalaciones recreativas	3.2.1.2.1. Herbazal abierto arenoso
1.2.1. Zonas industriales o comerciales	1.4.2.1. Áreas culturales	3.2.1.2.2. Herbazal abierto rocoso
1.2.1.1. Zonas industriales	1.4.2.2. Áreas deportivas	3.2.2.1. Arbustal denso
1.2.1.2. Zonas comerciales	1.4.2.3. Áreas turísticas	3.2.2.2. Arbustal abierto
1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	3.1.1.1.1. Bosque denso alto de tierra firme	3.2.2.2.2. Arbustal abierto mesófilo
1.2.2.1. Red vial y territorios asociados	3.1.1.1.2. Bosque denso alto inundable	3.2.3.1. Vegetación secundaria alta
1.2.3. Zonas portuarias	3.1.1.1.2.1. Bosque denso alto inundable heterogéneo	3.3.1. Zonas arenosas naturales
1.2.3.1. Zonas portuarias fluviales	3.1.1.1.2.2. Manglar denso alto	3.3.1.1. Playas
1.2.4. Aeropuertos	3.1.1.1.2.3. Palmares	3.3.1.2. Arenales
1.2.4.1. Aeropuerto con infraestructura asociada	3.1.1.2.1. Bosque denso bajo de tierra firme	3.3.1.3. Campos de dunas
1.2.4.2. Aeropuerto sin infraestructura asociada	3.1.1.2.2. Bosque denso bajo inundable	3.3.2. Afloramientos rocosos
1.2.5. Obras hidráulicas	3.1.2.1.1. Bosque abierto alto de tierra firme	4.1.1. Zonas pantanosas
1.3.1. Zonas de extracción minera	3.1.2.1.2. Bosque abierto alto inundable	4.1.2. Turberas
1.3.1.1. Otras explotaciones mineras	3.1.2.2.1. Bosque abierto bajo de tierra firme	4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua

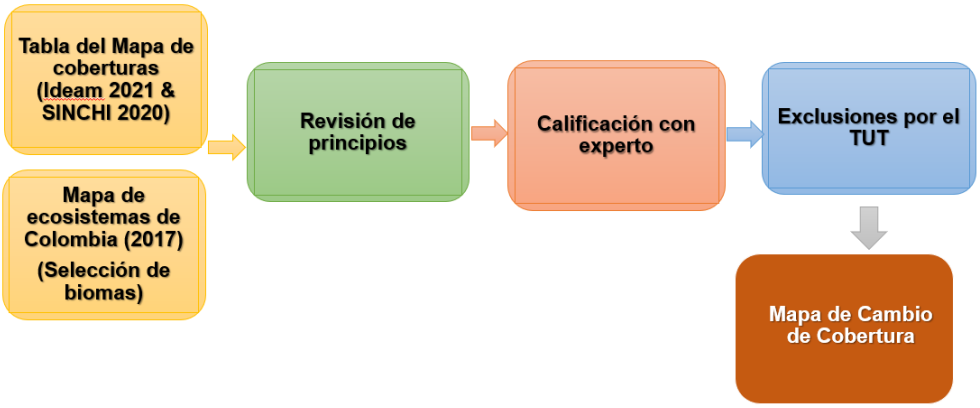
1.3.1.2. Explotación de hidrocarburos	3.1.2.2.2. Bosque abierto bajo inundable	4.2.1. Pantanos costeros
1.3.1.3. Explotación de carbón	3.1.3. Bosque fragmentado	4.2.2. Salitral
1.3.1.4. Explotación de oro	3.1.3.1. Bosque fragmentado con pastos y cultivos	4.2.3. Sedimentos expuestos en bajamar
1.3.1.5. Explotación de materiales de construcción	3.1.3.2. Bosque fragmentado con vegetación secundaria	5.1.1. Ríos
1.3.1.6. Explotación de sal	3.1.4. Bosque de galería y ripario	5.2.1. Lagunas costeras
1.3.2. Zona de disposición de residuos	3.2.1.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado	5.2.3. Estanques para acuicultura marina
1.3.2.1. Otros sitios de disposición de residuos a cielo abierto	3.2.1.1.1.2. Herbazal denso de tierra firme arbolado	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales
1.3.2.4. Relleno sanitario	3.2.1.1.1.3. Herbazal denso de tierra firme con arbustos	5.1.3. Canales
1.4.1. Zonas verdes urbanas	3.2.1.1.2. Herbazal denso inundable	5.1.4. Cuerpos de agua artificiales
1.4.1.1. Otras zonas verdes urbanas	3.2.1.1.2.1. Herbazal denso inundable no arbolado	5.1.4.1. Embalses
1.4.1.2. Parques cementerio	3.2.1.1.2.2. Herbazal denso inundable arbolado	5.1.4.3. Estanques para acuicultura continental

Cabe aclarar que, dependiendo de la especie, se definieron los biomas asociados a la distribución, por lo que existirán exclusiones adicionales definidas desde las coberturas que integran los biomas que no son aptos para la distribución de una especie específica.

Metodología de evaluación

El criterio se construyó a partir de la reclasificación de la *Leyenda nacional de coberturas de la Tierra, metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia*, que proporciona las características temáticas de cobertura y uso de la tierra del país. La leyenda requiere del conocimiento de los recursos naturales; la evaluación de las formas de ocupación y apropiación del espacio geográfico; y la actualización permanente de la información para facilitar los procesos de seguimiento de los cambios y la evaluación de la dinámica de las coberturas terrestres (Ideam, 2010). Del mismo modo, se hizo uso de la información referente a biomas desarrollada en el mapa nacional de ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia (Ideam *et al.*, 2015), con le cual se calificó la aptitud de cada una de las coberturas de acuerdo con el bioma donde se localizan, como se observa en el esquema metodológico de la siguiente figura:

Esquema metodológico del criterio cambio de cobertura



Los análisis de ambas fuentes se realizaron a escala 1:100.000. El procesamiento incluyó una unión de los insumos cartográficos nombrados con anterioridad, lo que permite obtener polígonos de cobertura-bioma que posteriormente son categorizados de acuerdo con la aptitud. Se conformaron los siguientes grupos de especies basados en los biomas que favorecen la distribución:

Grupo 1 *2. Eucalyptus pellita* *3. Eucalyptus tereticornis* *4. Eucalyptus urograndis* *5. Eucalyptus urophylla* **Grupo 2** *13. Pinus tecunumanii* *17. Pinus oocarpa* *7. Pinus caribaea* **Grupo 3** *6. Gmelina arborea* *8. Tectona grandis* **Grupo 4** *9. Bombacopsis quinata* *11. Ochroma pyramidale* *14. Cordia alliodora*	**Grupo 5** *12. Eucalyptus camaldulensis* *16. Eucalyptus grandis* *19. Eucalyptus globulus* **Grupo 6** *1. Acacia mangium* **Grupo 7** *15. Pinus maximinoi* *18. Cupressus lusitanica* *20. Pinus patula* **Grupo 8** *10. Tabebuia rosea*

Luego, se tomaron las unidades de cobertura-bioma y se calificaron. La evaluación consideró el tipo de bioma donde se localizó cada unidad de cobertura. Este procedimiento analizó las características de cada bioma, su importancia ambiental y las cualidades de cada cobertura para determinar el grado de aptitud o establecer si las características ambientales, como sensibilidad, singularidad, rareza y distribución geográfica, hacen favorable o no establecer plantaciones forestales, ejercicio que se desarrolló para cada grupo, como se muestra a continuación.

Grupo 1: 2. *Eucalyptus pellita*; 3. *Eucalyptus tereticornis*; 4. *Eucalyptus urograndis*; 5. *Eucalyptus urophylla*. Para estas agrupaciones se determinó que sólo serían calificadas con A1, A2, A3 o N1 las coberturas que se localizaran en los siguientes biomas:

Bioma insular del Caribe	Orobiomas azonales del río Sogamoso
Halobioma del Caribe	Orobiomas azonales del valle del Patía
Halobiomas del Pacífico	Orobiomas azonales del río Dagua
Helobioma de La Guajira	Orobiomas bajos de los Andes
Helobiomas de la Amazonia y la Orinoquia	Peinobiomas de la Amazonia y la Orinoquia
Helobiomas del Magdalena y el Caribe	Zonobioma alternohígrico o subxerofítico tropical del Alto Magdalena
Helobiomas del Pacífico y el Atrato	Zonobioma alternohígrico o subxerofítico tropical del Valle del Cauca
Helobiomas del río Zulia	Zonobioma del desierto tropical de La Guajira y Santa Marta
Litobiomas de la Amazonia y la Orinoquia	Zonobioma húmedo tropical de la Amazonia y la Orinoquia
Orobioma bajo de Santa Marta y Macuira	Zonobioma húmedo tropical del Catatumbo
Orobioma de La Macarena	Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y el Caribe
Orobioma de San Lucas	Zonobioma húmedo tropical del Pacífico y el Atrato
Orobioma del Baudó y el Darién	Zonobioma seco tropical del Caribe
Orobiomas aonales de Cúcuta	—

La calificación de las unidades de cobertura-bioma se muestra en la siguiente tabla:

Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)
212. Cereales	212. Cereales	132. Zona de disposición de residuos
213. Oleaginosas y leguminosas	222. Cultivos permanentes arbustivos	211. Otros cultivos transitorios
224. Cultivos agroforestales	223. Cultivos permanentes arbóreos	212. Cereales
231. Pastos limpios	231. Pastos limpios	214. Hortalizas
232. Pastos arbolados	233. Pastos enmalezados	221. Cultivos permanentes herbáceos
233. Pastos enmalezados	242. Mosaico de pastos y cultivos	222. Cultivos permanentes arbustivos
315. Plantación forestal	243. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	223. Cultivos permanentes arbóreos
334. Zonas quemadas	244. Mosaico de pastos con espacios naturales	225. Cultivos confinados

2121. Arroz	245. Mosaico de cultivos con espacios naturales	241. Mosaico de cultivos
2122. Maíz	2121. Arroz	242. Mosaico de pastos y cultivos
2123. Sorgo	2213. Plátano y banano	323. Vegetación secundaria o en transición
213.1 Algodón	2221. Otros cultivos permanentes arbustivos	333. Tierras desnudas y degradadas
2134. Soya	2222. Café	2211. Otros cultivos permanentes herbáceos
2212. Caña	2223. Cacao	2221. Otros cultivos permanentes arbustivos
2213. Plátano y banano	2231. Otros cultivos permanentes arbóreos	2231. Otros cultivos permanentes arbóreos
2222. Café	2233. Cítricos	3232. Vegetación secundaria baja
2223. Cacao	2234. Mango	321111. Herbazal denso de tierra firme no arbolado
2224. Viñedos	2242. Cultivos y árboles plantados	321112. Herbazal denso de tierra firme arbolado
2232. Palma de aceite	22122. Caña panelera	321113. Herbazal denso de tierra firme con arbustos
2241. Pastos y árboles plantados	321111. Herbazal denso de tierra firme no arbolado	—
3151. Plantación de coníferas	—	—
3152. Plantación de latifoliadas	—	—
22121. Caña de azúcar	—	—

Grupo 2: 13. *Pinus tecunumanii*; 17. *Pinus oocarpa*; 7. *Pinus caribaea*. Para estas agrupaciones, se determinó que sólo serían calificadas con A1, A2, A3 o N1 las coberturas que se localizaran en los siguientes biomas:

Bioma insular del Caribe	Orobiomas azonales de Cúcuta
Halobioma del Caribe	Orobiomas azonales del río Sogamoso
Halobiomas del Pacífico	Orobiomas azonales del valle del Patía
Helobioma de La Guajira	Orobiomas azonales río Dagua
Helobiomas de la Amazonia y la Orinoquia	Orobiomas bajos de los Andes
Helobiomas del Magdalena y el Caribe	Orobiomas medios de los Andes
Helobiomas del Pacífico y el Atrato	Peinobiomas de la Amazonia y la Orinoquia
Helobiomas del río Zulia	Zonobioma alternohígrico o subxerofítico tropical del Alto Magdalena
Helobiomas del valle del Cauca	Zonobioma alternohígrico o subxerofítico tropical del Valle del Cauca
Litobiomas de la Amazonia y la Orinoquia	Zonobioma del desierto tropical de La Guajira y Santa Marta

Orobioma bajo de Santa Marta y Macuira	Zonobioma húmedo tropical de la Amazonia y la Orinoquia
Orobioma de La Macarena	Zonobioma húmedo tropical del Catatumbo
Orobioma de San Lucas	Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y el Caribe
Orobioma del Baudó y Darién	Zonobioma húmedo tropical del Pacífico y Atrato
Orobioma medio de Santa Marta	Zonobioma seco tropical del Caribe

La calificación de las unidades de cobertura-bioma se muestra en la siguiente tabla:

Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)
212. Cereales	212. Cereales	132. Zona de disposición de residuos
213. Oleaginosas y leguminosas	222. Cultivos permanentes arbustivos	211. Otros cultivos transitorios
224. Cultivos agroforestales	223. Cultivos permanentes arbóreos	212. Cereales
231. Pastos limpios	231. Pastos limpios	214. Hortalizas
232. Pastos arbolados	233. Pastos enmalezados	215. Tubérculos
233. Pastos enmalezados	—	221. Cultivos permanentes herbáceos
315. Plantación forestal	2222. Café	222. Cultivos permanentes arbustivos
334. Zonas quemadas	2224. Viñedos	223. Cultivos permanentes arbóreos
2121. Arroz	2231. Otros cultivos permanentes arbóreos	225. Cultivos confinados
2122. Maíz	2233. Cítricos	241. Mosaico de cultivos
2123. Sorgo	2234. Mango	242. Mosaico de pastos y cultivos
2131. Algodón	2242. Cultivos y árboles plantados	243. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales
2134. Soya	22122. Caña panelera	244. Mosaico de pastos con espacios naturales
2212. Caña	321111. Herbazal denso de tierra firme no arbolado	245. Mosaico de cultivos con espacios naturales
2213. Plátano y banano	—	323. Vegetación secundaria o en transición
2222. Café	—	333. Tierras desnudas y degradadas
2224. Viñedos	—	2151. Papa
2232. Palma de aceite	—	2211. Otros cultivos permanentes herbáceos
2241. Pastos y árboles plantados	—	2221. Otros cultivos permanentes arbustivos
3151. Plantación de coníferas	—	2223. Cacao
3152. Plantación de latifoliadas	—	2231. Otros cultivos permanentes arbóreos
22121. Caña de azúcar	—	3232. Vegetación secundaria baja
—	—	22122. Caña panelera

—	—	321111. Herbazal denso de tierra firme no arbolado
—	—	321112. Herbazal denso de tierra firme arbolado
—	—	321113. Herbazal denso de tierra firme con arbustos

Grupo 3: 6. *Gmelina arborea*; 8. *Tectona grandis*. Para estas agrupaciones, se determinó que sólo serían calificadas con A1, A2, A3 o N1 las coberturas que se localizaran los siguientes biomas:

Bioma insular del Caribe	Orobiomas azonales de Cúcuta
Halobioma del Caribe	Orobiomas azonales del río Sogamoso
Halobiomas del Pacífico	Orobiomas azonales del valle del Patía
Helobioma de La Guajira	Orobiomas azonales del río Dagua
Helobiomas de la Amazonia y la Orinoquia	Orobiomas bajos de los Andes
Helobiomas del Magdalena y el Caribe	Orobiomas medios de los Andes
Helobiomas del Pacífico y el Atrato	Peinobiomas de la Amazonia y la Orinoquia
Helobiomas del río Zulia	Zonobioma alternohígrico o subxerofítico tropical del Alto Magdalena
Helobiomas del Valle del Cauca	Zonobioma alternohígrico o subxerofítico tropical del Valle del Cauca
Litobiomas de la Amazonia y la Orinoquia	Zonobioma del desierto tropical de La Guajira y Santa Marta
Orobioma bajo de Santa Marta y Macuira	Zonobioma húmedo tropical de la Amazonia y la Orinoquia
Orobioma de La Macarena	Zonobioma húmedo tropical del Catatumbo
Orobioma de San Lucas	Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y el Caribe
Orobioma del Baudó y el Darién	Zonobioma húmedo tropical del Pacífico y el Atrato
Orobioma medio de Santa Marta	Zonobioma seco tropical del Caribe

La calificación de las unidades de cobertura-bioma se muestra en la siguiente tabla:

Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)
132. Zona de disposición de residuos	132. Zona de disposición de residuos	132. Zona de disposición de residuos
212. Cereales	212. Cereales	211. Otros cultivos transitorios
213. Oleaginosas y leguminosas	222. Cultivos permanentes arbustivos	212. Cereales
224. Cultivos agroforestales	223. Cultivos permanentes arbóreos	214. Hortalizas
231. Pastos limpios	231. Pastos limpios	215. Tubérculos

232. Pastos arbolados	233. Pastos enmalezados	221. Cultivos permanentes herbáceos
233. Pastos enmalezados	242. Mosaico de pastos y cultivos	222. Cultivos permanentes arbustivos
244. Mosaico de pastos con espacios naturales	243. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	223. Cultivos permanentes arbóreos
315. Plantación forestal	244. Mosaico de pastos con espacios naturales	225. Cultivos confinados
333. Tierras desnudas y degradadas	245. Mosaico de cultivos con espacios naturales	241. Mosaico de cultivos
334. Zonas quemadas	333. Tierras desnudas y degradadas	242. Mosaico de pastos y cultivos
2121. Arroz	2221. Otros cultivos permanentes arbustivos	243. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales
2122. Maíz	2222. Café	245. Mosaico de cultivos con espacios naturales
2123. Sorgo	2231. Otros cultivos permanentes arbóreos	323. Vegetación secundaria o en transición
2131. Algodón	2233. Cítricos	333. Tierras desnudas y degradadas
2134. Soya	2234. Mango	2151. Papa
2212. Caña	2242. Cultivos y árboles plantados	2211. Otros cultivos permanentes herbáceos
2213. Plátano y banano	22122. Caña panelera	2221. Otros cultivos permanentes arbustivos
2222. Café	321111. Herbazal denso de tierra firme no arbolado	2231 .Otros cultivos permanentes arbóreos
2223. Cacao	321112. Herbazal denso de tierra firme arbolado	3232. Vegetación secundaria baja
2224. Viñedos	321113. Herbazal denso de tierra firme con arbustos	321111. Herbazal denso de tierra firme no arbolado
2232. Palma de aceite	—	321112. Herbazal denso de tierra firme arbolado
2241. Pastos y árboles plantados	—	321113. Herbazal denso de tierra firme con arbustos
3151 Plantación de coníferas	—	—
3152. Plantación de latifoliadas	—	—
22121. Caña de azúcar	—	—
321111. Herbazal denso de tierra firme no arbolado	—	—

Grupo 4: 9. *Bombacopsis quinata*; 11. *Ochroma pyramidale*; 14. *Cordia alliodora*. Para estas agrupaciones, se determinó que sólo serían calificadas con A1, A2, A3 o N1 las coberturas que se localizaran en los siguientes biomas:

Bioma insular del Caribe	Orobiomas azonales de Cúcuta
Halobioma del Caribe	Orobiomas azonales del río Sogamoso
Halobiomas del Pacífico	Orobiomas azonales del valle del Patía
Helobioma de La Guajira	Orobiomas azonales del río Dagua
Helobiomas de la Amazonia y la Orinoquia	Orobiomas bajos de los Andes
Helobiomas del Magdalena y el Caribe	Orobiomas medios de los Andes
Helobiomas del Pacífico y el Atrato	Peinobiomas de la Amazonia y la Orinoquia
Helobiomas del río Zulia	Zonobioma alternohígrico o subxerofítico tropical del Alto Magdalena
Helobiomas del Valle del Cauca	Zonobioma alternohígrico o subxerofítico tropical del Valle del Cauca
Litobiomas de la Amazonia y la Orinoquia	Zonobioma del desierto tropical de La Guajira y Santa Marta
Orobioma bajo de Santa Marta y Macuira	Zonobioma húmedo tropical de la Amazonia y la Orinoquia
Orobioma de La Macarena	Zonobioma húmedo tropical del Catatumbo
Orobioma de San Lucas	Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y el Caribe
Orobioma del Baudó y Darién	Zonobioma húmedo tropical del Pacífico y el Atrato
Orobioma medio de Santa Marta	Zonobioma seco tropical del Caribe

La calificación de las unidades de cobertura-bioma se muestra en la siguiente tabla:

Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	
132. Zona de disposición de residuos	132. Zona de disposición de residuos	132. Zona de disposición de residuos	2134. Soya
212. Cereales	212. Cereales	211. Otros cultivos transitorios	2151. Papa
213. Oleaginosas y leguminosas	222. Cultivos permanentes arbustivos	212. Cereales	2211. Otros cultivos permanentes herbáceos
224. Cultivos agroforestales	223. Cultivos permanentes arbóreos	214. Hortalizas	2212. Caña
231. Pastos limpios	241. Mosaico de cultivos	215. Tubérculos	2213. Plátano y banano
232. Pastos arbolados	242. Mosaico de pastos y cultivos	221. Cultivos permanentes herbáceos	2221. Otros cultivos permanentes arbustivos
233. Pastos enmalezados	243. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	222. Cultivos permanentes arbustivos	2222. Café
244. Mosaico de pastos con espacios naturales	244. Mosaico de pastos con espacios naturales	223. Cultivos permanentes arbóreos	2223. Cacao
315. Plantación forestal	245. Mosaico de cultivos con espacios naturales	224. Cultivos agroforestales	2224. Viñedos
333. Tierras desnudas y degradadas	323. Vegetación secundaria o en transición	225. Cultivos confinados	2231. Otros cultivos permanentes arbóreos

334. Zonas quemadas	333. Tierras desnudas y degradadas	231. Pastos limpios	2232. Palma de aceite
2121. Arroz	2221. Otros cultivos permanentes arbustivos	232. Pastos arbolados	2233. Cítricos
2122. Maíz	2222. Café	233. Pastos enmalezados	2234. Mango
2123. Sorgo	2231. Otros cultivos permanentes arbóreos	241. Mosaico de cultivos	2241. Pastos y árboles plantados
2134. Soya	2233. Cítricos	242. Mosaico de pastos y cultivos	3151. Plantación de coníferas
2212. Caña	2234. Mango	243. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	3152. Plantación de latifoliadas
2213. Plátano y banano	2242. Cultivos y árboles plantados	244. Mosaico de pastos con espacios naturales	3232. Vegetación secundaria baja
2222. Café	3232. Vegetación secundaria baja	245. Mosaico de cultivos con espacios naturales	22121. Caña de azúcar
2223. Cacao	22122. Caña panelera	315. Plantación forestal	321111. Herbazal denso de tierra firme no arbolado
2224. Viñedos	321111. Herbazal denso de tierra firme no arbolado	323. Vegetación secundaria o en transición	321112. Herbazal denso de tierra firme arbolado
2232. Palma de aceite	321112. Herbazal denso de tierra firme arbolado	333. Tierras desnudas y degradadas	321113. Herbazal denso de tierra firme con arbustos
2241. Pastos y árboles plantados	—	334. Zonas quemadas	
3151. Plantación de coníferas	—	2121 Arroz.	—
3152. Plantación de latifoliadas	—	2122. Maíz	—
22121. Caña de azúcar	—	2123. Sorgo	—
321111. Herbazal denso de tierra firme no arbolado	—	2131 Algodón.	

Grupo 5: 12. *Eucalyptus camaldulensis*; 16. *Eucalyptus grandis*; 19. *Eucalyptus globulus*. Para estas agrupaciones, se determinó que sólo serían calificadas con A1, A2, A3 o N1 las coberturas que se localizaran en los siguientes biomas:

Helobiomas andinos	Orobiomas azonales del valle del Patía
Helobiomas de la Amazonia y la Orinoquia	Orobiomas azonales del río Dagua
Helobiomas del Magdalena y el Caribe	Orobiomas bajos de los Andes

Helobiomas del Pacífico y el Atrato	Orobiomas medios de los Andes
Helobiomas del Valle del Cauca	Peinobiomas de la Amazonia y la Orinoquia
Orobioma bajo de Santa Marta y Macuira	Zonobioma alternohígrico o subxerofítico tropical del Alto Magdalena
Orobioma de La Macarena	Zonobioma alternohígrico o subxerofítico tropical del Valle del Cauca
Orobioma de San Lucas	Zonobioma húmedo tropical de la Amazonia y la Orinoquia
Orobioma del Baudó y el Darién	Zonobioma húmedo tropical del Catatumbo
Orobioma medio de Santa Marta	Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y el Caribe
Orobiomas altos de los Andes	Zonobioma húmedo tropical del Pacífico y el Atrato
Orobiomas azonales de Cúcuta	Zonobioma seco tropical del Caribe
Orobiomas azonales del río Sogamoso	—

La calificación de las unidades de cobertura-bioma se muestra en la siguiente tabla:

Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)
212. Cereales	212. Cereales	132. Zona de disposición de residuos
213. Oleaginosas y leguminosas	222. Cultivos permanentes arbustivos	211. Otros cultivos transitorios
224. Cultivos agroforestales	223. Cultivos permanentes arbóreos	212. Cereales
231. Pastos limpios	241. Mosaico de cultivos	214. Hortalizas
232. Pastos arbolados	242. Mosaico de pastos y cultivos	215. Tubérculos
233. Pastos enmalezados	243. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	221. Cultivos permanentes herbáceos
315. Plantación forestal	244. Mosaico de pastos con espacios naturales	222. Cultivos permanentes arbustivos
334. Zonas quemadas	245. Mosaico de cultivos con espacios naturales	223. Cultivos permanentes arbóreos
2121. Arroz	2221. Otros cultivos permanentes arbustivos	225. Cultivos confinados
2122. Maíz	2222. Café	241. Mosaico de cultivos
2123. Sorgo	2223. Cacao	242. Mosaico de pastos y cultivos
2131. Algodón	2224. Viñedos	323. Vegetación secundaria o en transición
2134. Soya	2231. Otros cultivos permanentes arbóreos	333. Tierras desnudas y degradadas
2212. Caña	2233. Cítricos	2141. Cebolla
2213. Plátano y banano	2234. Mango	2151. Papa
2222. Café	2242. Cultivos y árboles plantados	2211. Otros cultivos permanentes herbáceos
2223. Cacao	22122. Caña panelera	2221. Otros cultivos permanentes arbustivos

2224. Viñedos	321111. Herbazal denso de tierra firme no arbolado	2231. Otros cultivos permanentes arbóreos
2232. Palma de aceite	—	3232. Vegetación secundaria baja
2241 Pastos y árboles plantados	—	22122. Caña panelera
3151. Plantación de coníferas	—	321111. Herbazal denso de tierra firme no arbolado
3152. Plantación de latifoliadas	—	321112. Herbazal denso de tierra firme arbolado
22121. Caña de azúcar	—	321113. Herbazal denso de tierra firme con arbustos

Grupo 6: 1. *Acacia mangium*. Para esta agrupación, se determinó que sólo serían calificadas con A1, A2, A3 o N1 las coberturas que se localizaran en los siguientes biomas:

Bioma insular del Caribe	Orobiomas azonales del río Sogamoso
Halobioma del Caribe	Orobiomas azonales del valle del Patía
Halobiomas del Pacífico	Orobiomas azonales del río Dagua
Helobioma de La Guajira	Orobiomas bajos de los Andes
Helobiomas de la Amazonia y la Orinoquia	Peinobiomas de la Amazonia y la Orinoquia
Helobiomas del Magdalena y el Caribe	Zonobioma alternohígrico o subxerofítico tropical del Alto Magdalena
Helobiomas del Pacífico y el Atrato	Zonobioma alternohígrico o subxerofítico tropical del Valle del Cauca
Helobiomas del río Zulia	Zonobioma del desierto tropical de La Guajira y Santa Marta
Litobiomas de la Amazonia y la Orinoquia	Zonobioma húmedo tropical de la Amazonia y la Orinoquia
Orobioma bajo de Santa Marta y Macuira	Zonobioma húmedo tropical del Catatumbo
Orobioma de La Macarena	Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y el Caribe
Orobioma de San Lucas	Zonobioma húmedo tropical del Pacífico y el Atrato
Orobioma del Baudó y el Darién	Zonobioma seco tropical del Caribe
Orobiomas azonales de Cúcuta	—

La calificación de las unidades de cobertura-bioma se muestra en la siguiente tabla:

Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)
212. Cereales	212. Cereales	132. Zona de disposición de residuos
213. Oleaginosas y leguminosas	222. Cultivos permanentes arbustivos	211. Otros cultivos transitorios
224. Cultivos agroforestales	223. Cultivos permanentes arbóreos	212. Cereales
231. Pastos limpios	231. Pastos limpios	214. Hortalizas
232. Pastos arbolados	233. Pastos enmalezados	221. Cultivos permanentes herbáceos

233. Pastos enmalezados	2221. Otros cultivos permanentes arbustivos	222. Cultivos permanentes arbustivos
315. Plantación forestal	2222. Café	223. Cultivos permanentes arbóreos
334. Zonas quemadas	2231. Otros cultivos permanentes arbóreos	225. Cultivos confinados
2121. Arroz	2233. Cítricos	241. Mosaico de cultivos
2122. Maíz	2234. Mango	242. Mosaico de pastos y cultivos
2123. Sorgo	2242. Cultivos y árboles plantados	243. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales
2131. Algodón	22122. Caña panelera	244. Mosaico de pastos con espacios naturales
2134. Soya	321111. Herbazal denso de tierra firme no arbolado	245. Mosaico de cultivos con espacios naturales
2212. Caña	—	323. Vegetación secundaria o en transición
2213. Plátano y banano	—	333. Tierras desnudas y degradadas
2222. Café	—	2211. Otros cultivos permanentes herbáceos
2224. Viñedos	—	2221. Otros cultivos permanentes arbustivos
2232. Palma de aceite	—	2223. Cacao
2241. Pastos y árboles plantados	—	2231. Otros cultivos permanentes arbóreos
3151. Plantación de coníferas	—	3232. Vegetación secundaria baja
3152. Plantación de latifoliadas	—	321111. Herbazal denso de tierra firme no arbolado
22121. Caña de azúcar	—	321112. Herbazal denso de tierra firme arbolado
—	—	321113. Herbazal denso de tierra firme con arbustos

Grupo 7: 15. *Pinus maximinoi*; 18. *Cupressus lusitanica*; 20. *Pinus patula*. Para estas agrupaciones, se determinó que sólo serían calificadas con A1, A2, A3 o N1 las coberturas que se localizaran en los siguientes biomas:

Helobiomas andinos
Orobioma alto de Santa Marta
Orobioma medio de Santa Marta
Orobiomas altos de los Andes
Orobiomas medios de los Andes
Zonobioma alternohígrico o subxerofítico tropical del Alto Magdalena

La calificación de las unidades de cobertura-bioma se muestra en la siguiente tabla:

Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	
224. Cultivos agroforestales	223. Cultivos permanentes arbóreos	132. Zona de disposición de residuos	323. Vegetación secundaria o en transición
231. Pastos limpios	2222. Café	211. Otros cultivos transitorios	333. Tierras desnudas y degradadas
232. Pastos arbolados	2231. Otros cultivos permanentes arbóreos	214. Hortalizas	2141. Cebolla
233. Pastos enmalezados	—	215. Tubérculos	2151. Papa
315. Plantación forestal	—	221. Cultivos permanentes herbáceos	2211. Otros cultivos permanentes herbáceos
334. Zonas quemadas	—	222. Cultivos permanentes arbustivos	2221. Otros cultivos permanentes arbustivos
2121. Arroz	—	223. Cultivos permanentes arbóreos	2231. Otros cultivos permanentes arbóreos
2122. Maíz	—	225. Cultivos confinados	3232. Vegetación secundaria baja
2212. Caña	—	241. Mosaico de cultivos	22122. Caña panelera
2232. Palma de aceite	—	242. Mosaico de pastos y cultivos	
3151. Plantación de coníferas	—	243. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	
3152. Plantación de latifoliadas	—	244. Mosaico de pastos con espacios naturales	
22121. Caña de azúcar	—	245. Mosaico de cultivos con espacios naturales	

Grupo 8: 10. *Tabebuia rosea*. Para esta agrupación, se determinó que sólo serían calificadas con A1, A2, A3 o N1 las coberturas que se localizaran en los siguientes biomas:

Bioma insular del Caribe	Orobiomas azonales de Cúcuta
Halobioma del Caribe	Orobiomas azonales del río Sogamoso
Halobiomas del Pacífico	Orobiomas azonales del valle del Patía
Helobioma de La Guajira	Orobiomas azonales del río Dagua
Helobiomas de la Amazonia y la Orinoquia	Orobiomas bajos de los Andes
Helobiomas del Magdalena y el Caribe	Orobiomas medios de los Andes
Helobiomas del Pacífico y el Atrato	Peinobiomas de la Amazonia y le Orinoquia
Helobiomas del río Zulia	Zonobioma alternohígrico o subxerofítico tropical del Alto Magdalena

Helobiomas del Valle del Cauca	Zonobioma alternohígrico o subxerofítico tropical del Valle del Cauca
Litobiomas de la Amazonia y la Orinoquia	Zonobioma del desierto tropical de La Guajira y Santa Marta
Orobioma bajo de Santa Marta y Macuira	Zonobioma húmedo tropical de la Amazonia y la Orinoquia
Orobioma de La Macarena	Zonobioma húmedo tropical del Catatumbo
Orobioma de San Lucas	Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y el Caribe
Orobioma del Baudó y el Darién	Zonobioma húmedo tropical del Pacífico y el Atrato
Orobioma medio de Santa Marta	Zonobioma seco tropical del Caribe

La calificación de las unidades de cobertura-bioma se muestra en la siguiente tabla:

Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)
132. Zona de disposición de residuos	132. Zona de disposición de residuos	211. Otros cultivos transitorios
212. Cereales	212. Cereales	212. Cereales
213. Oleaginosas y leguminosas	222. Cultivos permanentes arbustivos	214. Hortalizas
224. Cultivos agroforestales	223. Cultivos permanentes arbóreos	215. Tubérculos
231. Pastos limpios	241. Mosaico de cultivos	221. Cultivos permanentes herbáceos
232. Pastos arbolados	242. Mosaico de pastos y cultivos	222. Cultivos permanentes arbustivos
233. Pastos enmalezados	243. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	223. Cultivos permanentes arbóreos
244. Mosaico de pastos con espacios naturales	244. Mosaico de pastos con espacios naturales	225. Cultivos confinados
315. Plantación forestal	245. Mosaico de cultivos con espacios naturales	241. Mosaico de cultivos
333. Tierras desnudas y degradadas	323. Vegetación secundaria o en transición	242. Mosaico de pastos y cultivos
334. Zonas quemadas	333. Tierras desnudas y degradadas	243. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales
2121. Arroz	2221. Otros cultivos permanentes arbustivos	245. Mosaico de cultivos con espacios naturales
2122. Maíz	2222. Café	323. Vegetación secundaria o en transición
2123. Sorgo	2231. Otros cultivos permanentes arbóreos	333. Tierras desnudas y degradadas
2131. Algodón	2233. Cítricos	2151. Papa
2134. Soya	2234. Mango	2211. Otros cultivos permanentes herbáceos
2212. Caña	2242. Cultivos y árboles plantados	2221. Otros cultivos permanentes arbustivos

2213. Plátano y banano 2222. Café 2223. Cacao 2224. Viñedos 2232. Palma de aceite	3232. Vegetación secundaria baja 22122. Caña panelera 321111. Herbazal denso de tierra firme no arbolado 321112. Herbazal denso de tierra firme arbolado 321113. Herbazal denso de tierra firme con arbustos	2231. Otros cultivos permanentes arbóreos 321111. Herbazal denso de tierra firme no arbolado 321112. Herbazal denso de tierra firme arbolado 321113. Herbazal denso de tierra firme con arbustos —
2241. Pastos y árboles plantados	—	—
3151. Plantación de coníferas	—	—
3152. Plantación de latifoliadas	—	—
22121. Caña de azúcar	—	—
321111. Herbazal denso de tierra firme no arbolado	—	—

Rangos para la asignación de valores de aptitud

Se realizó una calificación para cada uno de los grupos de plantaciones, cuyos criterios de calificación se describen a continuación.

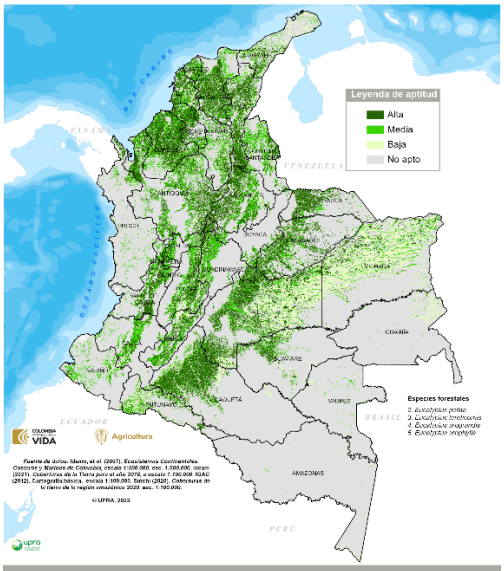
Tipos de aptitud para el establecimiento de plantaciones forestales latifoliadas

Descripción	Aptitud
Zonas de alta favorabilidad para establecer plantaciones forestales, donde predominan las áreas de pastos limpios, enmalezados y arbolados; los cultivos transitorios dedicados a la producción de alimentos, como arroz, maíz, hortalizas y papa; y los cultivos dedicados a la producción industrial, como caña, algodón, palma, zonas quemadas, plantaciones forestales y cultivos agroforestales.	Alta (A1)
Zonas de moderada favorabilidad para establecer plantaciones forestales, donde predominan mosaicos de cultivos; mosaicos de pastos con espacios naturales; mosaicos de cultivos; pastos y espacios naturales; café; cultivos permanentes arbóreos y arbustivos; y zonas seminaturales de herbazales densos no arbolados.	Media (A2)
Zonas con favorabilidad baja para establecer plantaciones forestales, donde predominan los cultivos de ciclo corto o permanentes arbóreos, arbustivos o herbáceos; algunos mosaicos dedicados a la producción de alimentos humanos; algunas unidades de coberturas naturales y seminaturales que pueden ser marginalmente aptas, como herbazales densos de tierra firme y vegetación secundaria baja; y tierras desnudas y degradadas.	Baja (A3)
Zonas no favorables para el establecer plantaciones referidas a las coberturas naturales y seminaturales; áreas húmedas; superficies de agua; territorios artificializados; zonas de cultivos transitorios, permanentes herbáceos, arbóreos y arbustivos; zonas de pastos, mosaicos y plantaciones que por el bioma en donde se localizan no favorecen el establecimiento de la plantación.	No apto (N1)

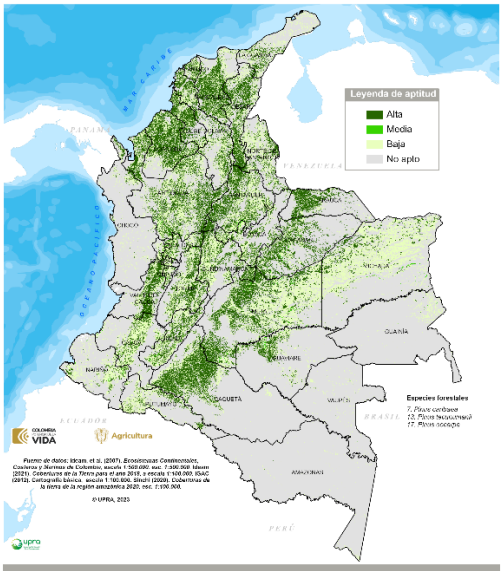
Tipos de aptitud para el establecimiento de plantaciones forestales de coníferas

Descripción	Aptitud
Zonas de alta favorabilidad para establecer plantaciones forestales, donde predominan las áreas de pastos limpios, enmalezados y arbolados; los cultivos transitorios dedicados a la producción de alimentos, como arroz, maíz, hortalizas y papa; y cultivos dedicados a la producción industrial, como caña, algodón, palma, zonas quemadas, plantaciones forestales y cultivos agroforestales.	Alta (A1)
Zonas de moderada favorabilidad para establecer plantaciones forestales, donde predominan cultivos permanentes arbóreos y arbustivos; café; viñedos; y árboles plantados.	Media (A2)
Zonas con favorabilidad baja para establecer plantaciones forestales, donde predominan los cultivos de ciclo corto o permanentes arbóreos, arbustivos o herbáceos; mosaicos de cultivos; mosaicos de pastos y cultivos; mosaicos que involucran espacios naturales dedicados a la producción de alimentos humanos; algunas unidades de coberturas naturales y seminaturales que pueden ser marginalmente aptas, como herbazales densos de tierra firme y vegetación secundaria baja; y tierras desnudas y degradadas. Las coníferas distribuidas en altitudes más altas no incluyen estas coberturas seminaturales.	Baja (A3)
Zonas no favorables para establecer plantaciones referidas a las coberturas naturales y seminaturales; áreas húmedas; superficies de agua; territorios artificializados; zonas de cultivos transitorios, permanentes herbáceos, arbóreos y arbustivos; zonas de pastos; mosaicos; y plantaciones que por el bioma en donde se localizan no favorecen el establecimiento de la plantación	No apto (N1)

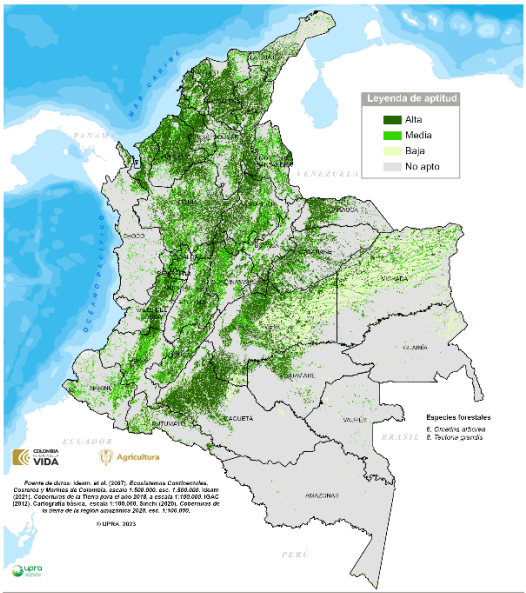
Representación cartográfica del criterio



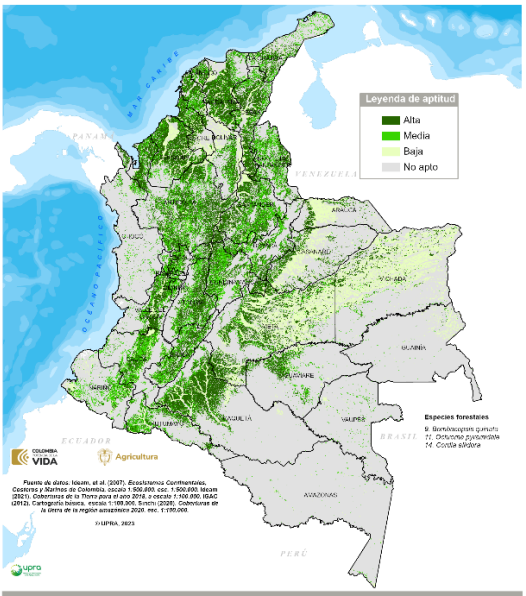
CRITERIO CAMBIO DE COBERTURA



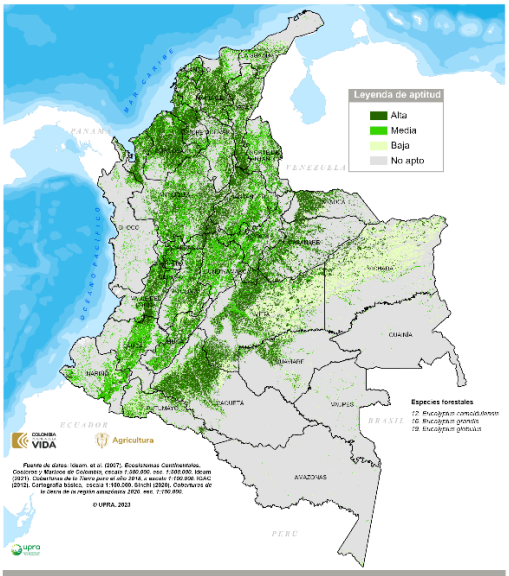
CRITERIO CAMBIO DE COBERTURA

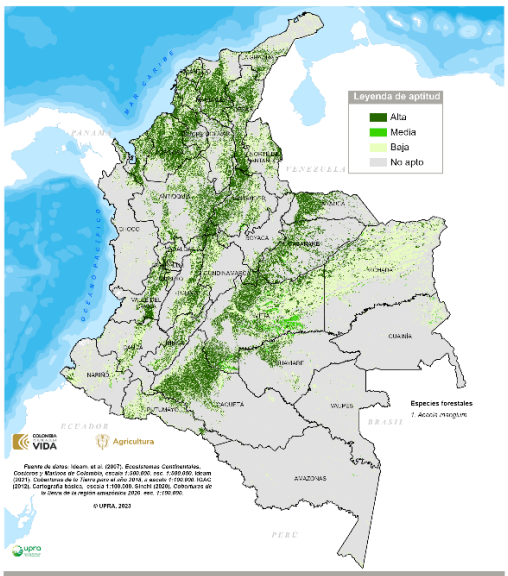


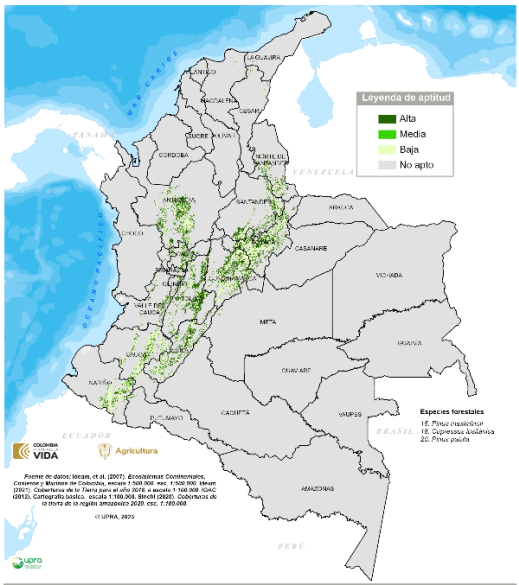
CRITERIO CAMBIO DE COBERTURA

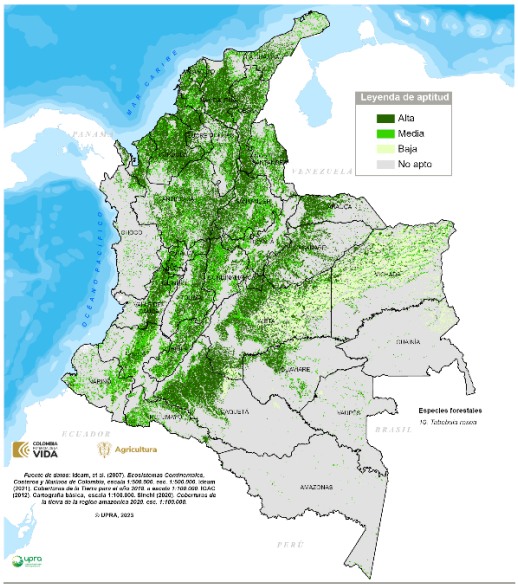


CRITERIO CAMBIO DE COBERTURA


Leyenda de aptitud
Alta
Media
Baja
No apto
Especies forestales
12. Eucalyptus camaldulensis
16. Eucalyptus grandis
19. Eucalyptus globulus
Agricultura
VIDA
CRITERIO CAMBIO DE COBERTURA


Leyenda de aptitud
Alta
Media
Baja
No apto
Especies forestales
1. Acacia mangium
Agricultura
VIDA
CRITERIO CAMBIO DE COBERTURA


Leyenda de aptitud
Alta
Media
Baja
No apto
Especies forestales
18. Pinus maximinoi
19. Cupressus lusitanica
20. Pinus patula
Agricultura
VIDA
CRITERIO CAMBIO DE COBERTURA


Leyenda de aptitud
Alta
Media
Baja
No apto
Especies forestales
10. Tectona grandis
Agricultura
VIDA
CRITERIO CAMBIO DE COBERTURA

Fuentes de información

Aguilera, I., Monteagudo, S., Castaños, J., González-Jiménez, A. y Escudero, R. (2009). El nivel 3 de la nomenclatura Corine y la pérdida de representatividad de algunas clases importantes en el CLC06 de la C.A. Aragón. En Montesinos, S. y Fernández, L. (Eds.) *Teledetección: agua y desarrollo sostenible*. XIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección, Calatayud, 23-26 de septiembre de 2009 (pp. 393-396). https://n9.cl/8o1lu

Chhabra, A. & Geist, H. (2006). Multiple impacts of land-use/cover change. En Lambin, E.F. & Gesit, H. (2006). *Land-use and land-cover change: local processes and global impacts* (pp. 71-115). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Di Gregorio, A y Jansen, L.J. (2005). *Sistema de clasificación de la cobertura de la tierra: conceptos de clasificación y manual para el usuario, versión 2 del programa*. Food and Agriculture Organizations of the United Nations (FAO), United Nations Environment Programme (UNEP), Cooperazione Italiana. https://n9.cl/ywmclp

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2010). *Leyenda nacional de coberturas de la tierra: metodología CORINE Land Cover, adaptada para Colombia, escala 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). https://n9.cl/23v8d

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives De Andreis, Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi e Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico Jhon von Neumann (2015). *Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). https://n9.cl/53isn

2.5. Criterio *susceptibilidad de la cobertura vegetal a incendios*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioecosistémico		
Criterio: *susceptibilidad de la cobertura vegetal a incendios*		
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Variables asociadas al criterio

El fenómeno de incendios de las coberturas vegetales es multicausal, altamente dinámico tanto en el tiempo como en el espacio y generador de impactos variables sobre el medio natural y social. La evaluación de este criterio se compone de las siguientes variables:

Condiciones de pirogenicidad de las coberturas, que evalúa la capacidad de que una determinada cobertura pueda tener mayor o menor capacidad combustible y se analiza a partir de las subvariables *tipo de combustible*, que hace referencia a las características fisionómico-estructurales de la vegetación presente y denotan su condición pirogénica; *duración del combustible*, que evalúa el tiempo en que un tipo de combustible se halla en estado de ignición; y *carga de combustible,* que califica la cantidad de biomasa combustible de la vegetación en un área.

Influencia del fuego sobre los ecosistemas, que define, desde el punto de vista de la ecología del fuego, qué tan adaptados están los ecosistemas y coberturas para soportar el fuego.

Definición

Conjunto de características intrínsecas de la vegetación y los ecosistemas asociados a la carga de combustibles, a la disposición y a la combustibilidad que tienen cierto grado de probabilidad de incendiarse, así como de propagar y mantener el fuego. Se evalúa al identificar y valorar la condición pirogénica de la vegetación.

Importancia del criterio

Permite prever e incorporar en los rangos de aptitud la probabilidad de que una plantación forestal pueda verse afectada por indencios de la estructura vegetal, tanto por la cercanía a las coberturas y los tipos de vegetación que puedan propagar el fuego como por las características favorables de la plantación para que, por acción humana o natural, pueda verse expuesta a fenómenos de esta naturaleza.

Limitantes de la evaluación del criterio

La temporalidad de la información del Corine Land Cover asociada a las coberturas del año 2018 limita una interpretación actualizada de la situación ecosistémica real. Sin embargo, ésta es la última información oficial generada y disponible. Adicionalmente, la estimación de la biomasa se realizó a través de imágenes MODIS, las cuales tienen como mayor limitante la resolución espacial y la temporalidad.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

No hubo valores de exclusión, pues el criterio no presentó límites que calificaran zonas del territorio nacional como no aptas (N1).

Metodología de procesamiento de la información

La susceptibilidad de la cobertura vegetal a los incendios se evaluó mediante la identificación y valoración de la condición pirogénica de la vegetación, según lo propuesto en el modelo de combustibles desarrollado para Colombia por Páramo (2011). Un modelo de combustibles representa la condición pirogénica de la vegetación como un aspecto clave en la evaluación del comportamiento de los ecosistemas frente al fuego, tanto en el inicio de un incendio como en la modelación del comportamiento del fuego (Ideam, 2011). El modelo de combustibles propuesto tiene una estructura jerárquica compuesta de las siguientes subvariables:

Tipo de combustible vegetal, predominante por bioma y ecosistema. Se estimó a partir de la metodología del Ideam (2011) y se actualizó a las coberturas Corine Land Cover de Colombia 2018.

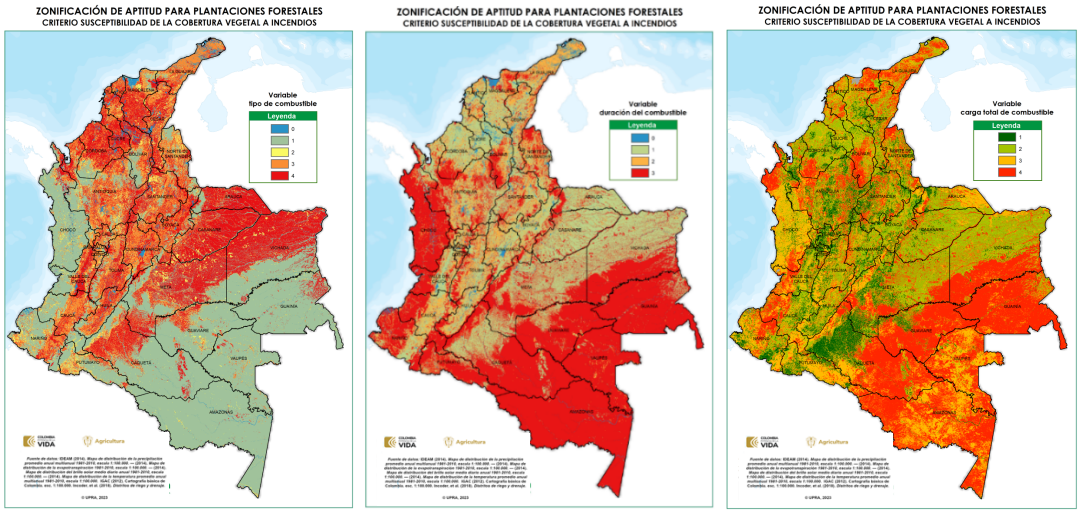
Duración del tipo de combustible dominante, que mide, en horas de ignición (1 h, 10 h, 100 h), la duración de cada tipo de combustible. Se estimó de acuerdo con la metodología del Ideam (2011) y actualizó la información según las coberturas Corine Land Cover 2018.

Carga total de combustibles, que caracteriza cuali-cuantitativamente la cantidad de biomasa presente en cada tipo de cobertura expresada como biomasa aérea en toneladas por hectárea. Se estimó a partir de la aplicación de las ecuaciones expresadas por Páramo (2011), que consideran la biomasa determinada sobre el índice normalizado del infrarrojo obtenido a partir de imágenes MODIS del año 2021 (MODIS MOD13Q1 v006 Banda 7, SWIR); la altura promedio de cada cobertura según el mapa de CLC de Colombia (Ideam, 2021); la cobertura, expresada como porcentaje de proyección de la vegetación sobre el sustrato a partir de una imagen MODIS (MOD44B-v006) del 2021 del producto vegetación Continuos Field (VCF); y el déficit de agua (Da), que mide indirectamente la humedad media de la vegetación obtenida con una distribución cualitativa de los valores estimados de precipitación y de meses secos continuos a partir de la clasificación de rangos propuesta por la Unesco.

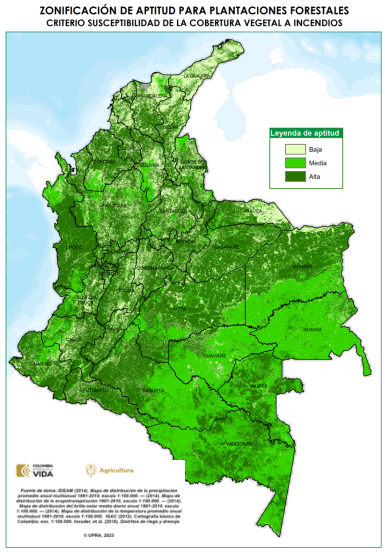
A partir de la evaluación individual de las subvariables *tipo de combustibles* (Tc), *duración del tipo de combustible dominante* (Dc) y *carga total de combustibles* (Cc), se elaboró un mapa intermedio que muestra el grado de pirogenicidad de la cobertura con la aplicación de un análisis multicriterio y una matriz AHP para obtener los factores de peso que ponderan cada variable. Con estos factores de ponderación y el modelamiento espacial (álgebra de mapas), realizado con el sistema de información geográfico ArcGIS, se llevó a cabo una suma ponderada para obtener el mapa resultante del cruce de las variables anotadas. Los factores de ponderación fueron los siguientes:

$$\sum[(Tc * 0{,}35) + (Dc * 0{,}35) + (Cc * 0{,}33)]$$

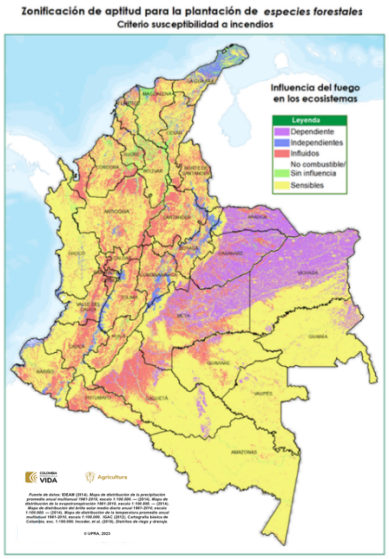
Grado de pirogenicidad de la cobertura



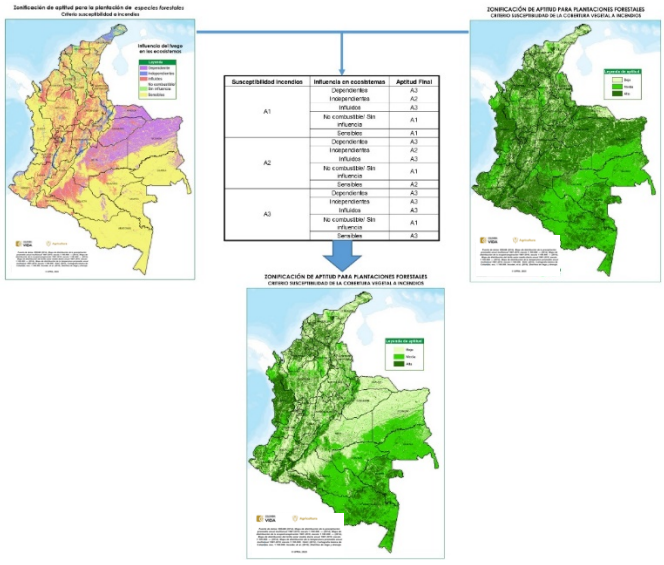
$$[(Tc * 0{,}35) + (Dc * 0{,}35) + (Cc * 0{,}33)]$$



Otra subvariable utilizada en la construcción del criterio fue *influencia del fuego sobre los ecosistemas* (If). Los ecosistemas se describen en términos de regímenes de fuego típicos que operan dentro de un rango conocido o esperado de variación de los atributos clave de los regímenes del fuego. Los ecosistemas y los principales tipos de hábitat pueden clasificarse como pertenecientes a categorías amplias de regímenes de fuego, así: *dependientes del fuego*, *influidos por el fuego*, *sensibles al fuego*, *independientes del fuego* o *no combustibles* (Páramo, 2011). Para la calificación, se partió de una reclasificación por tipo de ecosistema y bioma obtenida del mapa general de ecosistemas de Colombia (Ideam *et al*., 2015).



Por último, se construyó el mapa del criterio *susceptibilidad de la cobertura vegetal a incendios* mediante la unión del mapa de pirogenicidad de las coberturas y de influencia del fuego en los ecosistemas; la aplicación de un árbol de decisión; y la clasificación en categorías de aptitud.



Rangos para la asignación de valores de aptitud

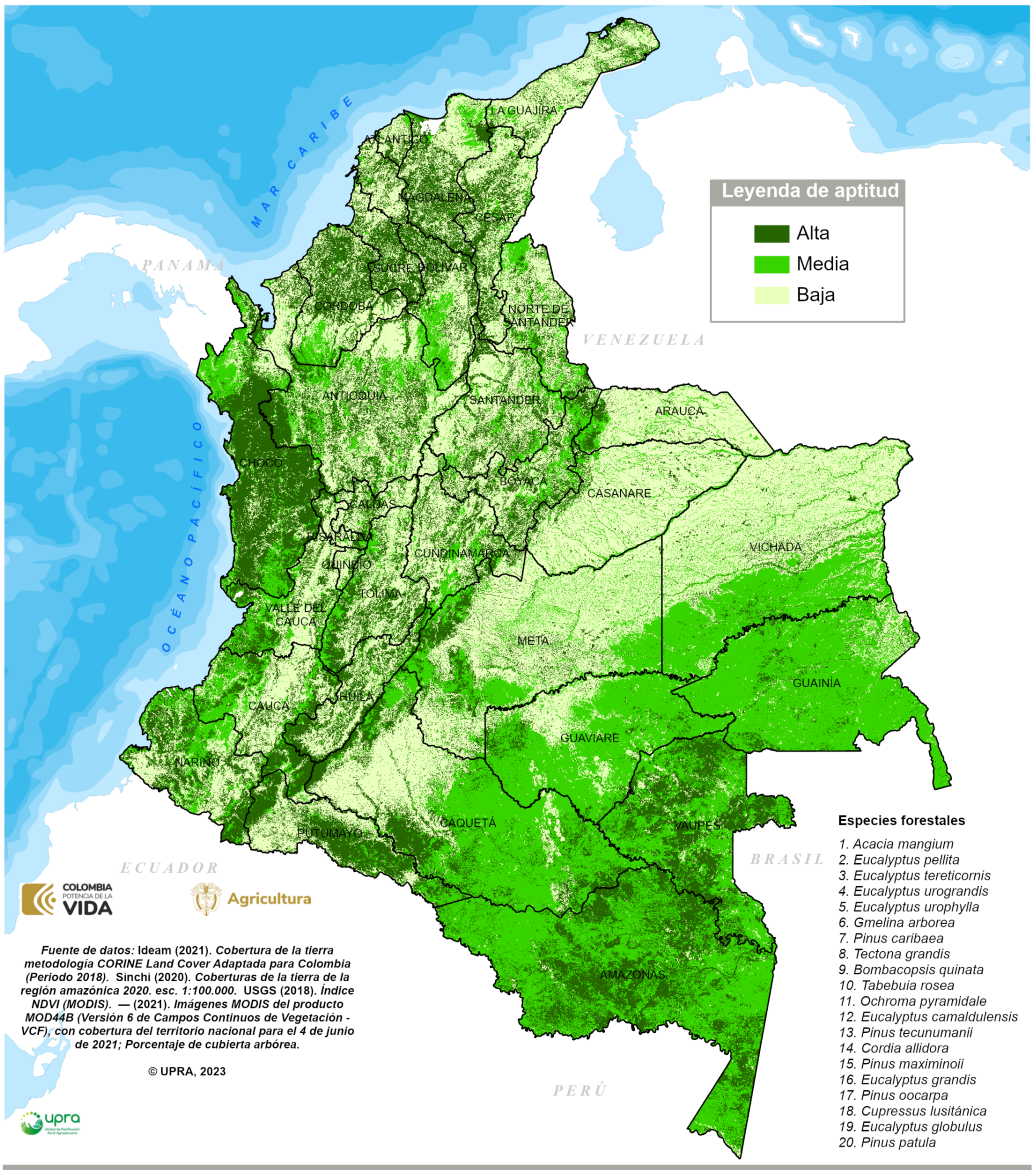
La calificación de la aptitud para el criterio *susceptibilidad de la cobertura vegetal a incendios* se realizó a través del siguiente árbol de decisión:

Susceptibilidad de incendios	Influencia en ecosistemas	Aptitud
A1	Dependientes	A3
	Independientes	A2
	Influidos	A3
	No combustible/Sin influencia	A1
	Sensibles	A1
A2	Dependientes	A3
	Independientes	A2
	Influidos	A3
	No combustible/Sin influencia	A1
	Sensibles	A2
A3	Dependientes	A3
	Independientes	A3
	Influidos	A3
	No combustible/Sin influencia	A1
	Sensibles	A3

Rango de variación de la aptitud por susceptibilidad de la cobertura vegetal a incendios para las plantaciones forestales

Descripción	Aptitud
Zonas con baja susceptibilidad de la cobertura vegetal a incendios con ecosistemas no influidos por el fuego o no combustibles, como áreas con predominancia de alta de humedad o muy alteras y desprovistas de vegetación, y ecosistemas sensibles al fuego, como bosque, matorral, herbazal y pastizal de los pisos subandino y andino.	Alta (A1)
Zonas con baja susceptibilidad de la cobertura a incendios, pero con presencia de ecosistemas independientes, como ecosistemas bastante fríos y húmedos o demasiado secos, vegetación xerofítica, de páramo y altoandina; y zonas con media susceptibilidad de la cobertura vegetal a incendios con ecosistemas independientes y sensibles.	Media (A2)
Zonas con baja susceptibilidad de la cobertura vegetal a incendios con ecosistemas dependientes, como sabanas de coberturas de pastizal y herbazal de la Orinoquia; zonas con media susceptibilidad de la cobertura vegetal a incendios con ecosistemas dependientes influidos, como agroecosistemas con prácticas culturales de tala y quema o roza y quema; y zonas con alta susceptibilidad de la cobertura vegetal a incendios con ecosistemas dependientes, independientes, influidos y sensibles.	Baja (A3)

Representación cartográfica del criterio



CRITERIO SUSCEPTIBILIDAD DE LA COBERTURA VEGETAL A INCENDIOS

Fuentes de información

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2011). *Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal: escala 1:100.000/Ajustado*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). https://n9.cl/hycl3

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2021). *Mapa nacional de cobertura de la tierra, imágenes 2018-2020, escala 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives De Andreis, Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi e Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico Jhon von Neumann (2015). *Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). https://n9.cl/53isn

Páramo-Rocha, G.E. (2011). *Susceptibilidad de las coberturas vegetales de Colombia al fuego*. En Parra, A.C. (Ed). *Incendios de la cobertura vegetal en Colombia*. Tomo I (pp. 73-144). Universidad Autónoma de Occidente, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Red Colombiana de Formación Ambiental. https://n9.cl/sb0yr

2.5.1. Variable *condiciones de pirogenicidad de las coberturas*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioecosistémico		
Criterio asociado: *susceptibilidad de la cobertura vegetal a incendios*		
Variable: *condiciones de pirogenicidad de las coberturas*	Unidad de medida: categoría cualitativa de pirogenicidad de las coberturas	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Caracterización de la condición pirogénica de la vegetación, conocida como modelo de combustibles, que define qué tan probable es que un determinado tipo de cobertura vegetal pueda encenderse, dada su capacidad de ignición. Las características de combustibilidad de una determinada cobertura están dadas por lo siguientes tres parámetros:

Carga de combustible (Cc). Se define como la cantidad de combustible por unidad de área, es decir, la cantidad de biomasa viva (vegetación en pie) y muerta (ramas, hojarasca, material en descomposición, mantillo y humus), que se encuentra en una superficie. Esta carga de combustible se caracteriza por: 1) la *altura*: forma y tamaño del combustible, o sea, la altura de la cobertura y la forma dominante analizada mediante la fisionomía y la estructura vertical de la vegetación. Representa las posibilidades de que las coberturas puedan llegar a tener mayor sensibilidad al fuego; 2) la *cobertura* o *disposición espacial del combustible*: manera como un tipo de vegetación se distribuye en un terreno. Se considera con la proyección de la estructura horizontal de la vegetación en forma de copas y follaje que se traslapan o como individuos y componentes de la vegetación aislados entre sí. Esto genera mayor o menor grado de susceptibilidad, ya que el espacio entre las plantas aumenta o disminuye la susceptibilidad y el tipo de incendio; 3) la *biomasa:* cantidad de masa de la cobertura en una determinada área para establecer cuánto puede quemarse en un incendio; y 4) la *humedad del combustible*: coberturas qu permanecen húmedas y por tanto tienen menor susceptibilidad a los incendios.

Duración del material combustible (Dc). Las plantas que caracterizan por una cobertura según el biotipo o hábito de crecimiento y la composición dada por el grado de materiales combustibles, como la lignina, las resinas y loas exudados, los cuales hacen que pueda encenderse más rápidamente y que la quema dure más o menos tiempo.

Tipo de combustible (Tc). Hace referencia a las características fisionómico-estructurales de la vegetación presente, las cuales denotan la condición pirogénica, según los vegetales sean cualquier material vivo o muerto que puede entrar en combustión al aplicársele calor.

Importancia de la variable

La caracterización de la condición pirogénica de la cobertura vegetal define las propiedades de los tipos de vegetación y cobertura, que dependen de las estructuras horizontal y vertical de la vegetación, la composición (especies presentes) y el grado de fragmentación y conectividad entre los parches de vegetación. De acuerdo con esto, la caracterización brinda información relativa a la probabilidad de ocurrencia de incendios, para lo cual considera factores sobre la vegetación, variable que suele tener poca variabilidad temporal.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

Esta variable no generó ninguna exclusión (N1). Se estableció un rango de variación empleando los intervalos geométricos como método de agrupamiento del programa ArcGIS.

Limitantes de la evaluación de la variable

Al tener como base la capa oficial de coberturas de la tierra (2018) y su leyenda adaptada para Colombia (Ideam, 2010), la información expresó cierto nivel de discrepancia con la realidad en función de los errores asociados a la escala cartográfica. Adicionalmente, la estimación de la biomasa se realizó a través de imágenes MODIS, las cuales tienen como mayor limitante la resolución espacial y la temporalidad.

Metodología de procesamiento de la información

El modelo de combustibles desarrollado se estructuró mediante una clasificación jerárquica, conformada por las siguientes subvariables:

Tipo de combustible vegetal (Tc). Predominante por bioma y ecosistema, es un tipo de cobertura vegetal y biotipo ponderante. Esta subvariable se estimó a partir de la altura promedio de cada uno de los tipos de cobertura de acuerdo con el mapa de CLC de Colombia (IDEAM, 2021). La calificación de los tipos de combustible se llevó a cabo mediante la reclasificación del mapa de coberturas y se asignaron las calificaciones de aptitud que se presentan en la siguiente tabla:

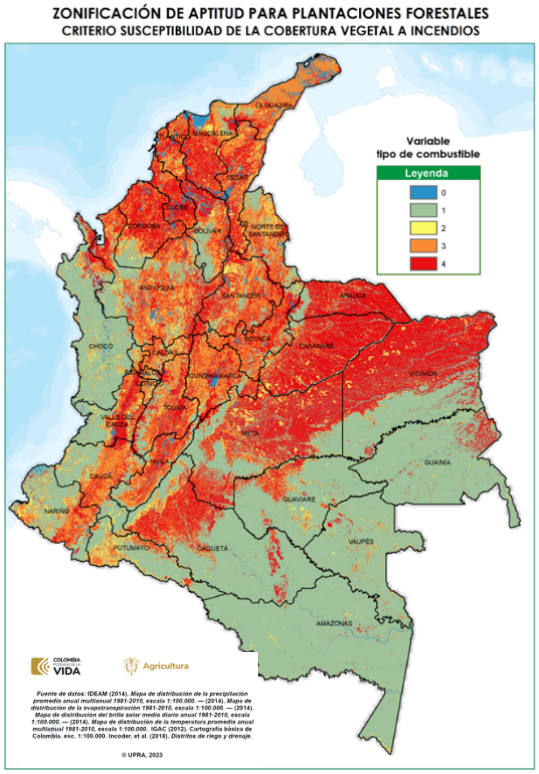
Tipo de combustible predominante	Leyenda	Calificación	Categoría de susceptibilidad
Árboles	2.2.2.3. Cacao	2	Baja
	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	2	Baja
	2.2.3.1. Otros cultivos permanentes arbóreos	2	Baja
	2.2.3.2. Palma de aceite	2	Baja
	2.2.3.3. Cítricos	2	Baja
	2.2.3.4. Mango	2	Baja
	3.1.1.1.1. Bosque denso alto de tierra firme	1	Baja
	3.1.1.1.2. Bosque denso alto inundable	1	Baja

	3.1.1.1.2.1. Bosque denso alto inundable heterogéneo	1	Baja
	3.1.1.1.2.2. Manglar denso alto	1	Baja
	3.1.1.1.2.3. Palmares	1	Baja
	3.1.1.2.1. Bosque denso bajo de tierra firme	1	Baja
	3.1.1.2.2. Bosque denso bajo inundable	1	Baja
	3.1.2.1.1. Bosque abierto alto de tierra firme	1	Baja
	3.1.2.1.2. Bosque abierto alto inundable	1	Baja
	3.1.2.2.1. Bosque abierto bajo de tierra firme	1	Baja
	3.1.2.2.2. Bosque abierto bajo inundable	1	Baja
	3.1.3. Bosque fragmentado	2	Baja
	3.1.3.1. Bosque fragmentado con pastos y cultivos	2	Baja
	3.1.3.2. Bosque fragmentado con vegetación secundaria	2	Baja
	3.1.4. Bosque de galería y ripario	1	Baja
	3.1.5. Plantación forestal	2	Baja
	3.1.5.1. Plantación de coníferas	2	Baja
	3.1.5.2. Plantación de latifoliadas	2	Baja
	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	2	Baja
	3.2.3.1. Vegetación secundaria alta	2	Baja
Árboles y Arbustos	3.2.3.2. Vegetación secundaria baja	3	Moderada
Árboles/hierbas	2.2.4. Cultivos agroforestales	3	Moderada
Arbustos	2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	3	Moderada
	2.2.2.2. Café	3	Moderada
	2.2.2.4. Viñedos	3	Moderada
	3.2.2.1. Arbustal denso	3	Moderada
	3.2.2.2. Arbustal abierto	3	Moderada
	3.2.2.2.2. Arbustal abierto mesófilo	3	Moderada
Hierbas	1.4.1.1. Otras zonas verdes urbanas	5	Alta
	1.4.1.2. Parques cementerio	5	Alta
	2.1.1. Otros cultivos transitorios	4	Alta
	2.1.2. Cereales	4	Alta
	2.1.2.1. Arroz	4	Alta
	2.1.2.2. Maíz	4	Alta
	2.1.2.3. Sorgo	4	Alta
	2.1.3. Oleaginosas y leguminosas	4	Alta
	2.1.3.1. Algodón	4	Alta
	2.1.3.4. Soya	4	Alta
	2.1.4. Hortalizas	4	Alta
	2.1.4.1. Cebolla	4	Alta
	2.1.5. Tubérculos	4	Alta
	2.1.5.1. Papa	4	Alta
	2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	4	Alta
	2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	4	Alta

	2.2.1.2. Caña	4	Alta
	2.2.1.2.1. Caña de azúcar	4	Alta
	2.2.1.2.2. Caña panelera	4	Alta
	2.2.1.3. Plátano y banano	4	Alta
	2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	3	Moderada
	2.4.1. Mosaico de cultivos	4	Alta
	3.2.1.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado	4	Alta
	3.2.1.1.1.2. Herbazal denso de tierra firme arbolado	4	Alta
	3.2.1.1.1.3. Herbazal denso de tierra firme con arbustos	4	Alta
	3.2.1.1.2. Herbazal denso inundable	4	Alta
	3.2.1.1.2.1. Herbazal denso inundable no arbolado	4	Alta
	3.2.1.1.2.2. Herbazal denso inundable arbolado	4	Alta
	3.2.1.1.2.3. Arracachal	4	Alta
	3.2.1.2.1. Herbazal abierto arenoso	4	Alta
	3.2.1.2.2. Herbazal abierto rocoso	4	Alta
	3.3.4. Zonas quemadas	5	Alta
	4.1.1. Zonas pantanosas	5	Alta
	4.1.2. Turberas	4	Alta
	4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	3	Moderada
No combustible	1.1.1. Tejido urbano continuo	0	Sin riesgo
	1.1.2. Tejido urbano discontinuo	0	Sin riesgo
	1.2.1. Zonas industriales o comerciales	0	Sin riesgo
	1.2.1.1. Zonas industriales	0	Sin riesgo
	1.2.1.2. Zonas comerciales	0	Sin riesgo
	1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	0	Sin riesgo
	1.2.2.1. Red vial y territorios asociados	0	Sin riesgo
	1.2.3. Zonas portuarias	0	Sin riesgo
	1.2.3.1. Zonas portuarias fluviales	0	Sin riesgo
	1.2.4. Aeropuertos	0	Sin riesgo
	1.2.4.1. Aeropuerto con infraestructura asociada	0	Sin riesgo
	1.2.4.2. Aeropuerto sin infraestructura asociada	0	Sin riesgo
	1.2.5. Obras hidráulicas	0	Sin riesgo
	1.3.1. Zonas de extracción minera	0	Sin riesgo
	1.3.1.1. Otras explotaciones mineras	0	Sin riesgo
	1.3.1.2. Explotación de hidrocarburos	0	Sin riesgo
	1.3.1.3. Explotación de carbón	0	Sin riesgo
	1.3.1.4. Explotación de oro	0	Sin riesgo
	1.3.1.5. Explotación de materiales de construcción	0	Sin riesgo

	1.3.1.6. Explotación de sal	0	Sin riesgo
	1.3.2. Zona de disposición de residuos	0	Sin riesgo
	1.3.2.1. Otros sitios de disposición de residuos a cielo abierto	0	Sin riesgo
	1.3.2.4. Relleno sanitario	0	Sin riesgo
	1.4.1. Zonas verdes urbanas	0	Sin riesgo
	1.4.1.6. Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas	0	Sin riesgo
	1.4.2. Instalaciones recreativas	0	Sin riesgo
	1.4.2.1. Áreas culturales	0	Sin riesgo
	1.4.2.2. Áreas deportivas	0	Sin riesgo
	1.4.2.3. Áreas turísticas	0	Sin riesgo
	2.2.5. Cultivos confinados	0	Sin riesgo
	3.3.1. Zonas arenosas naturales	0	Sin riesgo
	3.3.1.1. Playas	0	Sin riesgo
	3.3.1.2. Arenales	0	Sin riesgo
	3.3.1.3. Campos de dunas	0	Sin riesgo
	3.3.2. Afloramientos rocosos	0	Sin riesgo
	3.3.3. Tierras desnudas y degradadas	0	Sin riesgo
	4.2.1. Pantanos costeros	0	Sin riesgo
	4.2.2. Salitral	0	Sin riesgo
	4.2.3. Sedimentos expuestos en bajamar	0	Sin riesgo
	5.1.1. Ríos	0	Sin riesgo
	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales	0	Sin riesgo
	5.1.3. Canales	0	Sin riesgo
	5.1.4. Cuerpos de agua artificiales	0	Sin riesgo
	5.1.4.1. Embalses	0	Sin riesgo
	5.1.4.2. Lagunas de oxidación	0	Sin riesgo
	5.1.4.3. Estanques para acuicultura continental	0	Sin riesgo
	5.2.1. Lagunas costeras	0	Sin riesgo
	5.2.3. Estanques para acuicultura marina	0	Sin riesgo
Pastos	2.3.1. Pastos limpios	5	Alta
	2.3.2. Pastos arbolados	5	Alta
	2.3.3. Pastos enmalezados	5	Alta
Pastos y árboles	2.2.4.1. Pastos y árboles plantados	3	Moderada
Pastos/Hierbas	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	3	Moderada
	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	3	Moderada
	2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	3	Moderada
	2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales	3	Moderada

Mapa de reclasificación de tipo de combustibles



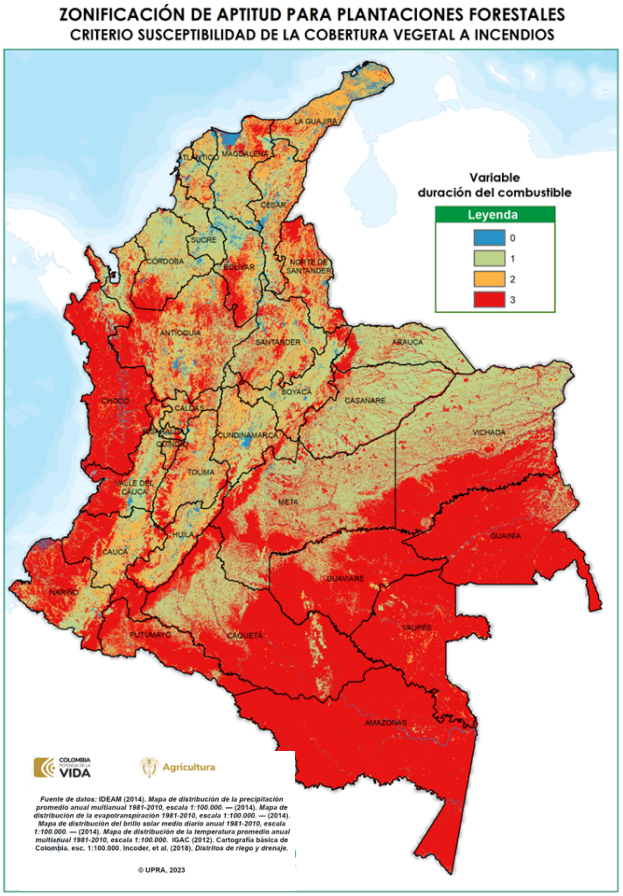
Duración del tipo de combustible dominante (Dc). Duración, en horas, de cada tipo de combustible definida en horas de ignición (1 h, 10 h, 100 h). Esta subvariable se estimó de acuerdo con la metodología del Ideam (2011) al actualizar la información a las coberturas Corine Land Cover 2018. Las tablas que se presentan a continuación muestran la forma de reclasificación de las variables y la cualificación según la mayor o menor probabilidad de susceptibilidad dada por la subvariable y el mapa de los resultados del análisis.

Duración combustible	Leyenda	Calificación	Categoría susceptibilidad
1 hora	1.4.1.1. Otras zonas verdes urbanas	1	Baja
	1.4.1.2. Parques cementerio	1	Baja
	2.1.1. Otros cultivos transitorios	1	Baja
	2.1.2. Cereales	1	Baja
	2.1.2.1. Arroz	1	Baja
	2.1.2.2. Maíz	1	Baja
	2.1.2.3. Sorgo	1	Baja
	2.1.3. Oleaginosas y leguminosas	1	Baja
	2.1.3.1. Algodón	1	Baja
	2.1.3.4. Soya	1	Baja
	2.1.4. Hortalizas	1	Baja
	2.1.4.1. Cebolla	1	Baja

	2.1.5. Tubérculos	1	Baja
	2.1.5.1. Papa	1	Baja
	2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	1	Baja
	2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	1	Baja
	2.2.1.2. Caña	1	Baja
	2.2.1.2.1. Caña de azúcar	1	Baja
	2.2.1.2.2. Caña panelera	1	Baja
	2.2.1.3. Plátano y banano	1	Baja
	2.2.4.1. Pastos y árboles plantados	1	Baja
	2.3.1. Pastos limpios	1	Baja
	2.3.2. Pastos arbolados	1	Baja
	2.3.3. Pastos enmalezados	1	Baja
	2.4.1. Mosaico de cultivos	1	Baja
	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	1	Baja
	3.2.1.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado	1	Baja
	3.2.1.1.1.2. Herbazal denso de tierra firme arbolado	1	Baja
	3.2.1.1.1.3. Herbazal denso de tierra firme con arbustos	1	Baja
	3.2.1.1.2. Herbazal denso inundable	1	Baja
	3.2.1.1.2.1. Herbazal denso inundable no arbolado	1	Baja
	3.2.1.1.2.2. Herbazal denso inundable arbolado	1	Baja
	3.2.1.1.2.3. Arracachal	1	Baja
	3.2.1.2.1. Herbazal abierto arenoso	1	Baja
	3.2.1.2.2. Herbazal abierto rocoso	1	Baja
	3.3.4. Zonas quemadas	1	Baja
	4.1.1. Zonas pantanosas	1	Baja
	4.1.2. Turberas	1	Baja
10 horas	2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	2	Moderada
	2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	2	Moderada
	2.2.2.2. Café	2	Moderada
	2.2.2.4. Viñedos	2	Moderada
	2.2.4. Cultivos agroforestales	2	Moderada
	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	2	Moderada
	2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	2	Moderada
	2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales	2	Moderada
	3.2.2.1. Arbustal denso	2	Moderada
	3.2.2.2. Arbustal abierto	2	Moderada
	3.2.2.2.2. Arbustal abierto mesófilo	2	Moderada
	3.2.3.2. Vegetación secundaria baja	2	Moderada
	4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	2	Moderada
100 horas	2.2.2.3. Cacao	3	Alta
	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	3	Alta
	2.2.3.1. Otros cultivos permanentes arbóreos	3	Alta
	2.2.3.2. Palma de aceite	3	Alta

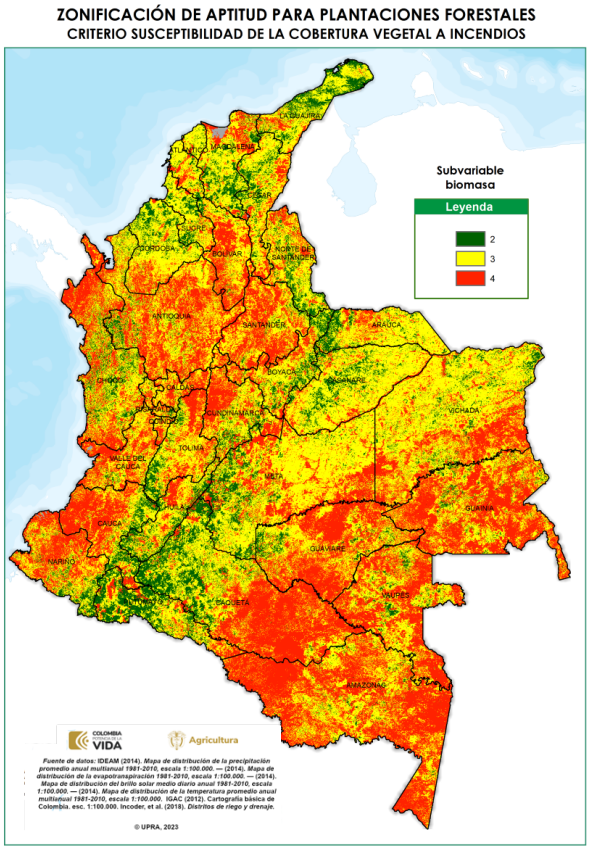
	2.2.3.3. Cítricos	3	Alta
	2.2.3.4. Mango	3	Alta
	3.1.1.1.1. Bosque denso alto de tierra firme	3	Alta
	3.1.1.1.2. Bosque denso alto inundable	3	Alta
	3.1.1.1.2.1. Bosque denso alto inundable heterogéneo	3	Alta
	3.1.1.1.2.2. Manglar denso alto	3	Alta
	3.1.1.1.2.3. Palmares	3	Alta
	3.1.1.2.1. Bosque denso bajo de tierra firme	3	Alta
	3.1.1.2.2. Bosque denso bajo inundable	3	Alta
	3.1.2.1.1. Bosque abierto alto de tierra firme	3	Alta
	3.1.2.1.2. Bosque abierto alto inundable	3	Alta
	3.1.2.2.1. Bosque abierto bajo de tierra firme	3	Alta
	3.1.2.2.2. Bosque abierto bajo inundable	3	Alta
	3.1.3. Bosque fragmentado	3	Alta
	3.1.3.1. Bosque fragmentado con pastos y cultivos	3	Alta
	3.1.3.2. Bosque fragmentado con vegetación secundaria	3	Alta
	3.1.4. Bosque de galería y ripario	3	Alta
	3.1.5. Plantación forestal	3	Alta
	3.1.5.1. Plantación de coníferas	3	Alta
	3.1.5.2. Plantación de latifoliadas	3	Alta
	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	3	Alta
	3.2.3.1. Vegetación secundaria alta	3	Alta
No combustible	1.1.1. Tejido urbano continuo	0	Sin riesgo
	1.1.2. Tejido urbano discontinuo	0	Sin riesgo
	1.2.1. Zonas industriales o comerciales	0	Sin riesgo
	1.2.1.1. Zonas industriales	0	Sin riesgo
	1.2.1.2. Zonas comerciales	0	Sin riesgo
	1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	0	Sin riesgo
	1.2.2.1. Red vial y territorios asociados	0	Sin riesgo
	1.2.3. Zonas portuarias	0	Sin riesgo
	1.2.3.1. Zonas portuarias fluviales	0	Sin riesgo
	1.2.4. Aeropuertos	0	Sin riesgo
	1.2.4.1. Aeropuerto con infraestructura asociada	0	Sin riesgo
	1.2.4.2. Aeropuerto sin infraestructura asociada	0	Sin riesgo
	1.2.5. Obras hidráulicas	0	Sin riesgo
	1.3.1. Zonas de extracción minera	0	Sin riesgo
	1.3.1.1. Otras explotaciones mineras	0	Sin riesgo
	1.3.1.2. Explotación de hidrocarburos	0	Sin riesgo
	1.3.1.3. Explotación de carbón	0	Sin riesgo
	1.3.1.4. Explotación de oro	0	Sin riesgo
	1.3.1.5. Explotación de materiales de construcción	0	Sin riesgo
	1.3.1.6. Explotación de sal	0	Sin riesgo
	1.3.2. Zona de disposición de residuos	0	Sin riesgo

	1.3.2.1. Otros sitios de disposición de residuos a cielo abierto	0	Sin riesgo
	1.3.2.4. Relleno sanitario	0	Sin riesgo
	1.4.1. Zonas verdes urbanas	0	Sin riesgo
	1.4.1.6. Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas	0	Sin riesgo
	1.4.2. Instalaciones recreativas	0	Sin riesgo
	1.4.2.1. Áreas culturales	0	Sin riesgo
	1.4.2.2. Áreas deportivas	0	Sin riesgo
	1.4.2.3. Áreas turísticas	0	Sin riesgo
	2.2.5. Cultivos confinados	0	Sin riesgo
	3.3.1. Zonas arenosas naturales	0	Sin riesgo
	3.3.1.1. Playas	0	Sin riesgo
	3.3.1.2. Arenales	0	Sin riesgo
	3.3.1.3. Campos de dunas	0	Sin riesgo
	3.3.2. Afloramientos rocosos	0	Sin riesgo
	3.3.3. Tierras desnudas y degradadas	0	Sin riesgo
	4.2.1. Pantanos costeros	0	Sin riesgo
	4.2.2. Salitral	0	Sin riesgo
	4.2.3. Sedimentos expuestos en bajamar	0	Sin riesgo
	5.1.1. Ríos	0	Sin riesgo
	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales	0	Sin riesgo
	5.1.3. Canales	0	Sin riesgo
	5.1.4. Cuerpos de agua artificiales	0	Sin riesgo
	5.1.4.1. Embalses	0	Sin riesgo
	5.1.4.2. Lagunas de oxidación	0	Sin riesgo
	5.1.4.3. Estanques para acuicultura continental	0	Sin riesgo
	5.2.1. Lagunas costeras	0	Sin riesgo
	5.2.3. Estanques para acuicultura marina	0	Sin riesgo



Carga total de combustible (Cc). Caracterización cuali-cuantitativa qued depende de la cantidad de biomasa presente en cada tipo de cobertura expresada como biomasa aérea en toneladas por hectárea. La estimación se realizó a partir de la aplicación de las ecuaciones elaboradas por Páramo (2011) sobre el índice normalizado del infrarrojo obtenido de imágenes MODIS del año 2021 (MODIS MOD13Q1 v006 Banda 7 (SWIR). Los rangos de calificación se describen en la siguiente tabla:

Carga total	Calificación
No combustible (menos 10 t/ha)	1
10-50 t/ha	2
50-100 t/ha	3
más de 100 t/ha	4



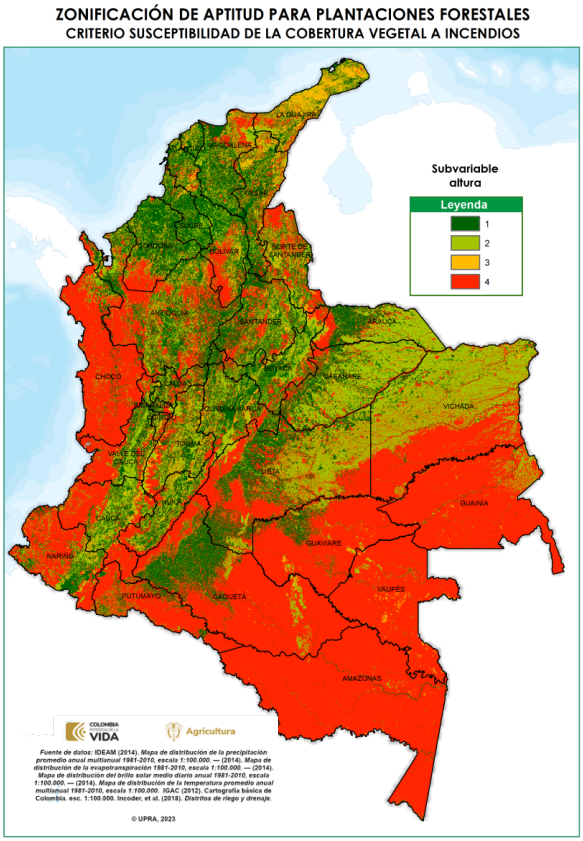
Altura promedio de cada uno de los tipos de cobertura de acuerdo con el mapa de CLC de Colombia (Ideam, 2021). En la tabla siguiente se registran los valores por grupo.

Grupo	Leyenda	Calificación
1	1.1.1. Tejido urbano continuo	0
	1.1.2. Tejido urbano discontinuo	0
	1.2.1. Zonas industriales o comerciales	0
	1.2.1.1. Zonas industriales	0
	1.2.1.2. Zonas comerciales	0
	1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	0
	1.2.2.1. Red vial y territorios asociados	0
	1.2.3. Zonas portuarias	0
	1.2.3.1. Zonas portuarias fluviales	0
	1.2.4. Aeropuertos	0
	1.2.4.1. Aeropuerto con infraestructura asociada	0
	1.2.4.2. Aeropuerto sin infraestructura asociada	0
	1.2.5. Obras hidráulicas	0
	1.3.1. Zonas de extracción minera	0
	1.3.1.1. Otras explotaciones mineras	0
	1.3.1.2. Explotación de hidrocarburos	0
	1.3.1.3. Explotación de carbón	0

	1.3.1.4. Explotación de oro	0
	1.3.1.5. Explotación de materiales de construcción	0
	1.3.1.6. Explotación de sal	0
	1.3.2. Zona de disposición de residuos	0
	1.3.2.1. Otros sitios de disposición de residuos a cielo abierto	0
	1.3.2.4. Relleno sanitario	0
	1.4.1. Zonas verdes urbanas	0
	1.4.1.6. Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas	0
	1.4.2. Instalaciones recreativas	0
	1.4.2.1. Áreas culturales	0
	1.4.2.2. Áreas deportivas	0
	1.4.2.3. Áreas turísticas	0
	2.2.5. Cultivos confinados	0
	2.3.1. Pastos limpios	0
	2.3.3. Pastos enmalezados	0
	2.4.1. Mosaico de cultivos	0
	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	0
	3.3.1. Zonas arenosas naturales	0
	3.3.1.1. Playas	0
	3.3.1.2. Arenales	0
	3.3.1.3. Campos de dunas	0
	3.3.2. Afloramientos rocosos	0
	3.3.3. Tierras desnudas y degradadas	0
	4.1.1. Zonas pantanosas	0
	4.1.2. Turberas	0
	4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	0
	4.2.1. Pantanos costeros	0
	4.2.2. Salitral	0
	4.2.3. Sedimentos expuestos en bajamar	0
	5.1.1. Ríos	0
	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales	0
	5.1.3. Canales	0
	5.1.4. Cuerpos de agua artificiales	0
	5.1.4.1. Embalses	0
	5.1.4.2. Lagunas de oxidación	0
	5.1.4.3. Estanques para acuicultura continental	0
	5.2.1. Lagunas costeras	0
	5.2.3. Estanques para acuicultura marina	0
2	1.4.1.1. Otras zonas verdes urbanas	1
	1.4.1.2. Parques cementerio	1
	2.1.1. Otros cultivos transitorios	1
	2.1.2. Cereales	1
	2.1.2.1. Arroz	1
	2.1.2.2. Maíz	1

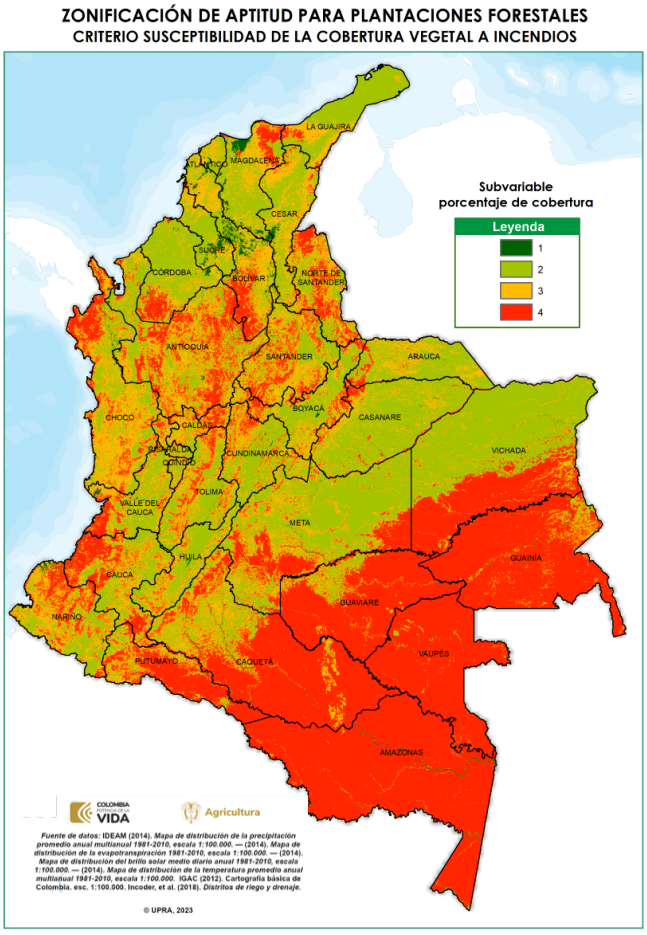
	2.1.2.3. Sorgo	1
	2.1.3. Oleaginosas y leguminosas	1
	2.1.3.1. Algodón	1
	2.1.3.4. Soya	1
	2.1.4. Hortalizas	1
	2.1.4.1. Cebolla	1
	2.1.5. Tubérculos	1
	2.1.5.1. Papa	1
	2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	1
	2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	1
	2.2.1.2. Caña	1
	2.2.1.2.1. Caña de azúcar	1
	2.2.1.2.2. Caña panelera	1
	2.2.1.3. Plátano y banano	1
	2.3.2. Pastos arbolados	1
	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	1
	2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	1
	2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales	1
	3.2.1.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado	1
	3.2.1.1.1.2. Herbazal denso de tierra firme arbolado	1
	3.2.1.1.1.3. Herbazal denso de tierra firme con arbustos	1
	3.2.1.1.2. Herbazal denso inundable	1
	3.2.1.1.2.1. Herbazal denso inundable no arbolado	1
	3.2.1.1.2.2. Herbazal denso inundable arbolado	1
	3.2.1.2.1. Herbazal abierto arenoso	1
	3.2.1.2.2. Herbazal abierto rocoso	1
	3.3.4. Zonas quemadas	1
3	2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	2
	2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	2
	2.2.2.2. Café	2
	2.2.2.4. Viñedos	2
	2.2.4.1. Pastos y árboles plantados	2
	3.2.1.1.2.3. Arracachal	2
	3.2.2.1. Arbustal denso	2
	3.2.2.2. Arbustal abierto	2
	3.2.2.2.2. Arbustal abierto mesófilo	2
	3.2.3.2. Vegetación secundaria baja	2
4	2.2.2.3. Cacao	3
	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	3
	2.2.3.1. Otros cultivos permanentes arbóreos	3
	2.2.3.2. Palma de aceite	3
	2.2.3.3. Cítricos	3
	2.2.3.4. Mango	3
	2.2.4. Cultivos agroforestales	3

	3.1.1.1.1. Bosque denso alto de tierra firme	3
	3.1.1.1.2. Bosque denso alto inundable	3
	3.1.1.1.2.1. Bosque denso alto inundable heterogéneo	3
	3.1.1.1.2.2. Manglar denso alto	3
	3.1.1.1.2.3. Palmares	3
	3.1.1.2.1. Bosque denso bajo de tierra firme	3
	3.1.1.2.2. Bosque denso bajo inundable	3
	3.1.2.1.1. Bosque abierto alto de tierra firme	3
	3.1.2.1.2. Bosque abierto alto inundable	3
	3.1.2.2.1. Bosque abierto bajo de tierra firme	3
	3.1.2.2.2. Bosque abierto bajo inundable	3
	3.1.3. Bosque fragmentado	3
	3.1.3.1. Bosque fragmentado con pastos y cultivos	3
	3.1.3.2. Bosque fragmentado con vegetación secundaria	3
	3.1.4. Bosque de galería y ripario	3
	3.1.5. Plantación forestal	3
	3.1.5.1. Plantación de coníferas	3
	3.1.5.2. Plantación de latifoliadas	3
	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	3
	3.2.3.1. Vegetación secundaria alta	3

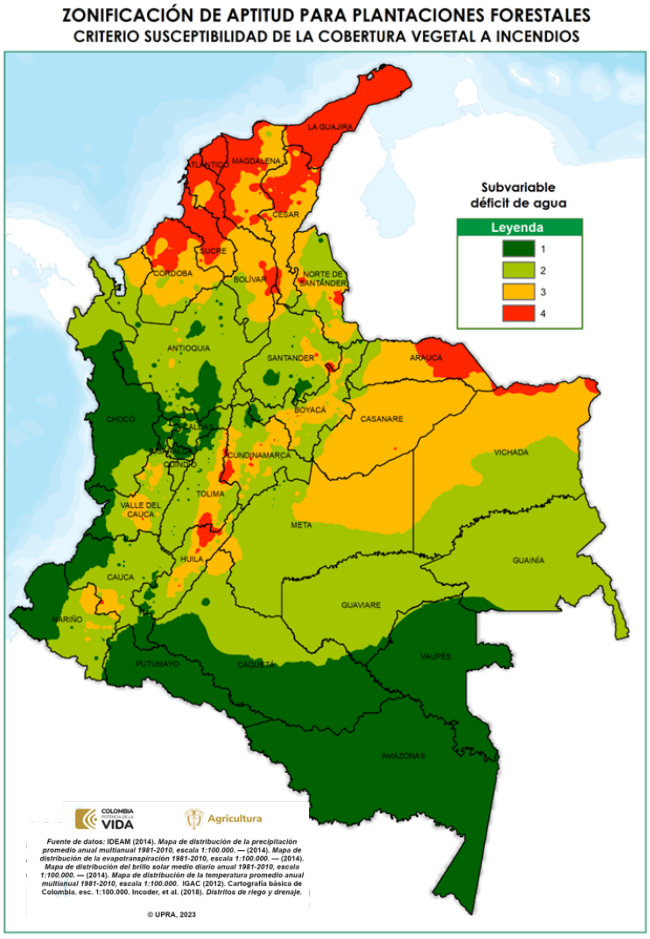


Cobertura. Expresada como porcentaje de proyección de la vegetación sobre el sustrato a partir de una imagen MODIS (MOD44B-v006) de añol 2021 del producto *vegetation continuos field* (VCF). Así, se definieron las siguientes categorías:

1-30 % = 1.
30-60 % = 2.
60-100 = 3.
>100 (no combustible) = 0.



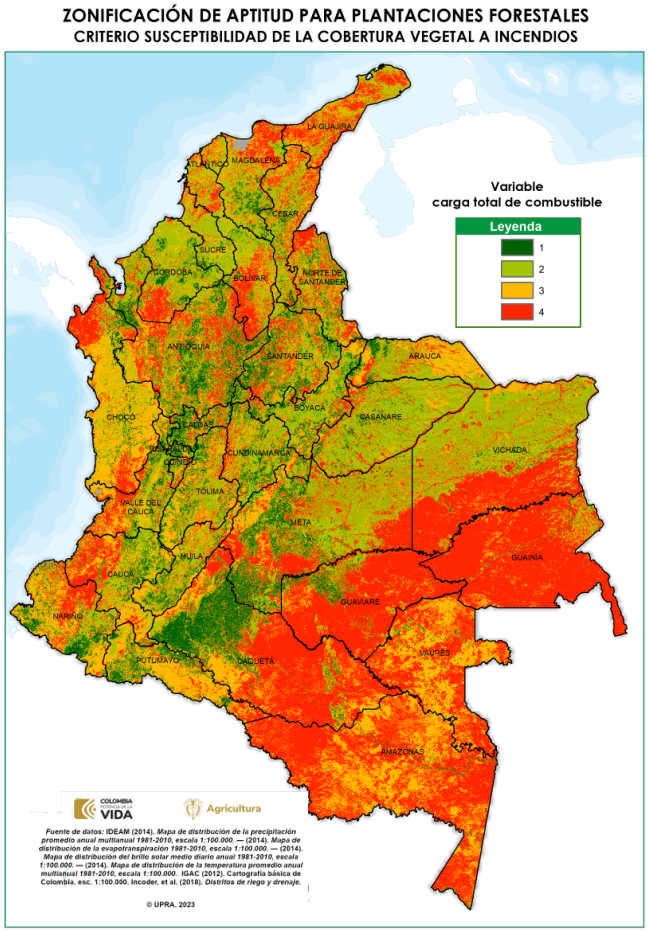
Déficit de agua (Da). Medida indirecta de la humedad media de la vegetación obtenida a través de una distribución cualitativa de los valores estimados de precipitación y de meses secos continuos en una zona dada. Ser llevó a cabo a partir de la clasificación de rangos propuesta por la Unesco.



Se realizó la integración de las subvariables de carga total de combustible a partir de la siguiente expresión:

Carga total de combustible = (altura * 0,3235) + (cobertura * 0,1452) + (biomasa * 0,2137) + (humedad * 0,1074)

De acuerdo con lo anterior, se obtuvo el siguiente mapa a partir de la reclasificación basada en intervalos geométricos.

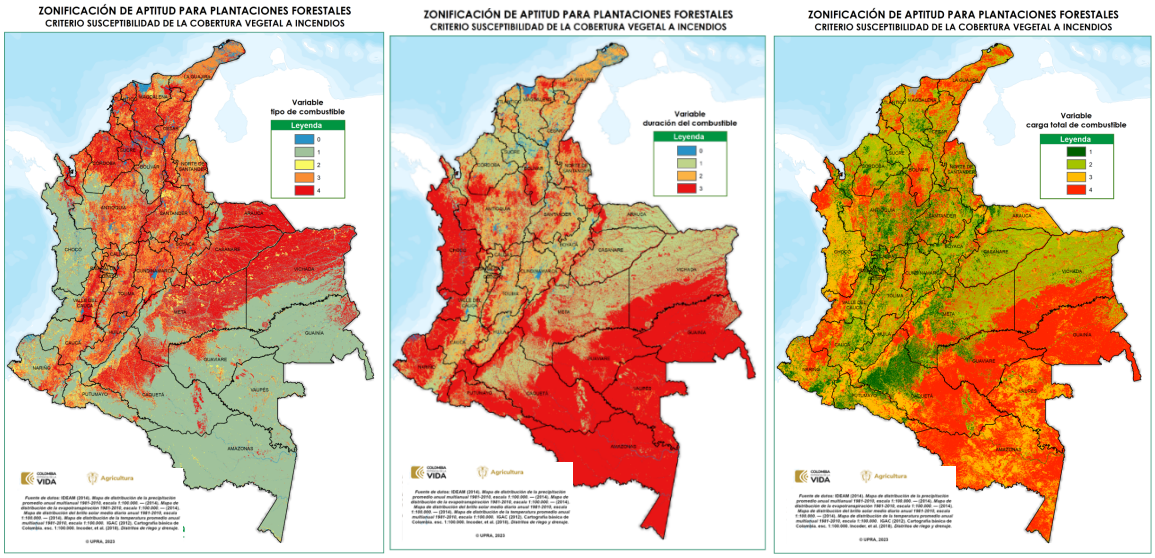


Acto seguido, se realizó la integración de las subvariables *tipo de combustibles* (Tc), *duración del tipo de combustible dominante* (Dc) y *carga total de combustibles* (Cc) para elaborar el mapa del grado de pirogenicidad de la cobertura a partir de factores de peso que ponderan cada una de las variables. Para ello, se hizo uso del modelamiento espacial (álgebra de mapas) realizado con el sistema de información geográfico ArcGIS. Los factores de ponderación se establecieron en la siguiente ecuación:

$$\sum[(Tc * 0{,}35) + (Dc * 0{,}35) + (Cc * 0{,}33)]$$

La siguiente figura muestra la conjugación de las diferentes subvariables para la obtención del mapa final de la variable condiciones de pirogenicidad de las coberturas:

Grado de pirogenicidad de la cobertura



$$[(Tc * 0{,}35) + (Dc * 0{,}35) + (Cc * 0{,}33)]$$

Rangos para la asignación de valores de aptitud

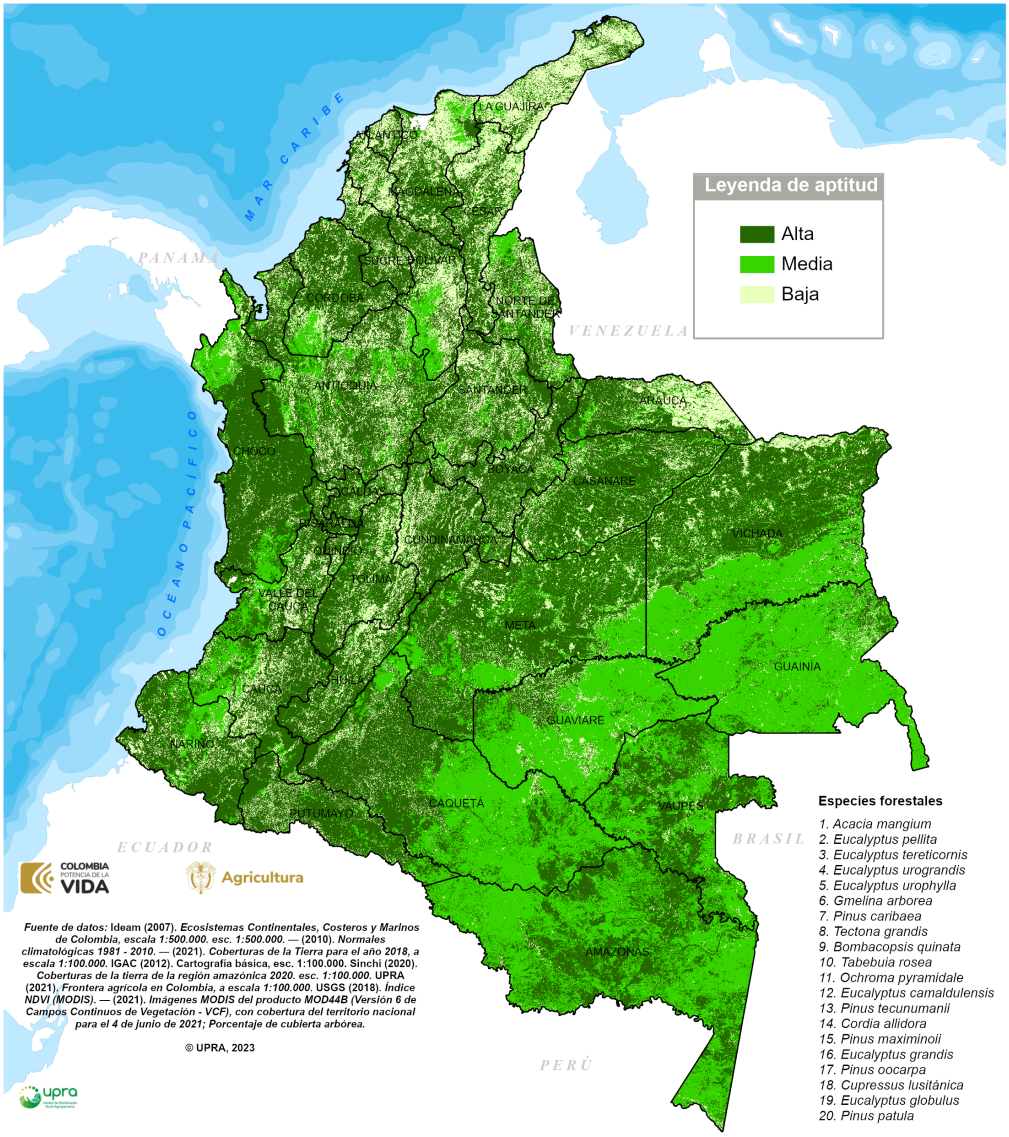
Aptitud por condiciones de pirogenicidad de las coberturas para plantaciones forestales

Descripción	Rango de susceptibilidad	Aptitud
Susceptibilidad baja de la cobertura vegetal a incendios por condiciones bajas de pirogenicidad	0,3-2,35	Alta (A1)
Susceptibilidad media de la cobertura vegetal a incendios por condiciones moderadas de pirogenicidad	2,35-2,6	Media (A2)
Susceptibilidad alta de la cobertura vegetal a incendios por condiciones altas de pirogenicidad	>2,6	Baja (A3)

Unidad de análisis

Polígono de condición de pirogenicidad.

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO SUSCEPTIBILIDAD DE LA COBERTURA VEGETAL A INCENDIOS
Variable condiciones de pirogenicidad de las coberturas

Fuentes de información

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2010). Leyenda nacional de coberturas de la tierra: metodología CORINE Land Cover, adaptada para Colombia, escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). https://n9.cl/23v8d

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2011). *Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal: escala 1:100.000/Ajustado*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). https://n9.cl/hycl3

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2021). *Mapa nacional de cobertura de la tierra, imágenes 2018-2020, escala 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Páramo-Rocha, G.E. (2011). Susceptibilidad de las coberturas vegetales de Colombia al fuego. En Parra, A.C. (Ed). Incendios de la cobertura vegetal en Colombia. Tomo I (pp. 73-144). Universidad Autónoma de Occidente, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Red Colombiana de Formación Ambiental. https://n9.cl/sb0yr

2.5.2. Variable *influencia del fuego sobre los ecosistemas*

<table>
<tr><th colspan="3">Ficha metodológica de la variable</th></tr>
<tr><td colspan="2">Tipo de utilización de la tierra (TUT)</td><td>Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia</td></tr>
<tr><td colspan="3">Componente: socioecosistémico</td></tr>
<tr><td colspan="3">Criterio asociado: susceptibilidad de la cobertura vegetal a incendios</td></tr>
<tr><td colspan="2">Variable:
influencia del fuego sobre los ecosistemas</td><td>Unidad de medida:
categoría cualitativa de clasificación de los ecosistemas por su adaptación al fuego</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="4">Tipo de criterio asociado</td><td>Exclusión técnica</td><td></td></tr>
<tr><td>Análisis jerárquico</td><td>✓</td></tr>
<tr><td>Exclusión legal</td><td></td></tr>
<tr><td>Condicionante legal</td><td></td></tr>
</table>

Definición

Diferenciación de los ecosistemas de acuerdo con los regímenes de fuegos. Los ecosistemas se puede describir según los regímenes de fuego típicos, los cuales actúan en un rango deseado de variación de las características específicas de los regímenes de incendios. Los ecosistemas y los principales tipos de hábitat pueden clasificarse como pertenecientes a categorías amplias de regímenes de fuego: dependientes, influidos por el fuego, sensibles o independientes del fuego, o como no combustibles, como se definen a continuación.

Ecosistemas independientes del fuego. En ellos, el fuego desempeña un papel muy pequeño en la dinámica del ecosistema, pues son ecosistemas en los cuales no se requiere del fuego como un factor detonante para que se generen los mecanismos propios de sucesión.

Ecosistemas sensibles al fuego. En ellos no se han desarrollado una intervención del fuego como un proceso natural. Son altamente sensibles al fuego, ya que no están adaptados para resistir las quemas, aunque son más resistentes que los independientes del fuego.

Ecosistemas influidos por el fuego. Se encuentran frecuentemente en la zona de transición entre los ecosistemas dependientes del fuego, los sensibles al fuego o los independientes del fuego.

Ecosistemas dependientes del fuego. En ellos el fuego es un proceso absolutamente esencial. Las especies han desarrollado adaptaciones para responder positivamente al fuego y facilitar su propagación, lo cual configura regímenes que varían en frecuencia, intensidad e impacto.

Importancia de la variable

Los regímenes del fuego son esenciales para determinar si la influencia de un incendio, de origen natural o antrópico, puede ser beneficiosa, benigna o dañina para los ecosistemas y cómo operan los diferentes atributos clave de adaptabilidad al fuego dentro de un rango conocido o esperado.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

Esta variable no generó exclusión técnica (N1). Se estableció un rango de variación empleando los intervalos geométricos como método de agrupamiento del programa ArcGIS

Limitantes de la evaluación de la variable

Al tener como base la capa oficial de coberturas de la tierra 2018 y la leyenda adaptada para Colombia (Ideam, 2010), la información tuvo cierto nivel de discrepancia con la realidad en función de los errores asociados a la escala cartográfica

Metodología de procesamiento de la información

El proceso metodológico que se llevó a cabo para establecer la influencia del fuego en los ecosistemas se basó en el análisis de cada una de las categorías definidas en el mapa de ecosistemas continentales y marinos de Colombia (Ideam *et al*., 2015) de acuerdo con las características que cada ecosistema presentado puede tener frente a la resistencia y adaptabilidad al fuego. Posteriormente, se desarrolló una reclasificación en términos de influencia del fuego según las tablas descritas por Páramo (2011).

Rangos para la asignación de valores de aptitud

Calificación de la variable *influencia del fuego sobre los ecosistemas*

Fuego	Bioma	Coberturas
Dependiente	Helobiomas de la Amazonia y la Orinoquia	Herbazal denso de tierra firme arbolado, herbazal denso de tierra firme con arbustos, herbazal denso de tierra firme no arbolado, herbazal abierto arenoso, herbazal abierto rocoso, herbazal denso de tierra firme arbolado, herbazal denso de tierra firme con arbustos, herbazal denso de tierra firme no arbolado, herbazal denso inundable, herbazal denso inundable arbolado, herbazal denso inundable no arbolado, pastos arbolados, pastos enmalezados, pastos limpios,
	Litobiomas de la Amazonia y la Orinoquia	
	Peinobiomas de la Amazonia y la Orinoquia	
Independientes	Bioma insular del Caribe	

	Halobioma del Caribe	Herbazal denso de tierra firme arbolado, herbazal denso de tierra firme con arbustos, herbazal denso de tierra firme no arbolado, aeropuerto con infraestructura asociada, aeropuerto sin infraestructura asociada, aeropuertos, arbustal abierto, arbustal abierto mesófilo, arbustal denso, áreas culturales, áreas deportivas, áreas turísticas, bosque abierto alto de tierra firme, bosque abierto alto inundable, bosque abierto bajo de tierra firme, bosque abierto bajo inundable, bosque de galería y ripario, bosque denso alto de tierra firme, bosque denso alto inundable, bosque denso bajo de tierra firme, bosque denso bajo inundable, bosque fragmentado, bosque fragmentado con pastos y cultivos, bosque fragmentado con vegetación secundaria, explotación de carbón, explotación de hidrocarburos, explotación de materiales de construcción, explotación de oro, explotación de sal, herbazal abierto arenoso, herbazal abierto rocoso, herbazal denso de tierra firme arbolado, herbazal denso de tierra firme con arbustos, herbazal denso de tierra firme no arbolado, herbazal denso inundable, herbazal denso inundable arbolado, herbazal denso inundable no arbolado, instalaciones recreativas, jardines botánicos, manglar denso alto, obras hidráulicas, otras explotaciones mineras, otras zonas verdes urbanas,
	Halobiomas del Pacífico	
	Helobioma de La Guajira	
	Helobiomas andinos	
	Helobiomas de la Amazonia y la Orinoquia	
	Helobiomas del Magdalena y el Caribe	
	Helobiomas del Pacífico y el Atrato	
	Helobiomas del río Zulia	
	Helobiomas del Valle del Cauca	
	Litobiomas de la Amazonia y la Orinoquia	
	Orobioma alto de Santa Marta	
	Orobioma bajo de Santa Marta y Macuira	
	Orobioma de La Macarena	
	Orobioma de San Lucas	
	Orobioma del Baudó y el Darién	
	Orobiomas altos de los Andes	
	Orobiomas azonales de Cúcuta	
	Orobiomas azonales del río Sogamoso	
	Orobiomas azonales del valle del Patía	
	Orobiomas azonales del río Dagua	
	Orobiomas bajos de los Andes	
	Orobiomas medios de los Andes	
	Peinobiomas de la Amazonia y la Orinoquia	
	Zonobioma alternohígrico o subxerofítico tropical del Alto Magdalena	
	Zonobioma alternohígrico o subxerofítico tropical del Valle del Cauca	
	Zonobioma del desierto tropical de La Guajira y Santa Marta	
	Zonobioma húmedo tropical de la Amazonia y la Orinoquia	
	Zonobioma húmedo tropical del Catatumbo	
	Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y el Caribe	
	Zonobioma húmedo tropical del Pacífico y el Atrato	
	Zonobioma seco tropical del Caribe	

		otros sitios de disposición de residuos a cielo abierto, parques cementerio, parques urbanos, pastos enmalezados, pastos limpios, plantación de latifoliadas, plantación forestal, red vial y territorios asociados, red vial, ferroviaria y terrenos asociados, relleno sanitario, rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas, tejido urbano continuo, tejido urbano discontinuo, vegetación secundaria alta, vegetación secundaria baja, zona de disposición de residuos, zona de extracción minera, zonas comerciales, zonas de extracción minera, zonas industriales, zonas industriales o comerciales, zonas portuarias, zonas portuarias fluviales, zonas portuarias marítimas, zonas verdes urbanas
Influidos	Bioma insular del Caribe	Herbazal denso de tierra firme arbolado, herbazal denso de tierra firme con arbustos, herbazal denso de tierra firme no arbolado, algodón, arbustal abierto, arbustal denso, arracachal, arroz, bosque abierto alto de tierra firme, bosque abierto bajo de tierra firme, bosque abierto bajo inundable, bosque de galería y ripario, bosque denso alto de tierra firme, bosque denso alto inundable, bosque denso bajo de tierra firme, bosque denso bajo inundable, bosque fragmentado con pastos y cultivos, bosque fragmentado con vegetación secundaria,
	Halobioma del Caribe	
	Halobiomas del Pacífico	
	Helobiomas andinos	
	Helobiomas de la Amazonia y la Orinoquia	
	Helobiomas del Magdalena y el Caribe	
	Helobiomas del Pacífico y el Atrato	
	Helobiomas del río Zulia	
	Helobiomas del Valle del Cauca	
	Litobiomas de la Amazonia y la Orinoquia	
	Orobioma alto de Santa Marta	
	Orobioma bajo de Santa Marta y Macuira	
	Orobioma de La Macarena	
	Orobioma de San Lucas	
	Orobioma del Baudó y el Darién	
	Orobioma medio de Santa Marta	
	Orobiomas altos de los Andes	
	Orobiomas azonales de Cúcuta	
	Orobiomas azonales del río Sogamoso	

	Orobiomas azonales del Valle del Patía	cacao, café, caña, caña de azúcar, caña panelera, cebolla, cereales, cítricos, cultivos agroforestales, cultivos confinados, cultivos permanentes arbóreos, cultivos permanentes arbustivos, cultivos permanentes herbáceos, cultivos y árboles plantados, herbazal abierto arenoso, herbazal abierto rocoso, herbazal denso de tierra firme arbolado, herbazal denso de tierra firme con arbustos, herbazal denso de tierra firme no arbolado, herbazal denso inundable, herbazal denso inundable arbolado, herbazal denso inundable no arbolado, hortalizas, maíz, mango, mosaico de cultivos, mosaico de cultivos con espacios naturales, mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, mosaico de pastos con espacios naturales, mosaico de pastos y cultivos, oleaginosas y leguminosas, otros cultivos permanentes arbóreos, otros cultivos permanentes arbustivos, otros cultivos permanentes herbáceos, otros cultivos transitorios, palma de aceite, papa, pastos arbolados, pastos enmalezados, pastos limpios, pastos y árboles plantados, plátano y banano, sorgo, soya, tubérculos, vegetación secundaria alta, vegetación secundaria baja, vegetación secundaria o en transición, viñedos.
	Orobiomas azonales del río Dagua	
	Orobiomas bajos de los Andes	
	Orobiomas medios de los Andes	
	Peinobiomas de la Amazonia y la Orinoquia	
	Zonobioma alternohígrico o subxerofítico tropical del Alto Magdalena	
	Zonobioma alternohígrico o subxerofítico tropical del Valle del Cauca	
	Zonobioma húmedo tropical de la Amazonia y la Orinoquia	
	Zonobioma húmedo tropical del Catatumbo	
	Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y el Caribe	
	Zonobioma húmedo tropical del Pacífico y el Atrato	
	Zonobioma seco tropical del Caribe	
	Halobioma del Caribe	Afloramientos rocosos, arenales, campos de dunas, canales, cuerpos de agua
	Halobiomas del Pacífico	
	Helobioma de La Guajira	

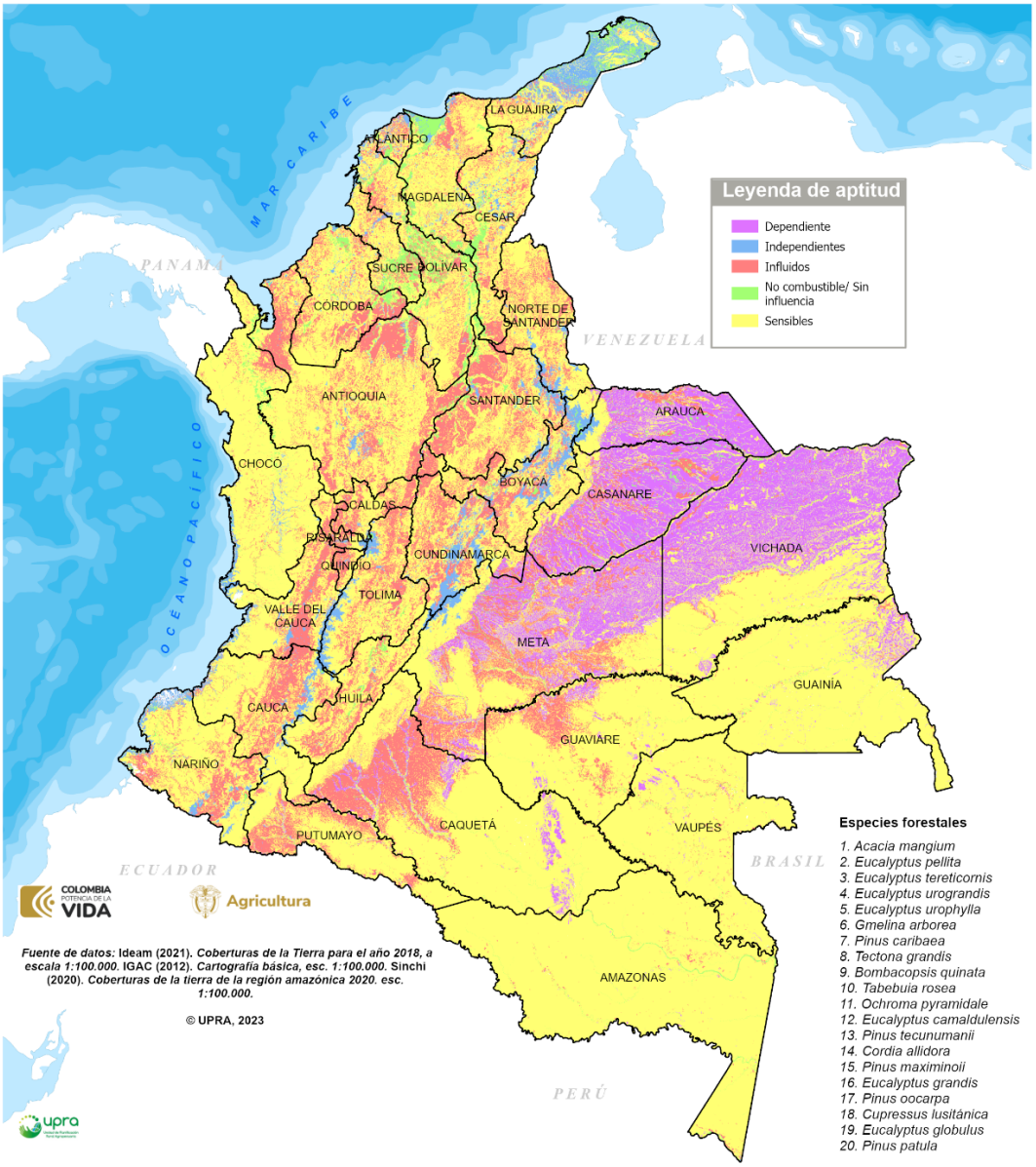
No combustible/Sin influencia	Helobiomas andinos	artificiales, embalses, estanques para acuicultura continental, estanques para acuicultura marina, lagunas costeras, lagunas de oxidación, lagunas, lagos y ciénagas naturales, pantanos costeros, playas, ríos, ríos de 50 metros, salitral, sedimentos expuestos en bajamar, tierras desnudas y degradadas, turberas, vegetación acuática sobre cuerpos de agua, zonas arenosas naturales, zonas glaciares y nivales, zonas pantanosas.
	Helobiomas de la Amazonia y la Orinoquia	
	Helobiomas del Magdalena y el Caribe	
	Helobiomas del Pacífico y el Atrato	
	Helobiomas del río Zulia	
	Helobiomas del Valle del Cauca	
	Litobiomas de la Amazonia y la Orinoquia	
	Orobioma alto de Santa Marta	
	Orobioma bajo de Santa Marta y Macuira	
	Orobioma de La Macarena	
	Orobioma de San Lucas	
	Orobioma del Baudó y el Darién	
	Orobioma medio de Santa Marta	
	Orobiomas altos de los Andes	
	Orobiomas azonales de Cúcuta	
	Orobiomas azonales del río Sogamoso	
	Orobiomas azonales del Valle del Patía	
	Orobiomas azonales del río Dagua	
	Orobiomas bajos de los Andes	
	Orobiomas medios de los Andes	
	Peinobiomas de la Amazonia y la Orinoquia	
	Zonobioma alternohígrico o subxerofítico tropical del Alto Magdalena	
	Zonobioma alternohígrico o subxerofítico tropical del Valle del Cauca	
	Zonobioma del desierto tropical de La Guajira y Santa Marta	
	Zonobioma húmedo tropical de la Amazonia y la Orinoquia	
	Zonobioma húmedo tropical del Catatumbo	
	Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y el Caribe	
	Zonobioma húmedo tropical del Pacífico y el Atrato	
	Zonobioma seco tropical del Caribe	
Sensibles	Bioma insular del Caribe	Herbazal denso de tierra firme arbolado, herbazal denso de tierra firme con arbustos, herbazal denso de tierra firme no arbolado, arbustal abierto, arbustal abierto mesófilo, arbustal denso, arenales, arracachal, bosque abierto alto de tierra firme, bosque abierto alto inundable, bosque abierto
	Halobioma del Caribe	
	Halobiomas del Pacífico	
	Helobioma de La Guajira	
	Helobiomas andinos	
	Helobiomas de la Amazonia y la Orinoquia	
	Helobiomas del Magdalena y el Caribe	
	Helobiomas del Pacífico y el Atrato	
	Helobiomas del río Zulia	
	Helobiomas del Valle del Cauca	

	Litobiomas de la Amazonia y la Orinoquia	bajo de tierra firme, bosque abierto bajo inundable, bosque de galería y ripario, bosque denso alto de tierra firme, bosque denso alto inundable, bosque denso alto inundable heterogéneo, bosque denso bajo de tierra firme, bosque denso bajo inundable, bosque fragmentado con pastos y cultivos, bosque fragmentado con vegetación secundaria, cultivos confinados, cultivos permanentes arbustivos, cultivos permanentes herbáceos, herbazal abierto arenoso, herbazal abierto rocoso, herbazal denso de tierra firme arbolado, herbazal denso de tierra firme con arbustos, herbazal denso de tierra firme no arbolado, herbazal denso inundable, herbazal denso inundable arbolado, herbazal denso inundable no arbolado, manglar denso alto, mosaico de cultivos, mosaico de cultivos con espacios naturales, mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, mosaico de pastos con espacios naturales, mosaico de pastos y cultivos, palmares, pastos arbolados, pastos enmalezados, pastos limpios, plantación de coníferas, plantación de latifoliadas, plantación forestal, vegetación secundaria alta, vegetación secundaria baja, vegetación secundaria o en transición
	Orobioma alto de Santa Marta	
	Orobioma bajo de Santa Marta y Macuira	
	Orobioma de La Macarena	
	Orobioma de San Lucas	
	Orobioma del Baudó y el Darién	
	Orobioma medio de Santa Marta	
	Orobiomas altos de los Andes	
	Orobiomas azonales de Cúcuta	
	Orobiomas azonales del río Sogamoso	
	Orobiomas azonales del Valle del Patía	
	Orobiomas azonales del río Dagua	
	Orobiomas bajos de los Andes	
	Orobiomas medios de los Andes	
	Peinobiomas de la Amazonia y la Orinoquia	
	Zonobioma alternohígrico o subxerofítico tropical del Alto Magdalena	
	Zonobioma alternohígrico o subxerofítico tropical del Valle del Cauca	
	Zonobioma del desierto tropical de La Guajira y Santa Marta	
	Zonobioma húmedo tropical de la Amazonia y la Orinoquia	
	Zonobioma húmedo tropical del Catatumbo	
	Zonobioma húmedo tropical del Magdalena y el Caribe	
	Zonobioma húmedo tropical del Pacífico y el Atrato	
	Zonobioma seco tropical del Caribe	

Unidad de análisis

Polígono de cobertura.

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO SUSCEPTIBILIDAD DE LA COBERTURA VEGETAL A INCENDIOS
Variable influencia del fuego en los ecosistemas

Fuentes de información

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2011). *Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal: escala 1:100.000/Ajustado*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). https://n9.cl/hycl3

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives De Andreis, Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi e Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico Jhon von Neumann (2015). *Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). https://n9.cl/53isn

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2021). *Mapa nacional de cobertura de la tierra, imágenes 2018-2020, escala 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Páramo-Rocha, G.E. (2011). Susceptibilidad de las coberturas vegetales de Colombia al fuego. En Parra, A.C. (Ed). Incendios de la cobertura vegetal en Colombia. Tomo I (pp. 73-144). Universidad Autónoma de Occidente, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Red Colombiana de Formación Ambiental. https://n9.cl/sb0yr

2.6. Criterio *potencial de absorción de nitrógeno*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioecosistémico		
Criterio: *potencial de absorción de nitrógeno*		
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Variables asociadas al criterio

No presentó variables asociadas, sino que es un criterio basado en la variación del índice azul de vegetación de diferencias normalizadas.

Definición

comparación del aporte de nitrógeno de la cobertura actual frente a una plantación forestal, en este caso, de *Acacia mangium*. La producción de cultivos se encuentra fuertemente ligada al nitrógeno, debido a que la cantidad de este elemento en las hojas responde a la intensidad del proceso fotosintético (Salvagiotti *et al*., 2009). Por tanto, el nitrógeno es un limitante en el crecimiento y rendimiento de diversos agroecosistemas.

La medición de nitrógeno en las coberturas requiere de análisis químicos destructivos que emplean materia orgánica proveniente de las plantas (Balanzategui, 2018). En los suelos también es un elemento difícil de monitorear debido a su alta movilidad (Jaramillo, 2002). Considerando que el contenido de nitrógeno se relaciona con la tasa de fotosíntesis (Cabrera-Bosquet *et al*., 2007) y que responde a la captura de luz por el dosel y el contenido de nitrógeno en la hoja (Lemaire *et al*., 2007), el uso de índices de vegetación basados en análisis espectral de imágenes de satélite permite analizar la concentración del elemento en la cobertura actual y la variación por la entrada de una plantación como la de *Acacia mangium*.

Importancia del criterio

Existe una estrecha relación entre el ciclo del carbono y el del nitrógeno, debido a la acumulación en la materia orgánica del suelo en climas templados a subtropicales (Neff *et al*. 2002, Conant *et al*. 2005). La dinámica de estos elementos integra el funcionamiento ecosistémico (Piñeiro, 2006), pero es el nitrógeno el nutriente que limita la productividad de los ecosistemas terrestres (Burke *et al*. 1998; Johnson y Matchett, 2001). Las especies leguminosas, como *Acacia mangium* perteneciente a la familia *Fabaceae*, presentan una alta acumulación de nitrógeno de forma sostenida en todo el ciclo vegetativo (García y Ciampitti, 2009) por la relación simbiótica con las bacterias *Bradyrhizobium* spp. y *Sinorhizobium* spp., de la familia *Rhizobiaceae*, las cuales permiten la formación de nódulos que aumentan la capacidad de fijar nitrógeno (González, 2015).

La constante preocupación por el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados que representan una amenaza a los ecosistemas obliga a crear estrategias, como la implementación de este tipo de plantaciones y el monitoreo del contenido de nitrógeno de la cobertura vegetal, para minimizar tales prácticas y los efectos negativos. (Salvador *et al*., 2020). El monitoreo puede facilitarse mediante índices espectrales sensibles a la clorofila que permiten estimar los niveles de nitrógeno (Balanzategui, 2018).

Los índices de vegetación se calculan con valores de reflectancia espectral de diversas longitudes de onda con el fin de estimar el crecimiento de las plantas (Ruiz *et al*., 2011). Las repuestas espectrales son evaluadas en el rango espectral visible e infrarrojo cercano (NIR) en el cálculo del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), el cual se basa en las bandas del rojo NIR y se emplea para la evaluación indirecta de la biomasa y el rendimiento de cultivos (Prasad *et al*., 2007). El NDVI azul ha sido probado por Gordillo (2018) como un indicador de la concentración de nitrógeno en las plantas, lo cual facilita el monitoreo de nitrógeno en los ecosistemas.

Limitantes de la evaluación del criterio

La sensibilidad de esta variable dificulta la certeza del método, puesto que el nitrógeno presenta una alta movilidad y volatibilidad, lo que dificulta el seguimiento. Es una variable que presenta una sensibilidad alta a la presencia de nubosidad, de modo que la determinación del NDVI azul se complica; además, las imágenes MODIS presentan una resolución espacial y una temporalidad como mayor limitante.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

No hubo valores de exclusión, pues el criterio no presentó límites que calificaran zonas del territorio nacional como no aptas (N1).

Metodología de procesamiento de la información

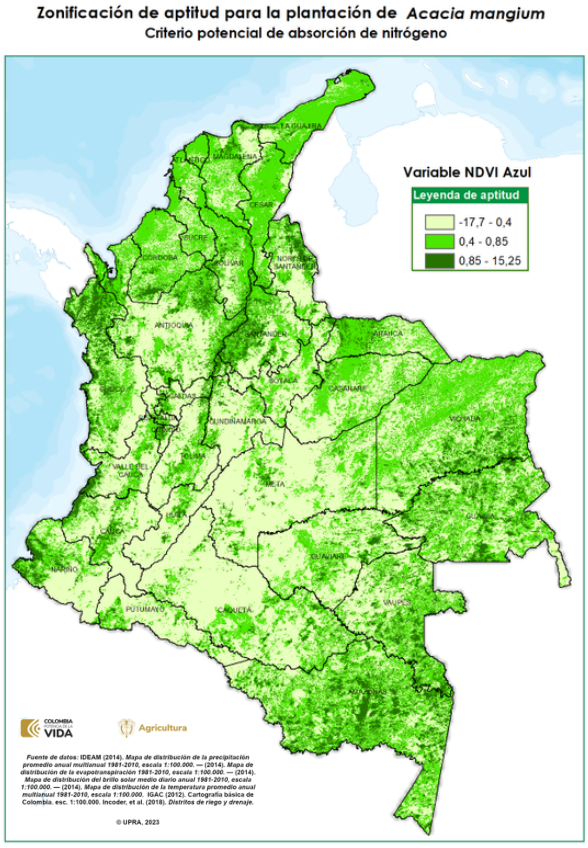
De acuerdo con Gordillo (2018), la absorción de nitrógeno por parte de la cobertura se interpreta en función de su masa, de forma que existe una disminución de la concentración de este elemento en la planta al aumentar la masa del cultivo (Lemaire & Meynard, 1997). Para Farrugia *et al*. (2004), el contenido de nitrógeno en la capa superior del dosel es más estable. Segú Gordillo (2018), el nitrógeno se relaciona con la absorción de la luz fotosintéticamente activa del espectro rojo y azul. Sulik & Long (2016) propusieron analizar el NDVI azul como un indicador del contenido de nitrógeno, debido a que la clorofila absorbe la luz azul, índice que presenta mayor estabilidad durante todo el ciclo vegetativo del cultivo.

La estimación del potencial de absorción de nitrógeno se basó en el cálculo del índice de vegetación de diferencia normalizada azul (NDVI azul), para lo cual se hace uso de la fórmula propuesta por Gordillo (2018), a saber:

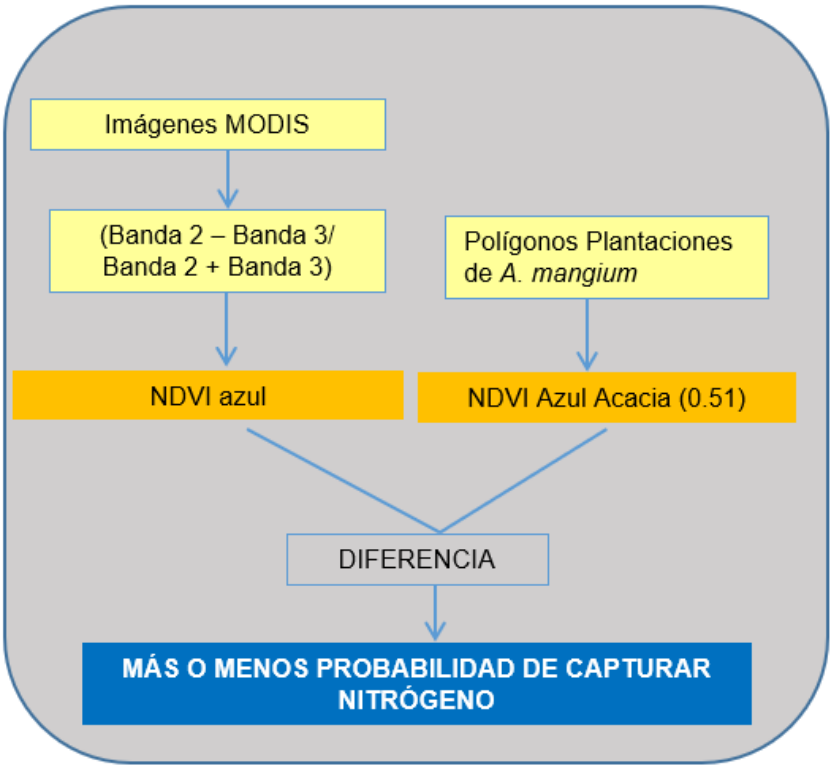
$$\text{NDVI azul} = \frac{(NIR - BLUE)}{(NIR + BLUE)}$$

Se realizó un mosaico de las bandas 2 (NIR) y 3 (azul) de las imágenes MODIS, asociadas al producto MYD09A1, que cubren el territorio nacional y que corresponden a marzo de 2021. Así pues, se aplicó la siguiente formula del NDVI azul:

$$\text{NDVI azul} = \frac{(Banda\ 2 - Banda\ 3)}{(Banda\ 2 + Banda\ 3)}$$



Una vez obtenido el índice, se determinó el valor de NDVI azul para la plantación de *Acacia mangium* de acuerdo con el promedio del valor de los píxeles asociados a los lotes de las plantaciones de esta especie, de lo que se obtuvo un valor de 0,51. Posteriormente, se estableció la diferencia entre el valor de NDVI azul total y el NDVI de la plantación de *Acacia mangium* con el fin de identificar el impacto que tiene sobre el potencial de absorción de nitrógeno de la cobertura actual. En la siguiente figura, se presenta un diagrama de flujo que resume la metodología:



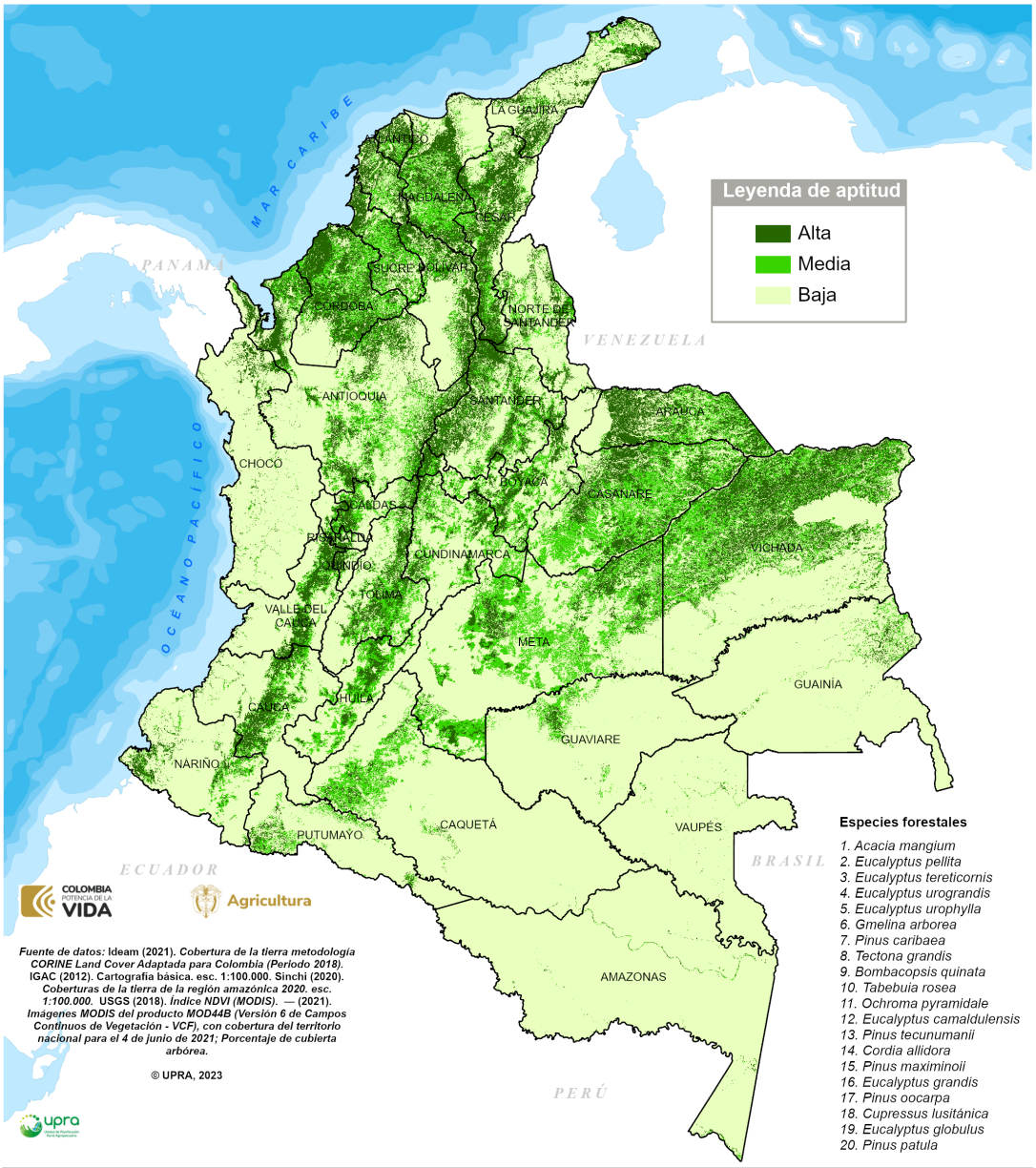
Las áreas por fuera de la frontera agrícola definida por la UPRA se calificaron con *aptitud baja* (A3).

Rangos para la asignación de valores de aptitud

La calificación de la aptitud para la plantación de *Acacia mangium*, desde el punto de vista de este criterio, se estableció a partir de los siguientes preceptos:

Descripción	Diferencia NDVI azul	Aptitud
El cultivo tiene mayor potencial de absorción de nitrógeno	>0	Alta (A1)
El cultivo está en equilibrio con el potencial de absorción de nitrógeno de la cobertura actual	De –0,325 a 0	Media (A2)
El cultivo presenta un menor potencial de absorción de nitrógeno en relación con la cobertura actual	Menor a –0,325	Baja (A3)

Representación cartográfica del criterio



CRITERIO POTENCIAL DE APORTE DE NITRÓGENO A LOS AGROECOSISTEMAS

Fuentes de información

Balanzategui, J. (2018). *Una herramienta para la estimación de concentración de nitrógeno a partir de imágenes Sentinels* (monografía de pregrado). Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Informáticos. https://n9.cl/1pfk5

Burke, I.C., Lauenroth, W.K., Vinton, M.A., Hook, P.B., Kelly, R.H., Epstein, H.E., Aguiar, M.R., Robles, M.D., Aguilera, M.O., Murphy, K.L. & Gill. R.A. (1998). Plant-soil interactions in temperate grasslands. Biogeochemistry, 42(1/2), 121-143. DOI: https://doi.org/10.1023/A:1005987807596

Cabrera-Bosquet, L., Molero, G., Bort, J., Nogues, S. & Araus, J.L. (2007). The combined effect of constant water deficit and nitrogen supply on WUE, NUE and Δ13C in durum wheat potted plants. *Ann Appl Biol, 151*(3), 277-289. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2007.00195.x

Conant, R.T., Paustian, K., Del Grosso, S.J. & Parton, W.J. (2005). Nitrogen pools and fluxes in grassland soils sequestering carbon. *Nutr Cycling Agroecosyst*, 71(3), 239-248. DOI: https://doi.org/10.1007/s10705-004-5085-z

Farrugia, A., Gastal, F. & Scholefield, D. (2004). Assessment of nitrogen status of grassland. *Grass Forage Sci, 59*(2), 113-120. https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2004.00411.x

Gordillo, V.M. (2018). *Evaluación del estado del nitrógeno y estimación de biomasa en el cultivo de trigo, usando sensores remotos y vehículos aéreos no tripulados (UAV)* (tesis de doctorado). Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, Postgrado en Hidrociencias. https://n9.cl/xx9ng

Jaramillo, D.F. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Universidad Nacional De Colombia, Facultad de Ciencias. https://n9.cl/scokv

Johnson, L.C. & Matchett, J.R. (2001). Fire and grazing regulate belowground processes in tallgrass prairie. *Ecology 82*(12), 3377-3389. DOI: https://doi.org/10.2307/2680159

Lemaire, G. & Meynard, J.M. (1997). Use of the nitrogen nutrition index for the analysis of agronomical data. En Lemaire, G. (Ed.). *Diagnosis of the nitrogen status in crops* (pp. 45-55). Springer-Verlag.

Lemaire, G., Oosterom, E., Sheehy, J., Jeuffroy, M.H., Massignam, A. & Rossato, L. (2007). Is crop N demand more closely related to dry matter accumulation or leaf area expansion during vegetative growth? *Field Crop Res, 100*(1), 91-106. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.05.009

Neff, J.C., Townsend, A.L., Gleixner, G., Lehman, S.J., Turnbull, J. & Bowman, W.D. (2002). Variable effects of nitrogen additions on the stability and turnover of soil carbon. *Nature 419*(6910), 915-917. DOI: https://doi.org/10.1038/nature01136

Piñeiro, G. (2006). *Biogeoquímica del carbono y nitrógeno en los pastizales pastoreados del Río de la Plata: un análisis basado en modelos de simulación, sensores remotos y experimentos a campo* (tesis de doctorado). Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. https://n9.cl/587n9

Prasad, B., Carver, B.F., Stone, M.L., Babar, M.A., Raun, W.R. & Klatt, A.R. (2007). Potential use of spectral reflectance indices as a selection tool for grain yield in winter wheat under great plains conditions. *Crop Sci, 47*(4), 1426-1440. https://doi.org/10.2135/cropsci2006.07.0492

Ruiz, J.G., Tijerina, L., MejÍa, E., Sandoval, M., Sánchez, P., Vaquera, H. y Colinas, M.T. (2011). Índices de vegetación para estimar el crecimiento de plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) estresadas por deficiencia de agua y nitrógeno. Terra Latinoam, 29(1), 47-56. https://n9.cl/wez76l

Salvador-Castillo, J., Bolaños-González, M., Palacios-Vélez, E., Palacios-Sánchez, L.A., López-Pérez, A. y Muñoz-Pérez, J.M. (2021). Estimación de la fracción de cobertura vegetal y contenido de nitrógeno del dosel en maíz mediante sensores remotos. *Terra Latinoam, 39*, e899. DOI: https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.899

Sulik, J.J. & Long, D.S. (2016). Spectral considerations for modeling yield of canola. *Remote Sens Environ 184*, 161-174. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.06.016

3. Fichas metodológicas del componente socioeconómico

3.1. Criterio *infraestructura y logística*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioecosistémico. Subcomponente: económico		
Criterio: *infraestructura y logística*		
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Variables asociadas al criterio

Existencia de plantaciones, expresada en predios.

Cercanía a las plantas de transformación, expresada en tiempo de desplazamiento en horas.

Movilización de madera, expresada en predios y volumen de madera (m^3).

Cercanía a los viveros registrados, expresada en tiempo de desplazamiento en horas.

Cercanía a las vías, expresada en vías.

Costos de movilización, expresada en pesos.

Cercanía a los puertos fluviales, expresada en tiempo de desplazamiento en horas.

Cercanía a los centros de servicios, expresada en tiempo de desplazamiento en horas.

Cercanía a los puertos marítimos, expresada en tiempo de desplazamiento en horas.

Cobertura de internet móvil, expresada en tecnología y en número de antenas.

Energía eléctrica rural, expresada en favorabilidad en el acceso.

Definición

Conjunto de medios técnicos, bienes, servicios e instalaciones necesarios para el desarrollo de las actividades de producción, comercialización y distribución forestal.

Importancia del criterio

Indica a los agentes económicos las condiciones de movilidad y capacidad técnica ante la cadena de suministros, como la existencia de plantaciones, cercanía a viveros, cercanía a las plantas transformadoras de madera o movilización de madera que limitan o promueven la competitividad de la actividad forestal en la interacción con los mercados nacionales e internacionales.

Limitantes de la evaluación del criterio

La selección de los centros de servicios se realizó con base en las proyecciones de la población realizadas por el DANE para el año 2021, estimada a partir del censo general de población y vivienda, realizado en el año 2018. Se tuvieron en cuenta los municipios con población mayor a 30.000 habitantes y los municipios con plantaciones forestales.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

En el análisis de cada una de las variables, ninguna presentó límites que se calificaran como zonas no aptas (N1).

Metodología de procesamiento de la información

La ponderación del criterio se construyó a partir de la metodología descrita por Saaty (1980) AHP (Analytic Hierarchy Process), condensada en la matriz de comparaciones pareadas de las once variables, como se registra las siguientes tablas:

Matriz multicriterio de 18 especies forestales que excluye a *Eucalyptus urograndis* y a *Tectona grandis*

Criterio	Variables	*Existencia de plantaciones*	*Cercanía a las plantas de transformación*	*Movilización de madera*	*Cercanía a los viveros registrados*	*Cercanía a las vías*	*Costos de movilización*	*Cercanía a los puertos fluviales*	*Cercanía a los centros de servicio*	*Cercanía a los puertos marítimos*	*Cobertura de internet móvil*	*Energía eléctrica rural*
Infraestructura y logística	*Existencia de plantaciones*	1										
	Cercanía a las plantas de transformación	1/3	1									
	Movilización de madera	1/3	1/3	1								
	Cercanía a los viveros registrados	1/3	1/3	1/3	1							
	Cercanía a las vías	1/3	1/3	1/3	1/3	1						
	Costos de movilización	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1					
	Cercanía a los puertos fluviales	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1				
	Cercanía a los centros de servicio	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1			
	Cercanía a los puertos marítimos	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1		
	Cobertura de internet móvil	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1	
	Energía eléctrica rural	1/7	1/7	1/7	1/7	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/3	1

Matriz multicriterio para *Eucalyptus urograndis* y *Tectona grandis*

Criterio	Variables	*Cercanía a los puertos marítimos*	*Existencia de plantaciones*	*Cercanía a las plantas de transformación*	*Movilización de madera*	*Cercanía a los viveros registrados*	*Cercanía a las vías*	*Costos de movilización*	*Cercanía a los puertos fluviales*	*Cercanía a los centros de servicio*	*Cobertura internet móvil*	*Energía eléctrica rural*
Infraestructura y logística	*Cercanía a los puertos marítimos*	1										
	Existencia de plantaciones	1/3	1									
	Cercanía a las plantas de transformación	1/3	1/3	1								
	Movilización de madera	1/3	1/3	1/3	1							
	Cercanía a los viveros registrados	1/3	1/3	1/3	1/3	1						
	Cercanía a las vías	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1					
	Costos de movilización	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1				
	Cercanía a los puertos fluviales	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1			
	Cercanía a los centros de servicio	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1		
	Cobertura internet móvil	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1	
	Energía eléctrica rural	1/7	1/7	1/7	1/7	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/3	1

La escala de importancia dentro del proceso AHP tiene en cuenta la valoración entre pares de variables:

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Sumamente	Muy fuertemente	Fuertemente	Moderadamente	Igualmente	Moderadamente	Fuertemente	Muy fuertemente	Sumamente
Menos importante			Igual en importancia		Más importante			

Teniendo en cuenta el programa PriEsT (Priority Estimation Tool), se calcularon las ponderaciones de cada variable dentro del criterio de acuerdo con la calificación de los municipios y con las categorías de aptitud, para cada una de las cuales se asignó el valor de alta (A1), media (A2) y baja (A3). A continuación, se presenta la matriz para 18 especies forestales y la matriz para *Eucalyptus urograndis* y *Tectona grandis*, pues éstas últimas tienen un carácter exportable con respecto a las otras 18 especies de mercado nacional:

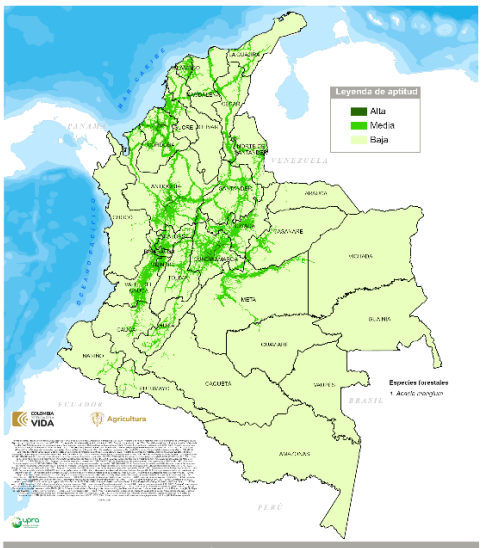
Criterio	Variables para 18 especies que excluyen a *Eucalyptus urograndis* y a *Tectona grandis*	Variables para *Eucalyptus urograndis* y *Tectona grandis*	Ponderación (%)
Infraestructura y logística	*Existencia de plantaciones*	*Cercanía a los puertos marítimos*	23,1
	Cercanía a las plantas de transformación	*Existencia de plantaciones*	19,0
	Movilización de madera	*Cercanía a las plantas de transformación*	14,8
	Cercanía a los viveros registrados	*Movilización de madera*	11,1
	Cercanía a las vías	*Cercanía a los viveros registrados*	8,8
	Costos de movilización	*Cercanía a las vías*	7,2
	Cercanía a los puertos fluviales	*Costos de movilización*	5.1
	Cercanía a los centros de servicios	*Cercanía a los puertos fluviales*	4,0
	Cercanía a los puertos marítimos	*Cercanía a los centros de servicios*	3,3
	Cobertura de internet móvil	*Cobertura de internet móvil*	2,2
	Energía eléctrica rural	*Energía eléctrica rural*	1,4
Total de la ponderación			**100,0**

Rangos para la asignación de valores de aptitud

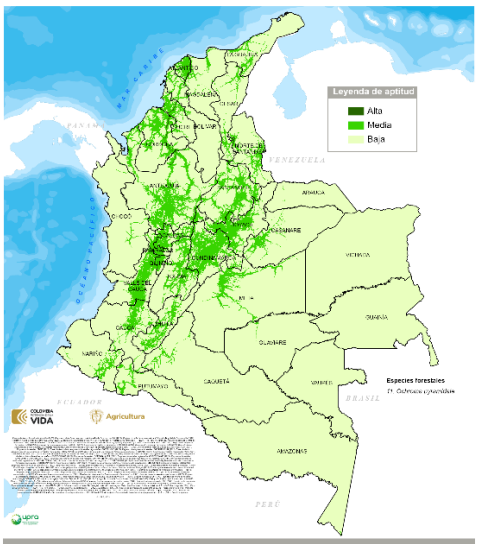
Los siguientes son los rangos de aptitud aplicados para el criterio:

Variables		Unidad de medida	Aptitud		
			Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)
Existencia de plantaciones por especie		Predios	Con plantaciones	El colindante al predio con plantaciones	Resto
Cercanía a las plantas de transformación	Acacia	Tiempo de desplazamiento (horas)	<1	1-2	>2
	Ceiba, nogal, ciprés, roble, teca, melina.				
	Eucaliptos, pinos				
	Balso				
Movilización de madera		Predios y volumen de madera (m^3)	Predio y colindante a la ruta que transportan más de 20 m^3 en 500 m	Predio y colindante a la ruta que transportan menos de 20 m^3 en 1000 m	Resto
Cercanía a los viveros registrados		Tiempo de desplazamiento (horas)	<1	1-3	>3
Cercanía a las vías		Distancia (m)	Vías tipo 1-4 con *buffer* de 500 m a las vías	Vías tipo 1-5 con buffer de 1000 m a las vías	Resto
Costos de movilización		Pesos (COP)	<1.500.000	1.500.000-2.500.000	2.500.000
Cercanía a los puertos fluviales		Tiempo de desplazamiento (horas)	<1	1-3	>3
Cercanía centros de servicio		Tiempo de desplazamiento (horas)	<½	½-2	>2
Cercanía a los puertos marítimos		Tiempo de desplazamiento (horas)	<3	3-6	>6
Cobertura internet móvil		Tecnología y número de antenas/km^2	HSPA y LTE > 2 antenas	Tecnología 3G < 2 antenas	Sin cobertura
Energía eléctrica rural		Favorabilidad en el acceso	>7	5-7	<5

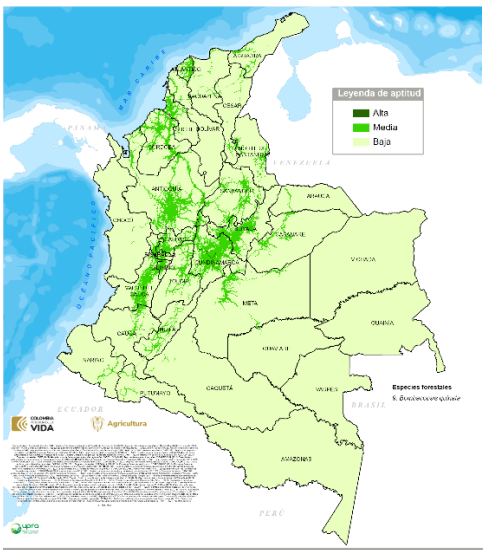
Representación cartográfica del criterio



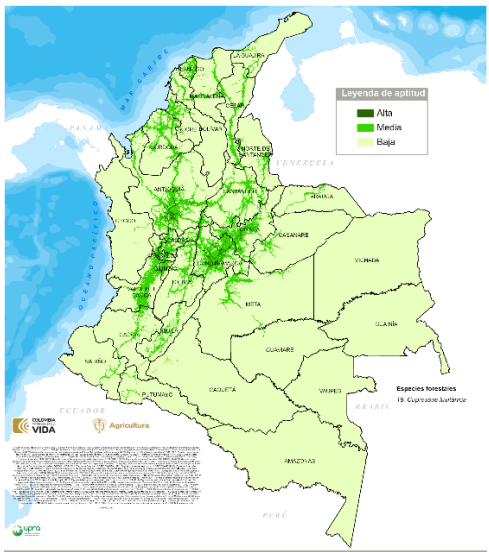
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA



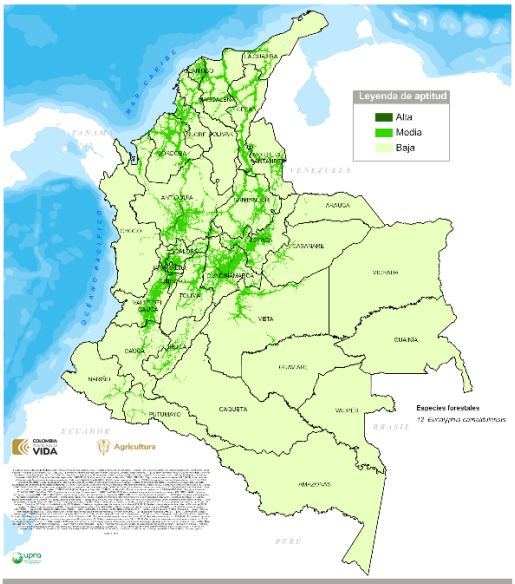
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA



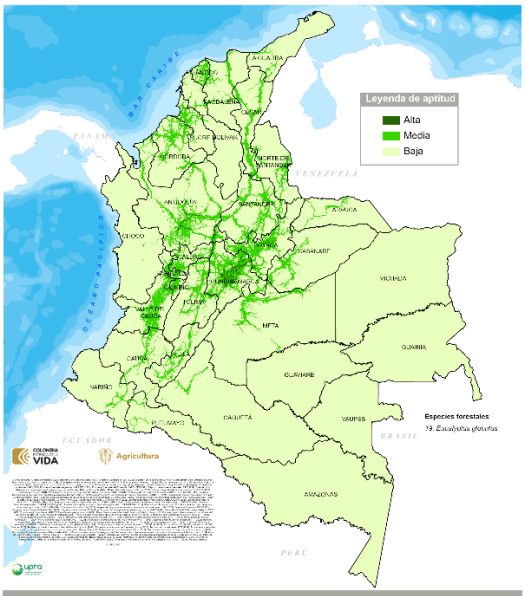
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA



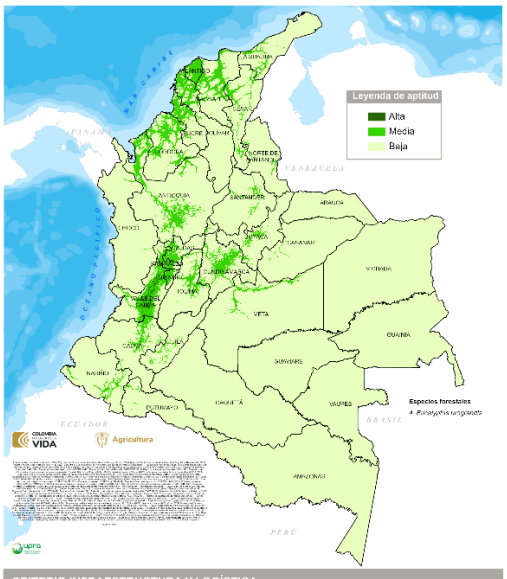
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA



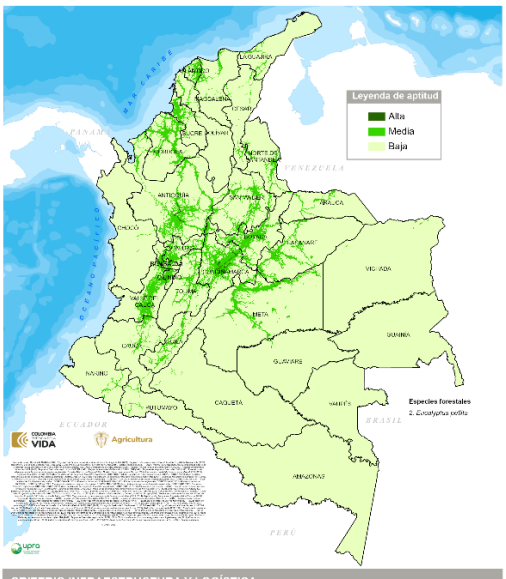
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA



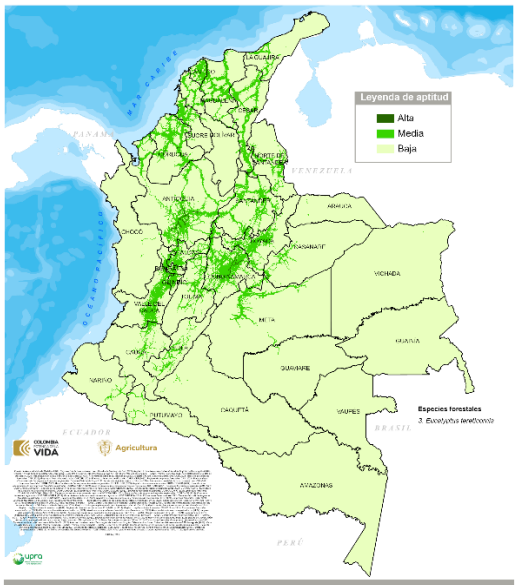
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA



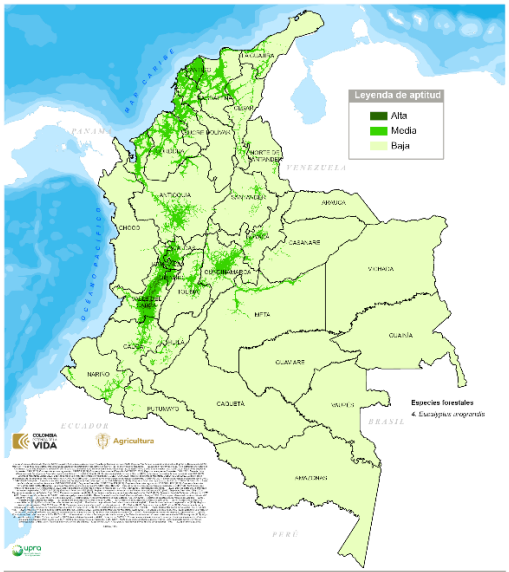
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA



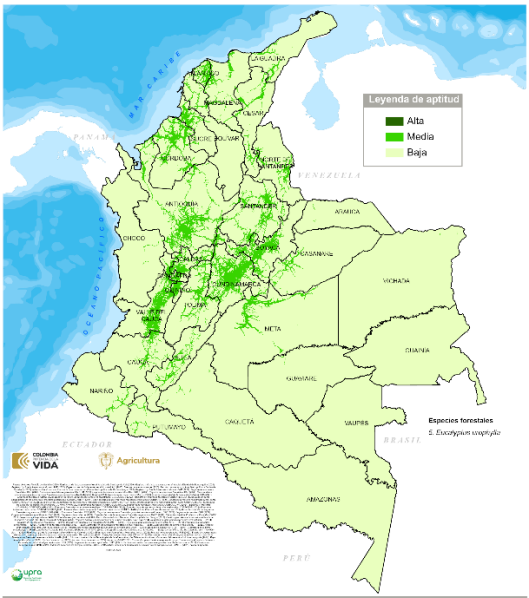
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA



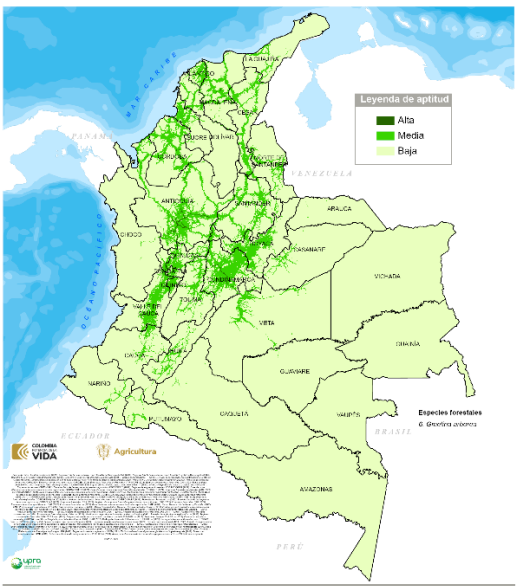
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA



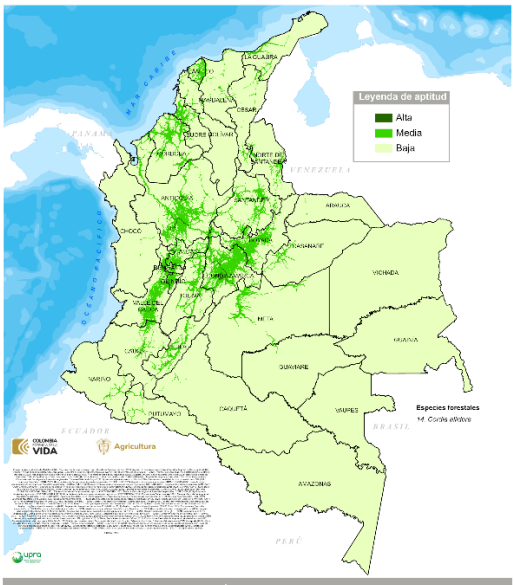
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA



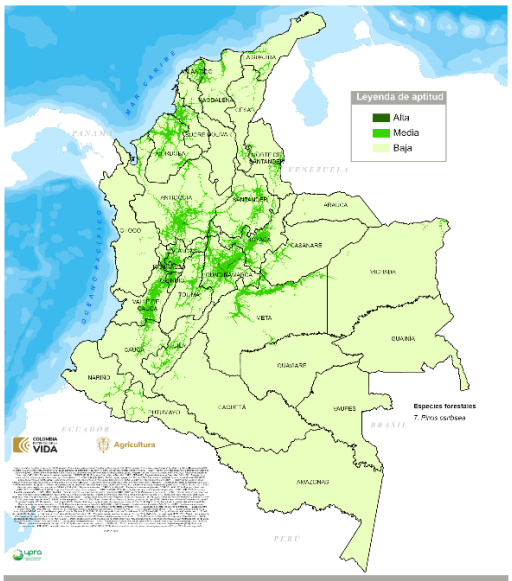
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA



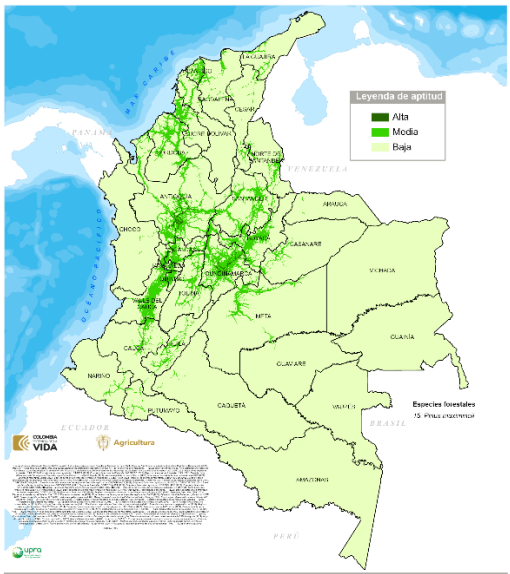
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA



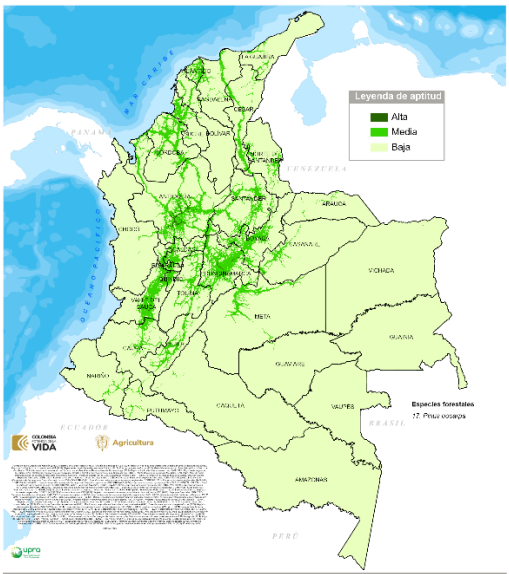
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA



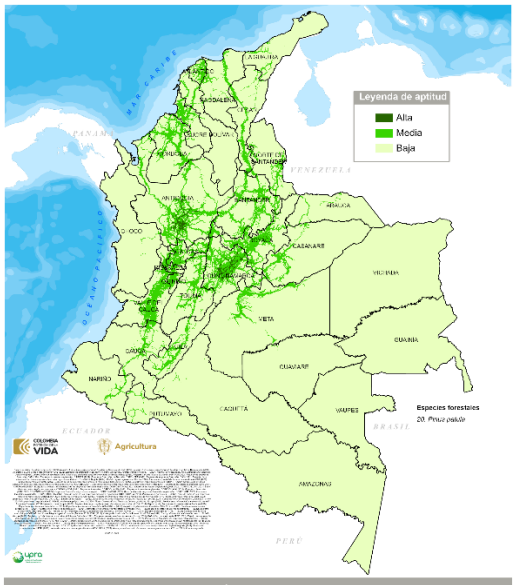
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA



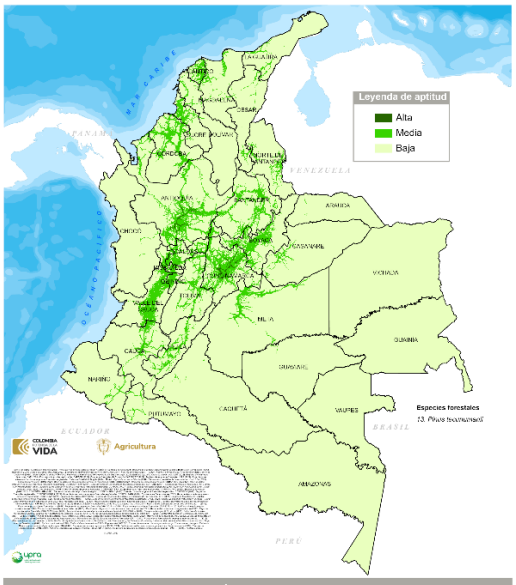
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA



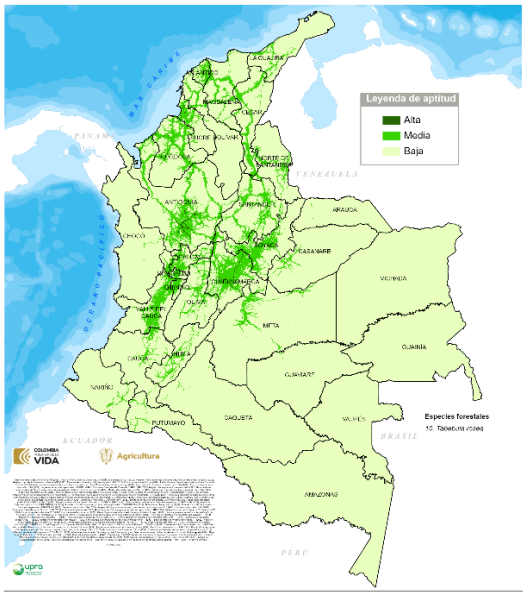
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA



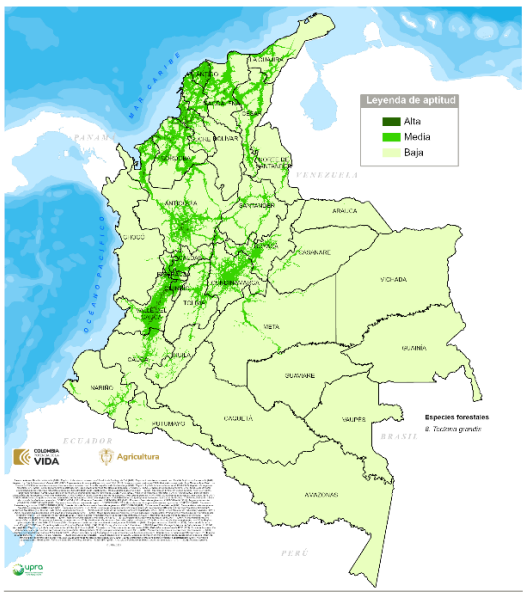
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA



CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA



CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA



CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA

Fuentes de información

Alcaldía de Barranquilla (2020). *Base catastral, registros 1 y 2*. Alcaldía de Barranquilla.
Alcaldía de Medellín (2020). *Base de datos catastral*. Alcaldía de Medellín.
Alcaldía de Santiago de Cali (2020). *Información predial rural*. Alcaldía de Santiago de Cali.
Agencia Nacional de Infraestructura (2020). *Red vial concesionaria*. Agencia Nacional de Infraestructura (ANI).
Agencia Nacional de Infraestructura (2015). *Puertos concesionados*. Agencia Nacional de Infraestructura (ANI).
Agencia Nacional del Espectro (2022). *Espectro de cubrimiento del servicio móvil*. Agencia Nacional del Espectro (ANE).
Área Metropolitana Centro de Occidente (2020). *Información sin asociación con la base catastral rural*. Alcaldía de Pereira.
Área Metropolitana de Bucaramanga (2020). *Registro 1 y 2 base catastral rural*. Alcaldía de Bucaramanga.
Corporación Autónoma Regional de Boyacá (2022). *Empresas forestales registradas*. Corporación Autónoma Regional de Boyacá (Corpoboyacá).
Corporación Autónoma Regional de Caldas (2021). *Base de datos de los depósitos de madera*. Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas).
Corporación Autónoma Regional de Chivor (2021). *Empresas forestales*. Corporación Autónoma Regional de Chivor (Corpochivor).
Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (2022). *Empresas forestales registradas*. Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (Corponor).
Corporación Autónoma Regional de La Guajira (2022). *Empresas forestales registradas*. Corporación Autónoma Regional de La Guajira (Corpoguajira).
Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (2022). *Registro de empresas forestales*. Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM).
Corporación Autónoma Regional del Amazonas (2021). *Base de datos alfanumérica de las empresas forestales registradas*. Corporación Autónoma Regional del Amazonas (Corpoamazonas).
Corporación Autónoma Regional de la Orinoquía (2022). *Base de datos de las empresas forestales registradas*. Corporación Autónoma Regional de la Orinoquía (Corporinoquia).
Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare (2021). *Empresas forestales registradas*. Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare (Cornare).
Corporación Autónoma Regional del Atlántico (2022). *Registro de empresas forestales y remisiones de movilización*. Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA).
Corporación Autónoma Regional del Cauca (2021). *Empresas forestales*. Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC).
Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (2022). *Base de datos alfanumérica de las empresas forestales registradas*. Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (Corantioquia).
Corporación Autónoma Regional del Guavio (2021). *Empresas forestales*. Corporación Autónoma Regional del Guavio (Corpoguavio).
Corporación Autónoma Regional del Quindío (2022). *Empresas forestales del Quindío*. Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ).
Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge (2022). *Base de datos de las empresas forestales registradas*. Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge (CVS).
Corporación Autónoma Regional del Tolima (2021). *Empresas forestales*. Corporación Autónoma Regional del Tolima (Cortolima).
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (2022). *Empresas forestales*. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC).
Corporación Autónoma Regional de Nariño (2021). *Base de datos de las empresas forestales registradas*. Corporación Autónoma Regional de Nariño (Corponariño).

Corporación Autónoma Regional de Risaralda (2022). *Empresas forestales de Risaralda*. Corporación Autónoma Regional de Risaralda (Carder).

Corporación Autónoma Regional de Santander (2022). *Base de datos alfanumérica de las empresas forestales registradas*. Corporación Autónoma Regional de Santander (CAS).

Corporación Autónoma Regional de Sucre (2022). *Registro de empresas forestal*. Corporación Autónoma Regional de Sucre (Carsucre).

Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó (2022). *Empresas registradas*. Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó (Codechocó).

Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (2022). *Base de datos de las empresas forestales registradas*. Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB).

Corporaciones Autónomas Regionales (2020). *Empresas forestales registradas*. Corporaciones Autónomas Regionales (CAR).

Corporación para el Desarrollo Sostenible de la Mojana y el San Jorge (2022). *Empresas forestales en proceso de registro*. Corporación para el Desarrollo Sostenible de la Mojana y el San Jorge (Corpomojana).

Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena (2021). *Base de datos de las empresas forestales registradas*. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena (Cormacarena).

Corporación para el Desarrollo Sostenible del Norte y el Oriente Amazónico (2021). *Empresas forestales*. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Norte y el Oriente Amazónico (CDA).

Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá (2016). *Plantaciones forestales*. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá (Corpourabá).

Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá (2022). *Base de datos de las empresas forestales registradas*. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá (Corpourabá).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020a). *Censo nacional de población y vivienda 2018: proyección de población 2018-2023*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020b). *Marco geoestadístico nacional: centros poblados*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario (2022) *Predios georreferenciados con incentivo forestal CIF*. Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario (Finagro).

Gobernación de Antioquia (2020). *Registros básicos y complementarios de la información rural*. Gobernación de Antioquia.

Instituto Colombiano Agropecuario (2014). *Registro de plantaciones forestales*. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

Instituto Colombiano Agropecuario (2014) *Registro de plantaciones forestales del Vichada*. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

Instituto Colombiano Agropecuario (2016) *Registro de plantaciones forestales 2014-2016*. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

Instituto Colombiano Agropecuario (2019). *Plantaciones forestales comerciales*. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

Instituto Colombiano Agropecuario (2020). *Plantaciones forestales comerciales*. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

Instituto Colombiano Agropecuario (2021a). *Base de datos de viveros registrados*. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

Instituto Colombiano Agropecuario (2021b). *Movilización de productos forestales a nivel nacional*. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

Instituto Colombiano Agropecuario (2022). *Registro plantaciones forestales 2016-2021*. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2014). *Temperatura media anual promedio multianual, periodo 1981-2010*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2021). *Mapa nacional de cobertura de la tierra: metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia, período 2018*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2018). *Bosque no bosque V5 2010*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas no Interconectadas (2022). *Estado de prestación del servicio de energía eléctrica en Zonas no interconectadas*. Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas no Interconectadas (IPSE).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Modelo digital de elevación de 30 metros*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020). *Cartografía básica, vías escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Nacional de Vías (2020). *Red vial no concesionada*. Instituto Nacional de Vías (Invías).

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2012a). *Base de plantaciones forestales CIF*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2012b) *Plantaciones forestales de empresas reforestadoras*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2012c) *Plantaciones forestales menores a 10 hectáreas*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

Ministerio de Tecnologías de la Información y Comunicaciones (2021). *Informe trimestral de las tecnologías de la información y las telecomunicaciones: cobertura del servicio móvil*. Ministerio de Tecnologías de la Información y Comunicaciones (MinTIC).

Ministerio de Transporte (2014*). Mapa de tramos fluviales navegables*. Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Ministerio de Transporte (2020). *Red vial departamental y nacional*. Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Secretaría Distrital de Ambiente (2022). *Empresas forestales registradas*. Secretaría Distrital de Ambiente (SDA).

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (2021). *Tarifa anual media rural para energía eléctrica*. Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD).

Superintendencia de Transporte (2018). *Puertos no concesionados*. Superintendencia de Transporte.

Unidad Administrativa de Catastro Distrital (2020). *Información predial base catastral rural*. Unidad Administrativa de Catastro Distrital (UACD).

Unidad de Planeación Minero-Energética (2019). *Índice de cobertura de energía eléctrica (ICEE)*. Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME).

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (2019). *Frontera agrícola*. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (2020). *Tipología de condicionamientos legales del mercado de tierras V10: cancha mercado de tierras V10*. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

3.1.1. Variable *existencia de plantaciones*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de viente especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: económico		
Criterio asociado: *infraestructura y logística*		
Variable: *existencia de plantaciones*	Unidad de medida: predios	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Predios georeferenciados con plantaciones forestales y el respectivo colindante. Este último es únicamente el predio de propiedad privada, no tiene exclusiones para el mercado de tierras y está destino económicamente a la actividad agropecuaria.

Importancia de la variable

Incide en la percepción de los agentes económicos con respecto al desarrollo de la producción como un indicador de la oferta de madera. Los predios y su respectivo colindante, donde se registran plantaciones forestales, se consideran más competitivos, pues ofrecen condiciones más propicias para el desarrollo de la actividad.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

En el análisis de la variable, no se presentaron límites que calificaran como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

Los registros de plantaciones georreferenciados están dispersos en entidades nacionales, lo que dificultó identificar el predial más completamente y de la totalidad de predios de esta actividad.

Metodología de procesamiento de la información

Precisiones de la información

Predios georreferenciados y su colindante, de los cuales se excluyen los que cumplan con las siguientes características: predios cuyo tipo de propietario sea *propiedad colectiva*; predios cuyo tipo de propietario sea *sin información y que estén excluidos de la cancha de MT*; predios cuyo tipo de propietario sea *Estado y que estén excluidos de la cancha de MT*; predios cuyo tipo de propietario sea *Estado*; predios cuyo tipo de propietario y categoría de propietario sea *null*; predios sin información y que estén excluidos de la cancha de MT; predios colindantes que se encuentren en un municipio diferente al del predio con plantación calificados con *aptitud alta* (A1); predios marcados como *baldíos*; predios que estén fuera de la frontera agrícola.

Análisis de la consistencia y preparación de la información

Se tomó como base la información geográfica entregada por las corporaciones autónomas regionales, el ICA y el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Para ello, se espacializaron las coordenadas reportadas sobre la base catastral rural para la vigencia 2020 se marcó todo el predio, independientemente del área que le correspondiera a la plantación forestal. Una vez identificados los predios donde se ubican las plantaciones, se procedió a calificarlos con *aptitud alta* (A1) y se tomó como parte de la representación cartográfica de esta ubicación el colindante, cuya calificación fue *aptitud media* (A2). Una vez realizado este proceso, se aplicó un filtro por temperatura con el fin de corroborar la ubicación apropiada de las veinte especies según las proyecciones de las coordenadas allegadas por las instituciones

Clasificación de los municipios por aptitud

Al realizar el procedimiento para la variable, el resultado arrojó tres agrupamientos a los que se les asignó la calificación de aptitud, de modo que los rangos quedaron definidos de la siguiente manera: *aptitud alta* (A1) para predios con plantación; *aptitud media* (A2) para el predio colindante al predio con plantación; y *aptitud baja* (A3) para el resto.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

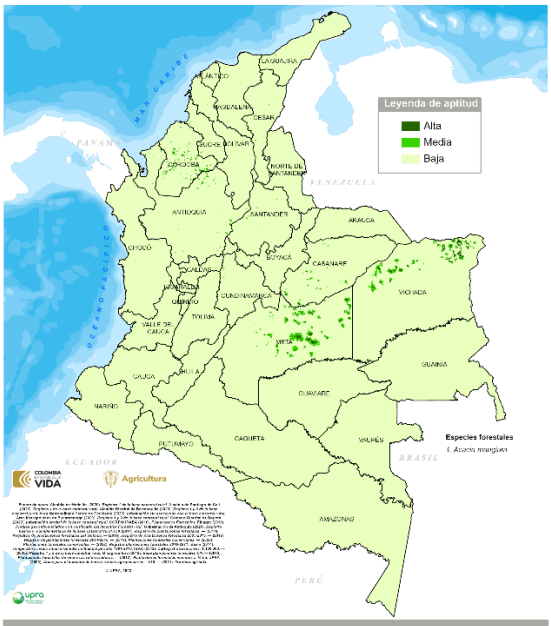
Los rangos para la espacialización de la variable se clasificaron de acuerdo con las categorías de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3), como se muestra a continuación:

Predio	Aptitud
Con plantaciones	Alta (A1)
El colindante al predio con plantaciones	Media (A2)
Resto	Baja (A3)

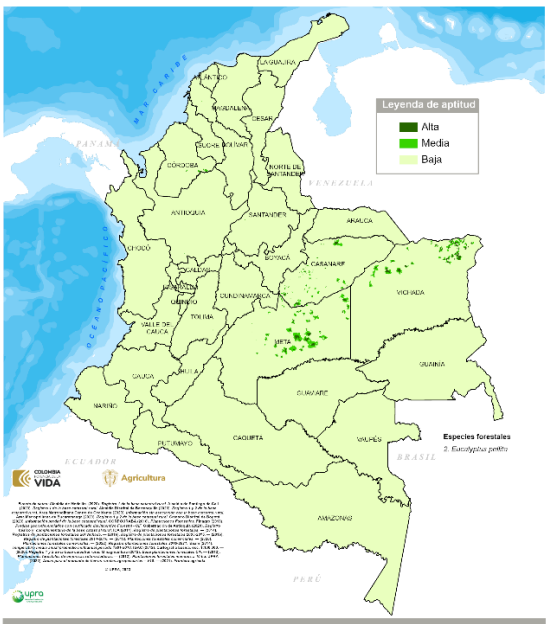
Unidad de análisis

Predios.

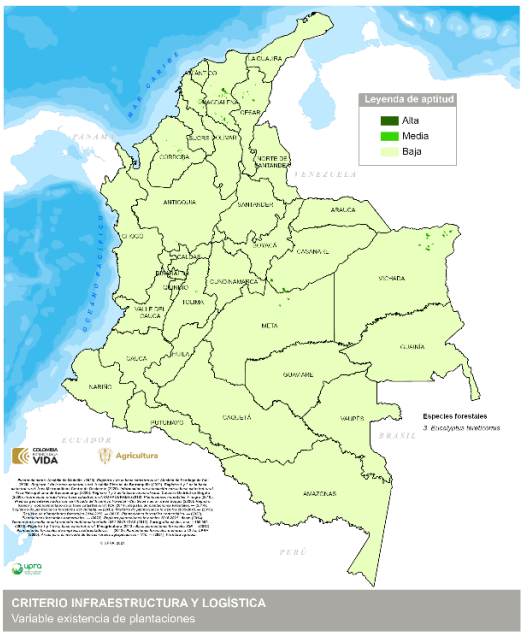
Representación cartográfica de la variable



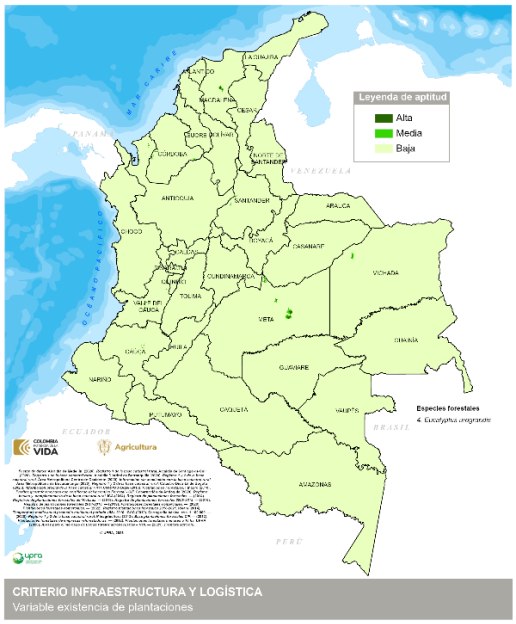
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable existencia de plantaciones



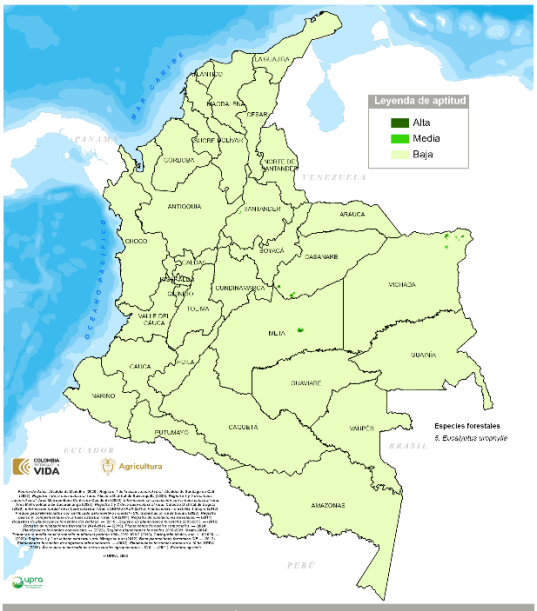
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable existencia de plantaciones



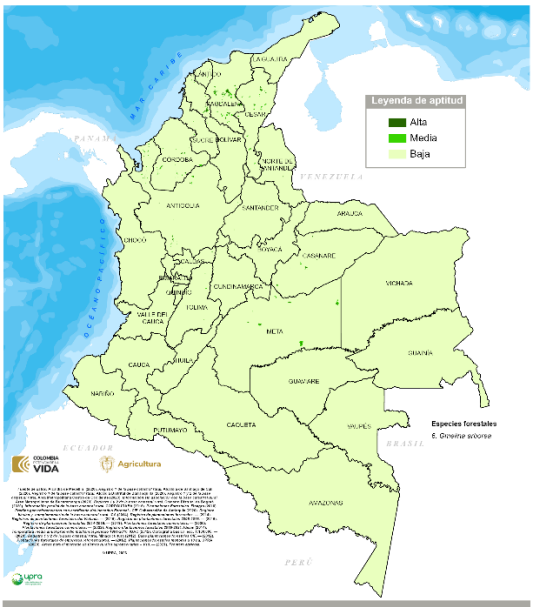
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable existencia de plantaciones



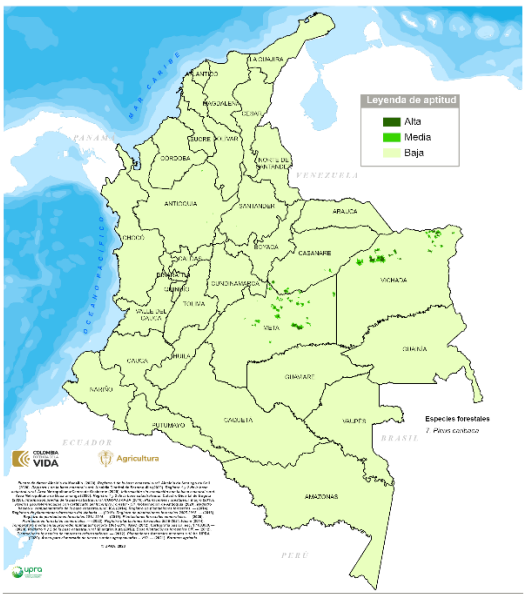
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable existencia de plantaciones



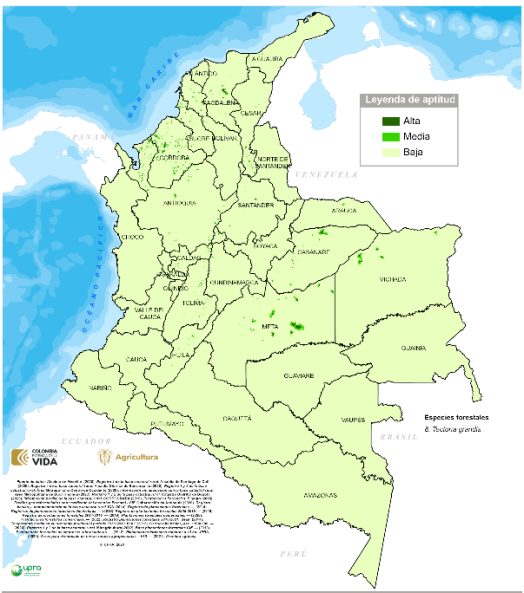
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable existencia de plantaciones



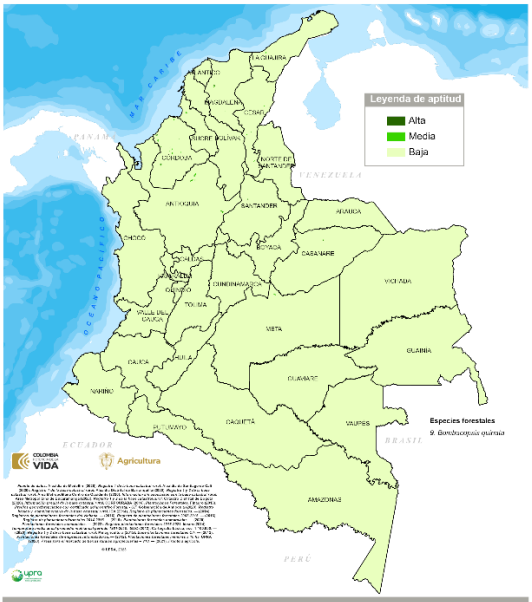
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable existencia de plantaciones



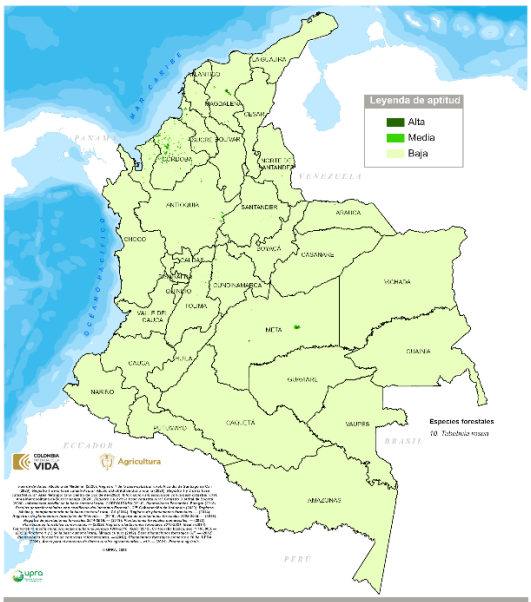
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable existencia de plantaciones



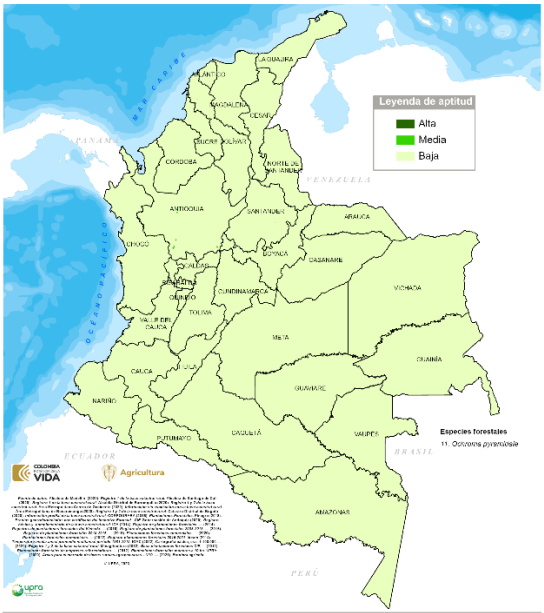
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable existencia de plantaciones



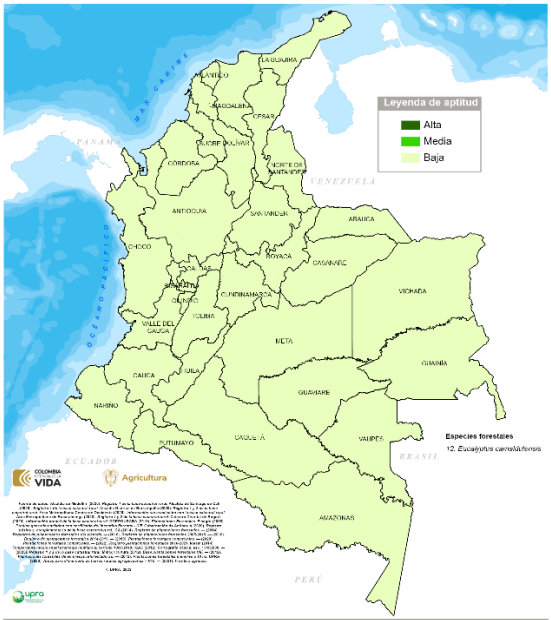
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable existencia de plantaciones



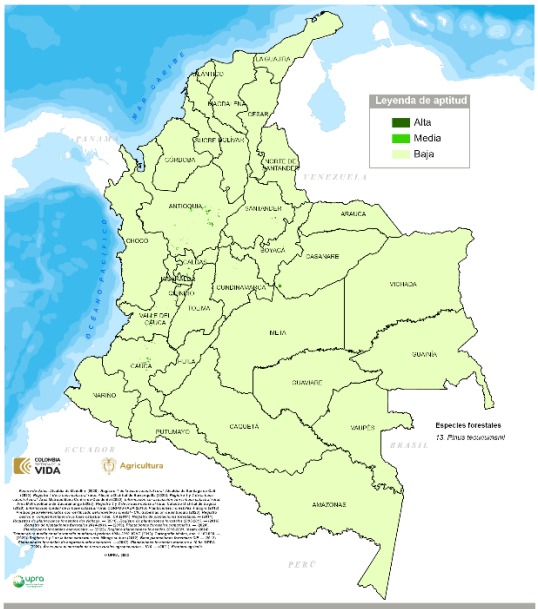
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable existencia de plantaciones



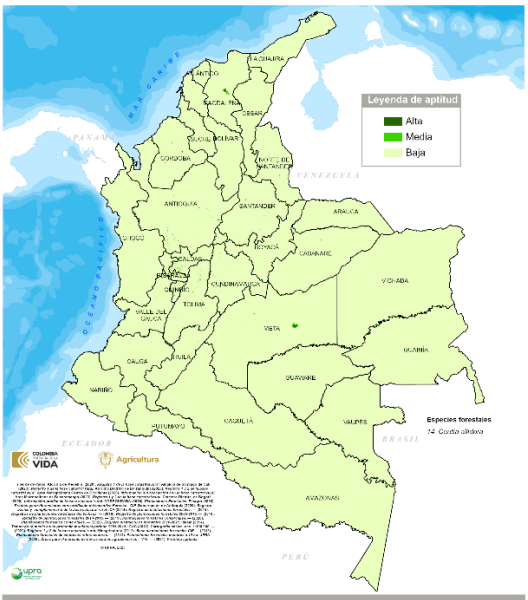
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable existencia de plantaciones



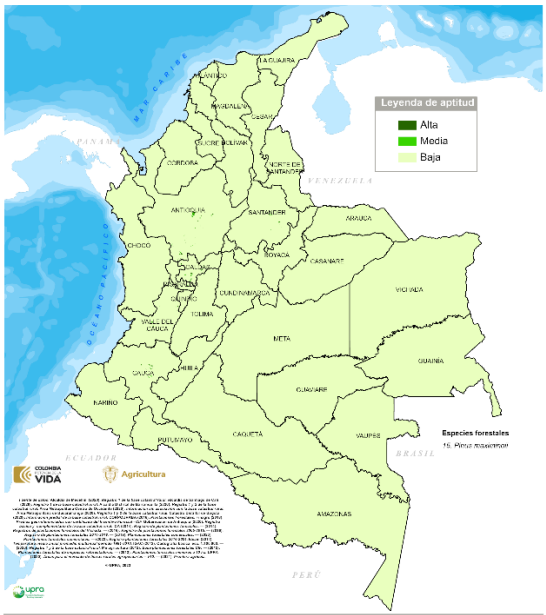
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable existencia de plantaciones



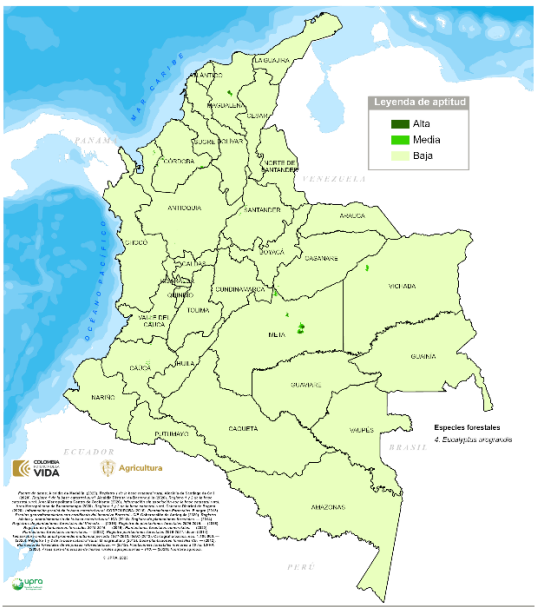
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable existencia de plantaciones



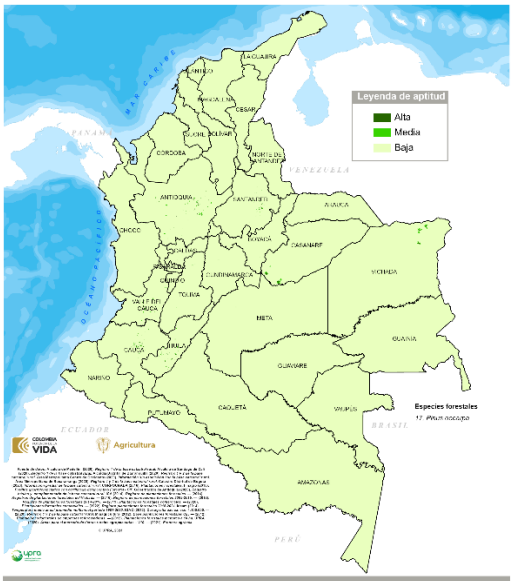
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable existencia de plantaciones



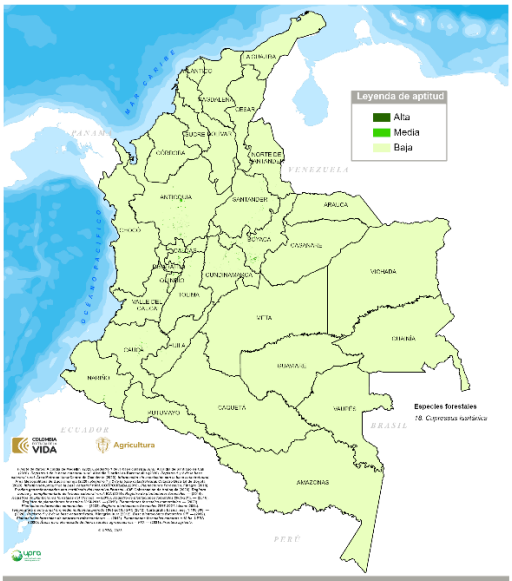
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable existencia de plantaciones



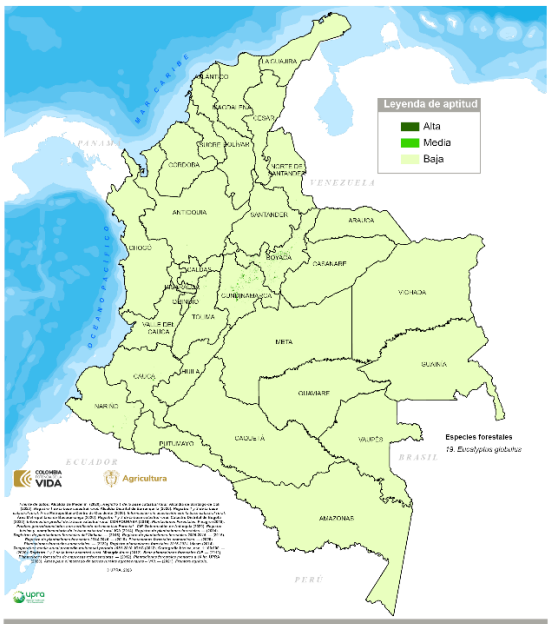
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable existencia de plantaciones



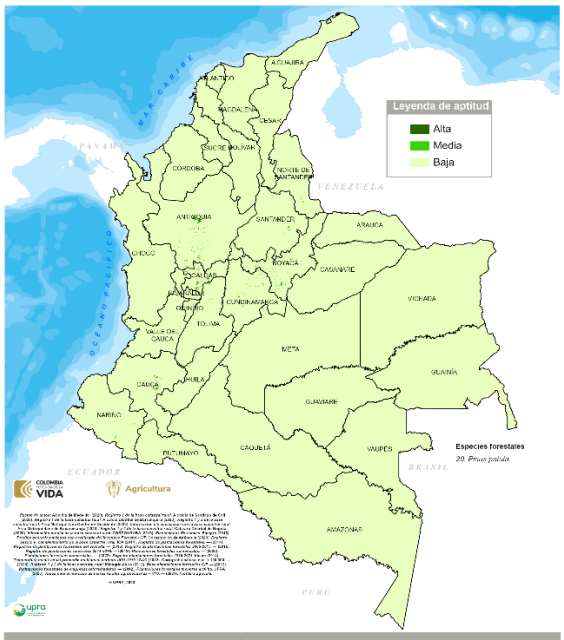
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable existencia de plantaciones



CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable existencia de plantaciones



CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable existencia de plantaciones



CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable existencia de plantaciones

Fuentes de información

Alcaldía de Barranquilla (2020). *Base catastral, registros 1 y 2*. Alcaldía de Barranquilla.

Alcaldía de Medellín (2020). *Base de datos catastral*. Alcaldía de Medellín.

Alcaldía de Santiago de Cali (2020). *Información predial rural*. Alcaldía de Santiago de Cali.

Área Metropolitana Centro de Occidente (2020). *Información sin asociación con la base catastral rural*. Alcaldía de Pereira.

Área Metropolitana de Bucaramanga (2020). *Registro 1 y 2 base catastral rural*. Alcaldía de Bucaramanga.

Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá (2016). *Plantaciones forestales*. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá (Corpourabá).

Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario (2022) *Predios georreferenciados con incentivo forestal CIF*. Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario (Finagro).

Gobernación de Antioquia (2020). *Registros básicos y complementarios de la información rural*. Gobernación de Antioquia.

Instituto Colombiano Agropecuario (2014a). *Registro de plantaciones forestales*. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

Instituto Colombiano Agropecuario (2014b) *Registro de plantaciones forestales del Vichada*. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

Instituto Colombiano Agropecuario (2016) *Registro de plantaciones forestales 2014-2016*. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020). *Base catastral, registros 1 y 2*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2012a). *Base de plantaciones forestales CIF*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2012b) *Plantaciones forestales de empresas reforestadoras*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2012c) *Plantaciones forestales menores a 10 hectáreas*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

Unidad Administrativa de Catastro Distrital (2020). *Información predial base catastral rural*. Unidad Administrativa de Catastro Distrital (UACD).

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (2020). *Tipología de condicionamientos legales del mercado de tierras V10: cancha mercado de tierras V10*. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (2019). *Frontera agrícola*. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

3.1.2. Variable *cercanía a las plantas de transformación*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: económico		
Criterio asociado: *infraestructura y logística*		
Variable: *cercanía a las plantas de transformación*	Unidad de medida: tiempo de desplazamiento (horas)	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Facilidad con la que se puede alcanzar las plantas transformadoras desde un punto del territorio, donde se obtiene el producto en rolliza, aserrado, aglomerado, en bioenergía y pulpa, papel y cartón.

Importancia de la variable

Incide en la percepción de los agentes económicos con respecto a la industrialización de la madera. Las zonas más cercanas a las plantas transformadoras se consideran más eficientes.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicad según el criterio asociado

En el análisis de la variable, no se presentaron límites que se calificaran como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

El algoritmo utilizado para la estimación de los tiempos de desplazamiento no incluyó los costos de transporte a través de la red vial.

Metodología de procesamiento de la información

Precisiones de la información

La metodología de isócronas empleada por la UPRA es una herramienta técnica a través de la cual se calculó el tiempo de desplazamiento sobre los ejes viales, como vías pavimentadas, carreteras con dos o más carriles, carreteras angostas, vías sin pavimentar, carreteras o senderos, cuyas pendientes fueron medidas por el método de elevación digital de 30 metros. Así mismo, se midió su influencia en la velocidad y los tramos navegables fluviales que existían para el año 2014. Los tipos de vías terrestres empleadas en el algoritmo de isócronas fueron los siguientes:

Tipo 1: pavimentada, carretera de dos o más carriles transitable todo el año.

Tipo 2: sin pavimentar, carretera de dos o más carriles transitable todo el año.

Tipo 3: pavimentada, carretera angosta transitable todo el año.

Tipo 4: sin pavimentar, carretera angosta transitable todo el año.

Tipo 5: sin pavimentar, transitable en tiempo seco.

Tipo 6: sin afirmado, transitable en tiempo seco.

Análisis de la consistencia y preparación de la información

Las plantas transformadoras, a pesar de sus características y de trabajar con especies definidas presentes en la región donde se localizan, se tuvieron que agrupar para conservar el proceso metodológico de álgebra de mapas de la zonificación de aptitud. Por esta razón, para realizar el proceso se tuvieron en cuenta las especies predominantes en la zona; la demanda del tipo de producto requerida por los consumidores; el tiempo de aprovechamiento de las plantaciones; y las características de la madera, estas dos últimas relacionadas directamente con la especie. Para ello, se generaron las siguientes subvariables con agrupación por uso y especies:

Madera aserrada. Piezas de madera maciza, obtenidas por aserrado del árbol, escuadradas, es decir, con caras paralelas entre sí y cantos perpendiculares, cuyas especies son la acacia, la ceiba, el nogal, el ciprés, la melina, el balso, el roble y la teca.

Madera rolliza. Madera en bruto, es decir, madera en su estado natural después de haber sido talada u obtenida de otro modo, con o sin corteza, en rollos, cuyas especies son los pinos y los eucaliptos.

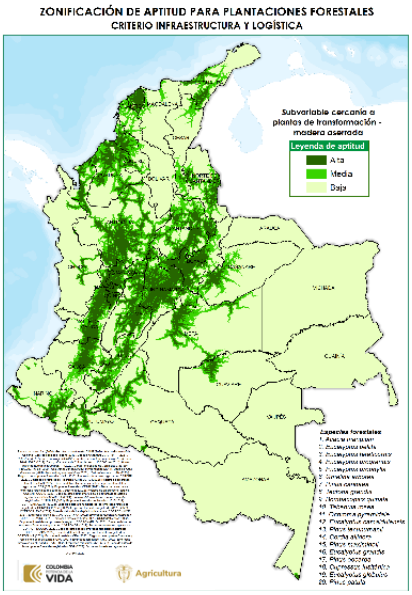
Aglomerados. Material que se vende en tableros y se compone de partículas de madera de diferentes tamaños, unidas entre sí por algún tipo de resina, cola u otro material y prensada a temperatura y presión controladas para formar el tablero, cuyas especies son la acacia, la ceiba, el nogal, el ciprés, la melina, el roble, los eucaliptos, los pinos y la teca.

Bioenergía. Tipo de combustible ecológico que pertenece a la categoría de biomasa vegetal, producto formado por cilindros muy pequeños de madera natural que puede utilizarse con fines energéticos, cuyas especies son la acacia, los eucaliptos y los pinos.

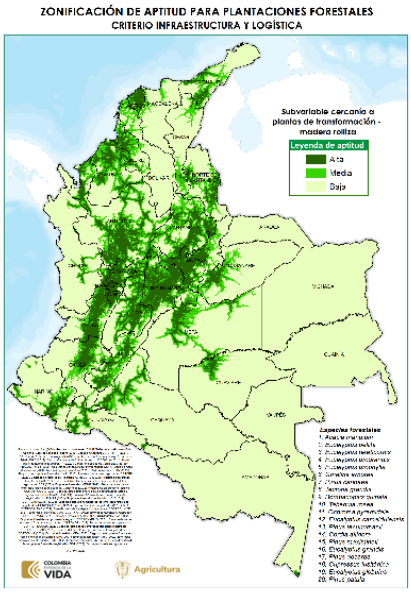
Pulpa, papel y cartón. Material extraído de maderas pulpables blandas o duras para la elaboración de papel o cartón, cuyas especies son los eucaliptos y los pinos.

Para calcular las isócronas, se tomó como punto de referencia la cabecera municipal donde se encuentran las plantas transformadoras así: con *aptitud alta* (A1), las plantas transformadoras cuya distancia toma menos de una hora; con *aptitud media* (A2), las plantas transformadoras cuyas distancia toma entre una y dos horas; con *aptitud baja* (A3), las plantas transformadoras cuya distancia toma más de dos horas.

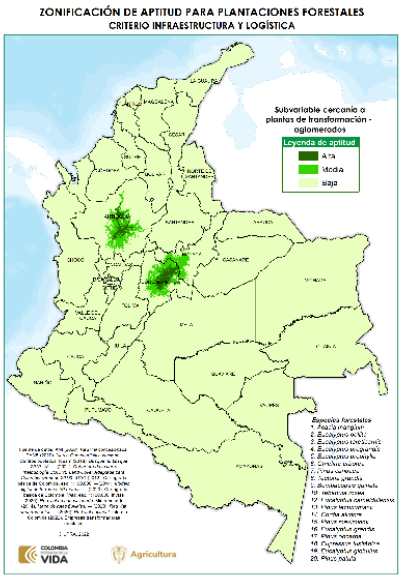
Madera aserrada



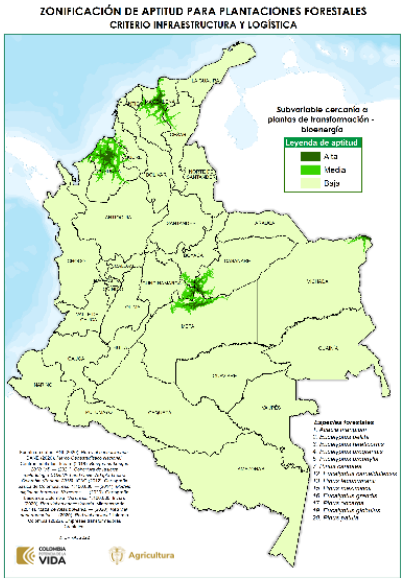
Madera rolliza



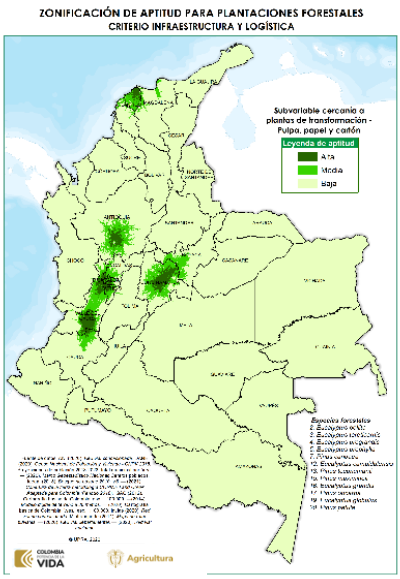
Aglomerados



Bioenergía



Pulpa, papel y cartón



Clasificación por aptitud

Los puntos de corte para establecer los rangos de aptitud se definieron de acuerdo con la agrupación por especie, como se muestra en la siguiente tabla:

			Usos				
N.°	**Nombre común**	**Especie**	**Aserrada**	**Rolliza**	**Aglomerados**	**Bioenergía**	**Pulpa, papel y cartón**
1	Acacia	*Acacia mangium*	✓	✓	✓	✓	—
2	Ceiba roja	*Bombacopsis quinata*	✓	✓	✓	—	—
	Nogal	*Cordia alliodora*					
	Ciprés	*Cupressus lucitanica*					
	Roble	*Tabebuia rosea*					
	Teca	*Tectona grandis*					
	Melina	*Gmelina arborea*					
3	Eucalipto	*Eucaliptus urograndis*	✓	✓	✓	✓	✓
	Eucalipto	*Eucalyptus camaldulensis*					
	Eucalipto	*Eucalyptus globulus*					
	Eucalipto	*Eucalyptus grandis*					
	Eucalipto	*Eucalyptus pellita*					
	Eucalipto	*Eucalyptus tereticornis*					
	Eucalipto	*Eucalyptus urophylla*					
	Pino	*Pinus caribea*					
	Pino	*Pinus maximinoi*					
	Pino	*Pinus oocarpa*					
	Pino	*Pinus patula*					
	Pino	*Pinus tecunimanii*					
4	Balso	*Ochroma pyramidale*	✓	✓	—	—	—

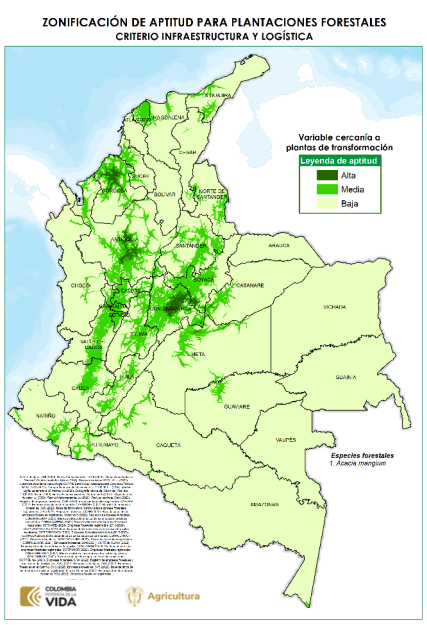
Rangos para la asignación de valores de aptitud

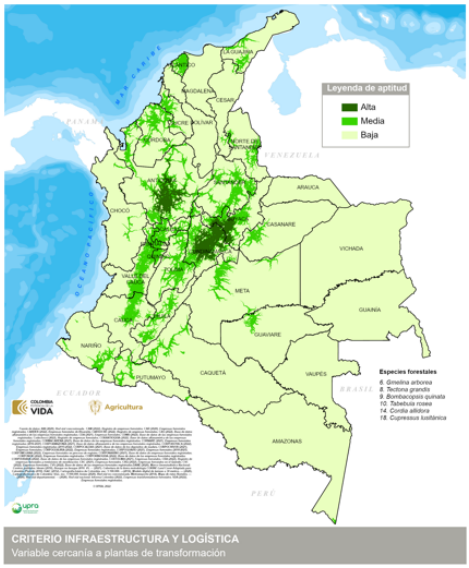
Los rangos para la espacialización de las variables se clasificaron de acuerdo con las categorías de aptitud, así: con *aptitud alta* (A1), las plantas de transformación cuya distancia toma menos de 1 hora; con *aptitud media* (A2), las plantas de transformación cuya distancia toma entre 1 y 2 horas; y con *aptitud baja* (A3), las plantas de transformación cuya distancia toma más de 2 horas. Para ello, se hizo usp del álgebra de mapas, cuyos usos por especie tienen pesos iguales.

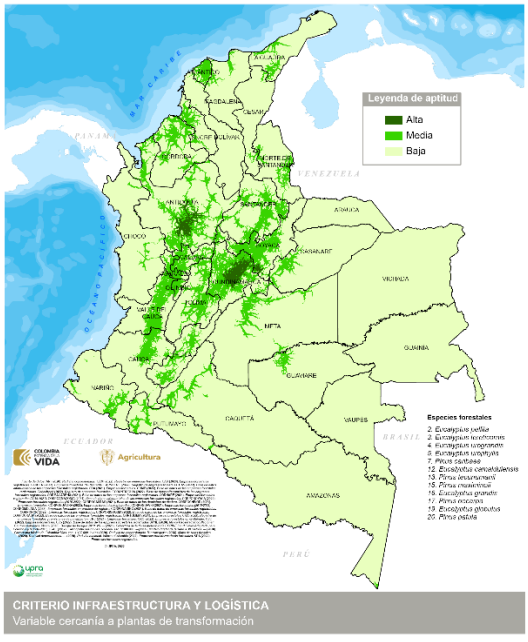
Unidad de análisis

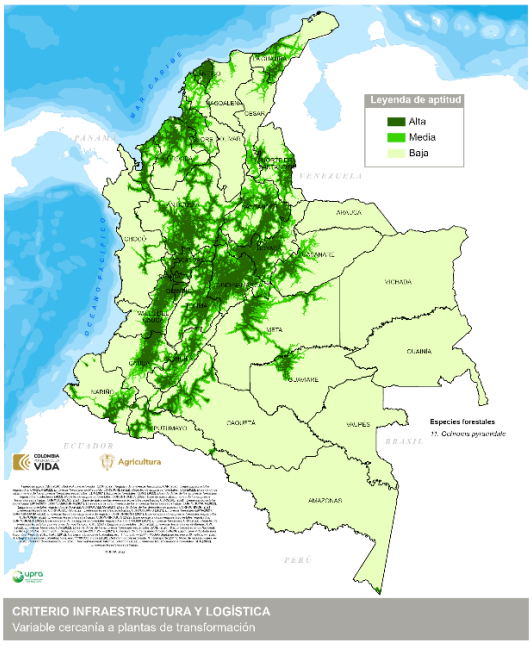
Tiempo de desplazamiento (horas).

Representación cartográfica de la variable









Fuentes de información

Agencia Nacional de Infraestructura (2020). *Red vial concesionaria*. Agencia Nacional de Infraestructura (ANI).

Corporación Autónoma Regional de Boyacá (2022). *Empresas forestales registradas*. Corporación Autónoma Regional de Boyacá (Corpoboyacá).

Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (2022). *Registro de empresas forestales*. Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM).

Corporación Autónoma Regional de Risaralda (2022). *Empresas forestales de Risaralda*. Corporación Autónoma Regional de Risaralda (Carder).

Corporación Autónoma Regional de Sucre (2022). *Registro de empresas forestal*. Corporación Autónoma Regional de Sucre (Carsucre).

Corporación Autónoma Regional de Santander (2022). *Base de datos alfanumérica de las empresas forestales registradas*. Corporación Autónoma Regional de Santander (CAS).

Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó (2022). *Empresas registradas*. Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó (Codechocó).

Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (2022). *Base de datos alfanumérica de las empresas forestales registradas*. Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia (Corantioquia).

Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare (2021). *Empresas forestales registradas*. Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare (Cornare).

Corporación Autónoma Regional del Amazonas (2021). *Base de datos alfanumérica de las empresas forestales registradas*. Corporación Autónoma Regional del Amazonas (Corpoamazonas).

Corporación Autónoma Regional de Caldas (2021). *Base de datos de los depósitos de madera*. Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas).

Corporación Autónoma Regional de Chivor (2021). *Empresas forestales*. Corporación Autónoma Regional de Chivor (Corpochivor).

Corporación Autónoma Regional de La Guajira (2022). *Empresas forestales registradas*. Corporación Autónoma Regional de La Guajira (Corpoguajira).

Corporación Autónoma Regional del Guavio (2021). *Empresas forestales*. Corporación Autónoma Regional del Guavio (Corpoguavio).

Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (2022). *Base de datos de las empresas forestales registradas*. Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB).

Corporación para el Desarrollo Sostenible de la Mojana y el San Jorge (2022). *Empresas forestales en proceso de registro*. Corporación para el Desarrollo Sostenible de la Mojana y el San Jorge (Corpomojana).

Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena (2021). *Base de datos de las empresas forestales registradas*. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena (Cormacarena).

Corporación para el Desarrollo Sostenible del Norte y el Oriente Amazónico (2021). *Empresas forestales*. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Norte y el Oriente Amazónico (CDA).

Corporación Autónoma Regional de Nariño (2021). *Base de datos de las empresas forestales registradas*. Corporación Autónoma Regional de Nariño (Corponariño).

Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (2022). *Empresas forestales registradas*. Corporación Autónoma Regional de la Frontera Nororiental (Corponor).

Corporación Autónoma Regional de la Orinoquía (2022). *Base de datos de las empresas forestales registradas*. Corporación Autónoma Regional de la Orinoquía (Corporinoquia).

Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá (2016). *Plantaciones forestales*. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá (Corpourabá).

Corporación Autónoma Regional del Tolima (2021). *Empresas forestales*. Corporación Autónoma Regional del Tolima (Cortolima).

Corporación Autónoma Regional del Atlántico (2022). *Registro de empresas forestales y remisiones de movilización*. Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA).

Corporación Autónoma Regional del Quindío (2022). *Empresas forestales del Quindío*. Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ).

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (2022). *Empresas forestales*. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC).

Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge (2022). *Base de datos de las empresas forestales registradas*. Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge (CVS).

Corporaciones Autónomas Regionales (2020). *Empresas forestales registradas*. Corporaciones Autónomas Regionales (CAR).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020). *Marco geoestadístico nacional: centros poblados*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2018). *Bosque no bosque V5 2010*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2021). *Mapa nacional de cobertura de la tierra: metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia, período 2018*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Modelo digital de elevación de 30 metros*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020). *Cartografía básica, vías escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Nacional de Vías (2020). *Red vial no concesionada*. Instituto Nacional de Vías (Invías).

Ministerio de Transporte (2014*). Mapa de tramos fluviales navegables*. Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Ministerio de Transporte (2020). *Red vial departamental y nacional*. Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Secretaría Distrital de Ambiente (2022). *Empresas forestales registradas*. Secretaría Distrital de Ambiente (SDA).

3.1.3. Variable *movilización de madera*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: económico		
Criterio asociado: *infraestructura y logística*		
Variable: *movilización de madera*	Unidad de medida: predios y volumen de madera (m^3)	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Cercanía del predio y del colindante a las vías primarias, secundarias y terciarias que hay en el país; y accesibilidad a las rutas terrestres para el movimiento de madera de un lugar a otro. Sintetiza la facilidad de desplazamiento del aparato productivo para el transporte de madera.

Importancia de la variable

Muestra las rutas donde se reportó movimiento de madera en el año 2021. La variable impacta la facilidad con que los agentes económicos pueden desplazarse en el territorio nacional, en especial, quienes trasladan madera de un sitio a otro. Así mismo, los predios más cercanos a las vías tendrán mayor aptitud para interactuar en los procesos con socios comerciales, tanto actuales como potenciales, en la movilización de madera.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

El análisis de la variable no se presentaron límites que se calificaran como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

La espacialización depende de la información de predios, aunque los municipios del suroriente colombiano no presentaron información catastral, por lo que en estos sitios sólo se muestran las rutas y las líneas del movimiento.

Metodología de procesamiento de la información

Precisiones de la información

Se tuvo en cuenta la información de las guías de movilización del ICA. El punto de origen estimó el municipio de origen de las plantaciones forestales y la información de movilización en metros cúblicos. El punto de destino cuya madera movilizada llega a otro predio o a una planta transformadora se analizó en metros cúbicos para identificar el volumen y el flujo de movilización más frecuente por cada especie forestal. Se consideró la movilización terrestre y fluvial y los productos de la madera, como bloque, rolliza, pulpa, postes, repizas y tablas.

Se identificaron los predios georreferenciados con plantaciones y su colindante excluyendo los que cumplieran con las siguientes características: predios cuyo tipo de propietario sea *propiedad colectiva*; predios cuyo tipo de propietario sea *sin información y que estén excluidos de la cancha de MT*; predios cuyo tipo de propietario sea *Estado y que estén excluidos de la cancha de MT*; predios cuyo tipo de propietario sea *Estado*; predios cuyo tipo de propietario y categoría de propietario sea *null*"; predios sin información y que estén excluidos de la cancha de MT; predios colindantes en un municipio diferente al del predio con plantación clasificado en A1; predios marcados como *baldíos*; predios que estén fuera de frontera agrícola.

Análisis de la consistencia y preparación de la información

Se organizó la base de datos de las guías de movilización ICA 2021, de acuerdo con el punto de origen y el punto de destino. Se trazaron las vías según la cercanía de los predios colindantes a las vías que transportan más de 20 de metros cúbicos de madera al año. Este proceso se realizó para las veinte especies en estudio, como se puede consultar en la siguiente tabla:

N.°	Nombre común	Especies
1	Acacia	*Acacia mangium*
2	Eucalipto	*Eucalyptus pellita*
3	Eucalipto	*Eucalyptus tereticornis*
4	Eucalipto	*Eucalyptus urograndis*
5	Eucalipto	*Eucalyptus urophylla*
6	Melina	*Gmelina arborea*
7	Pino	*Pinus caribaea*
8	Teca	*Tectona grandis*
9	Ceiba roja	*Bombacopsis quinata*
10	Roble	*Tabebuia rosea*
11	Balso	*Ochroma pyramidale*
12	Eucalipto	*Eucalyptus camaldulensis*
13	Pino	*Pinus tecunumanii*
14	Nogal	*Cordia alliodora*
15	Pino	*Pinus maximinoi*
16	Eucalipto	*Eucalyptus grandis*
17	Pino	*Pinus oocarpa*
18	Ciprés	*Cupressus lusitanica*
19	Eucalipto	*Eucalyptus globulus*
20	Pino	*Pinus patula*

Clasificación por aptitud

Los puntos de corte para establecer los rangos de aptitud definieron el predio y colindante en las rutas terrestres que movilizan madera en metros cúbicos en el país, así: con *aptitud alta* (A1), los predios y colindante cuya ruta transportan más de 20 metros cúbicos; con *aptitud media* (A2), los predios y colindante cuya ruta transportan menos de 20 metros cúbicos; y con *aptitud baja* (A3), el resto del país.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

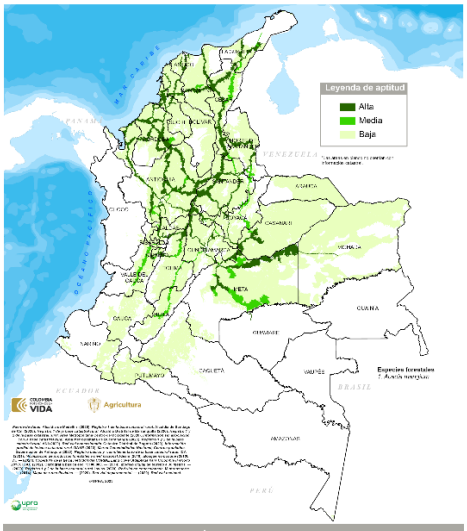
Los rangos para la espacialización de las variables se clasificaron de acuerdo con las categorías de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3), como se muestra a continuación:

Predios y volumen de madera (m^3)	Aptitud
Predio y colindante a la ruta que transportan más de 20 m^3	Alta (A1)
Predio y colindante a la ruta que transportan menos de 20 m^3	Media (A2)
Resto	Baja (A3)

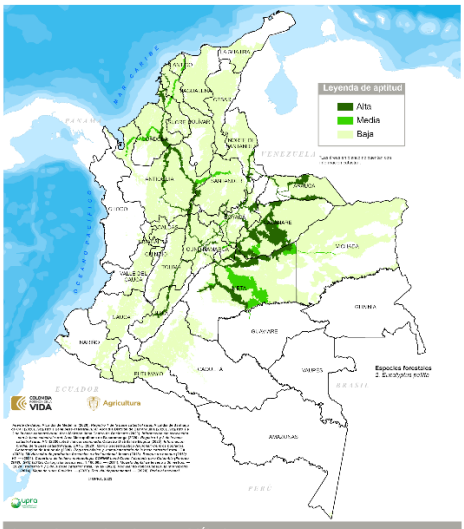
Unidad de análisis

Predios y volumen de madera (m^3).

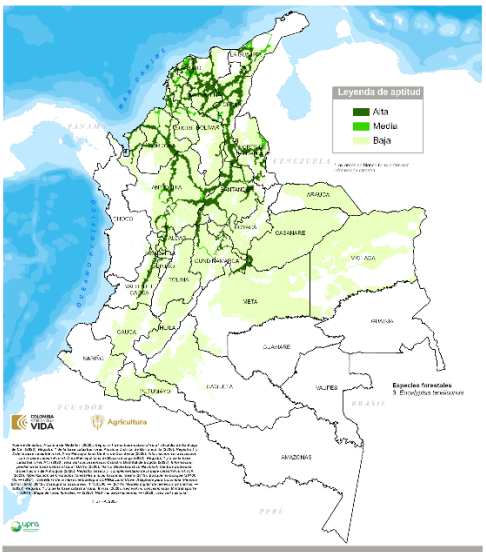
Representación cartográfica de la variable



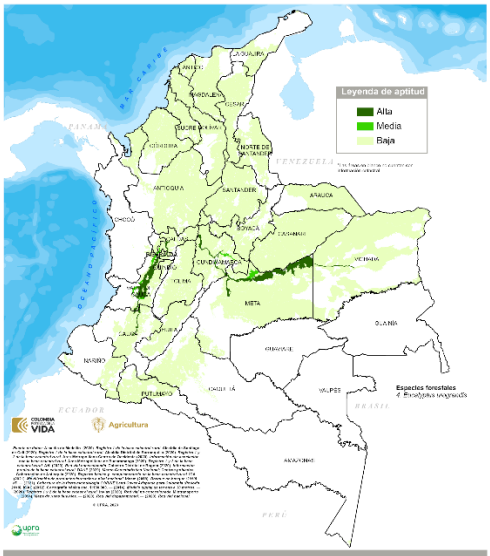
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable movilización de madera



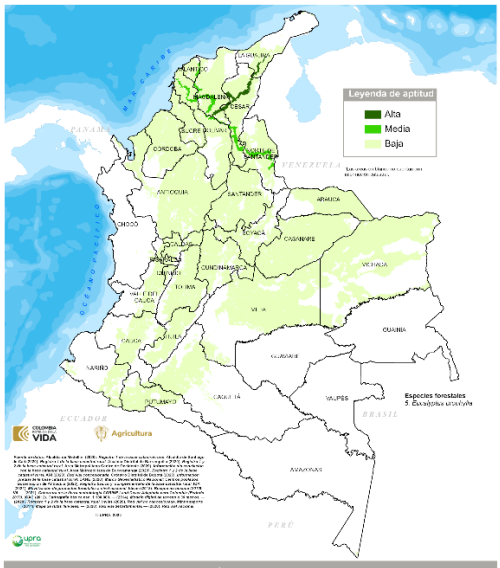
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable movilización de madera



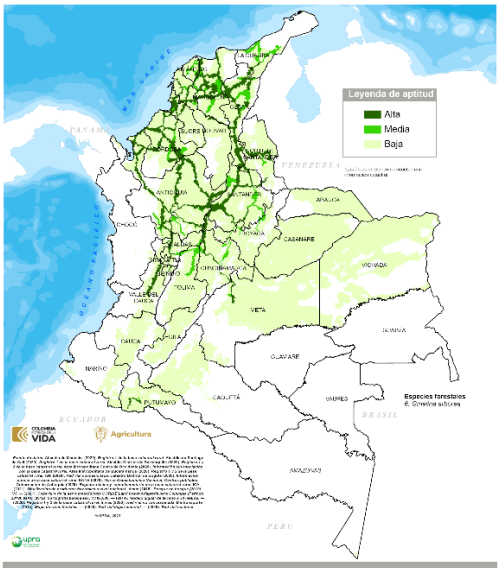
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable movilización de madera



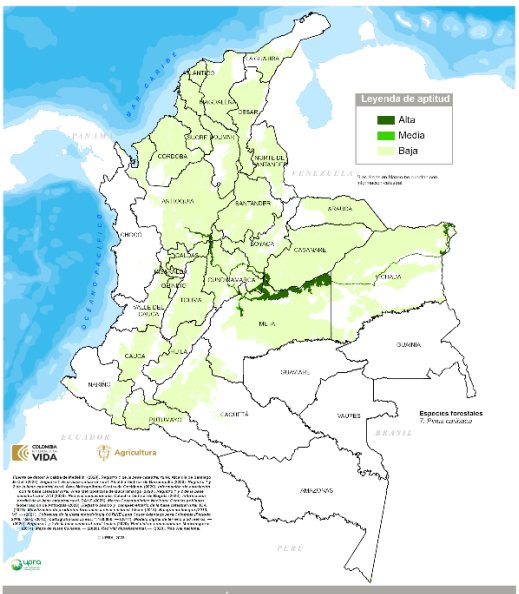
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable movilización de madera



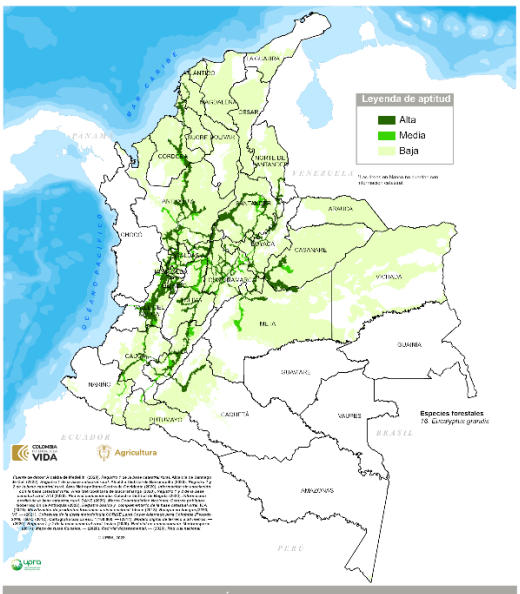
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable movilización de madera



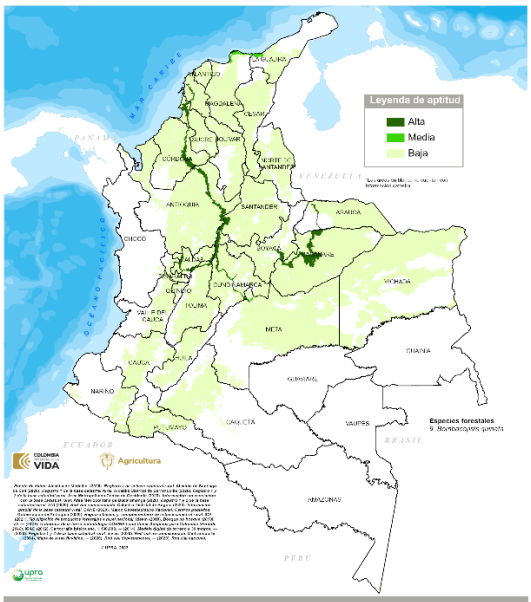
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable movilización de madera



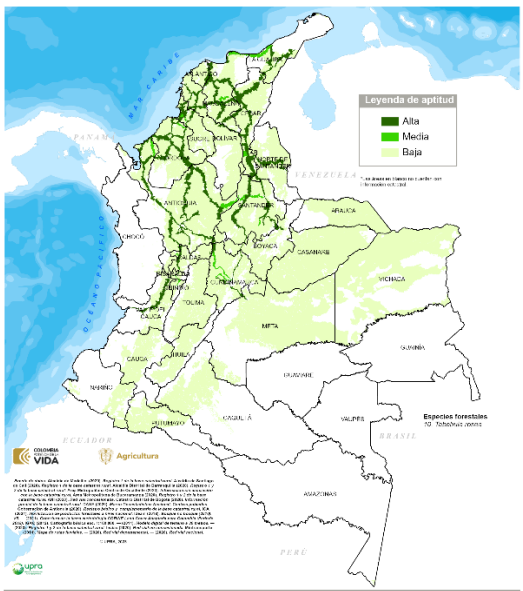
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable movilización de madera



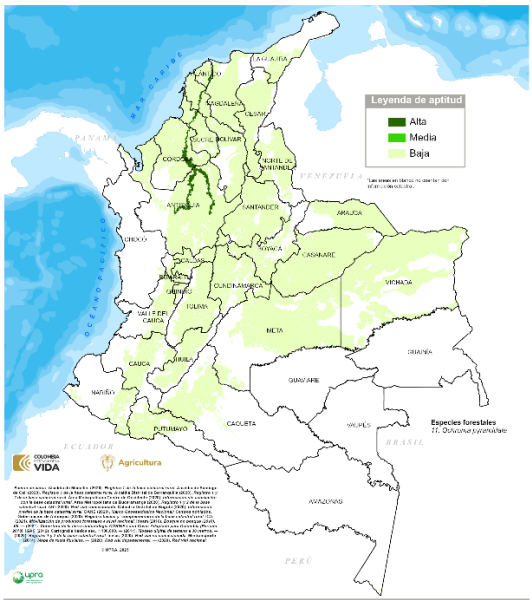
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable movilización de madera



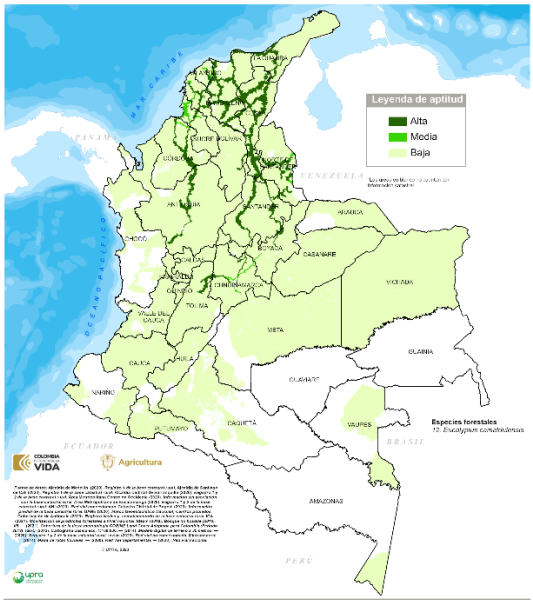
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable movilización de madera



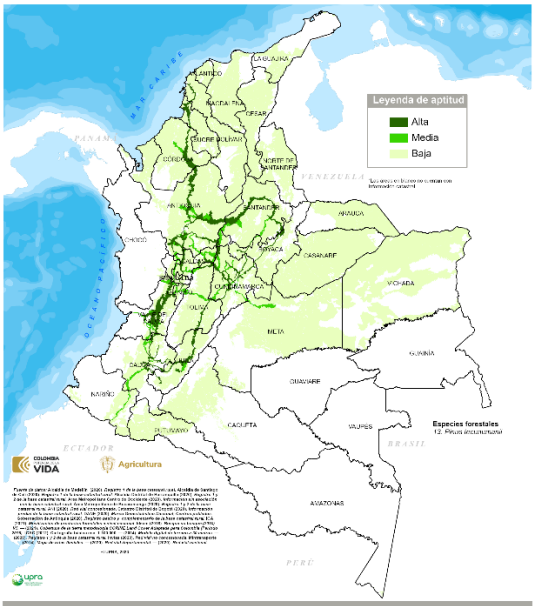
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable movilización de madera



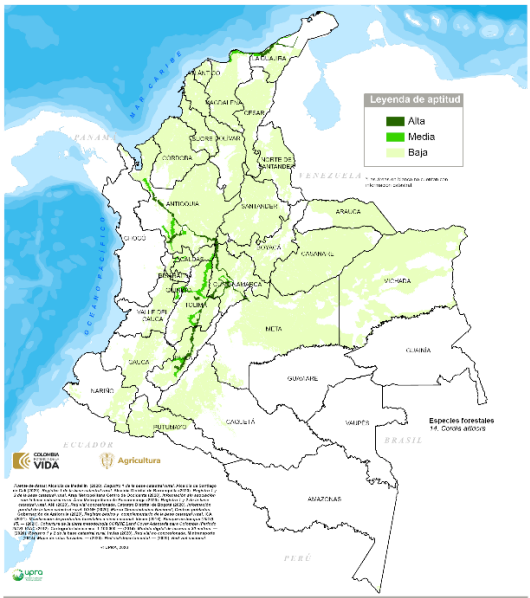
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable movilización de madera



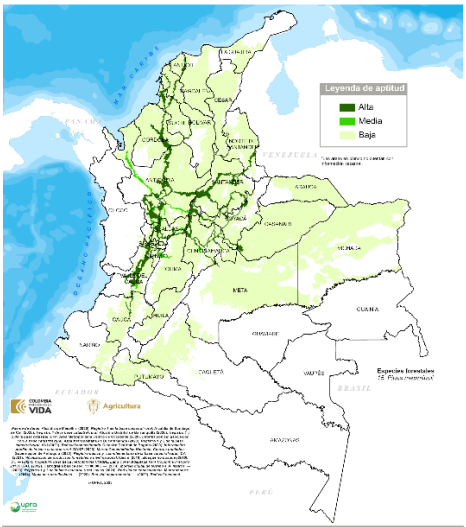
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable movilización de madera



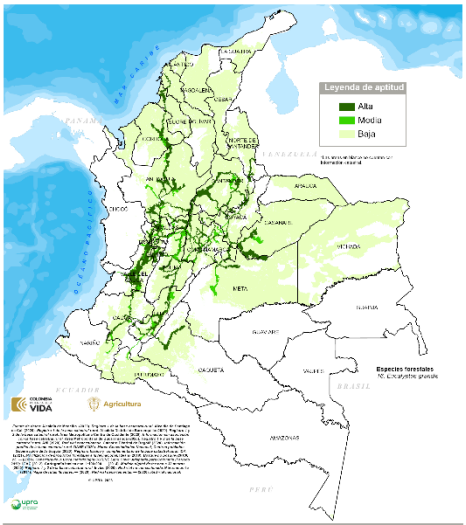
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable movilización de madera



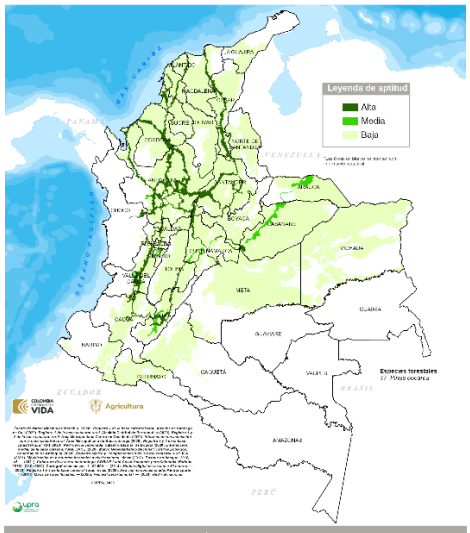
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable movilización de madera



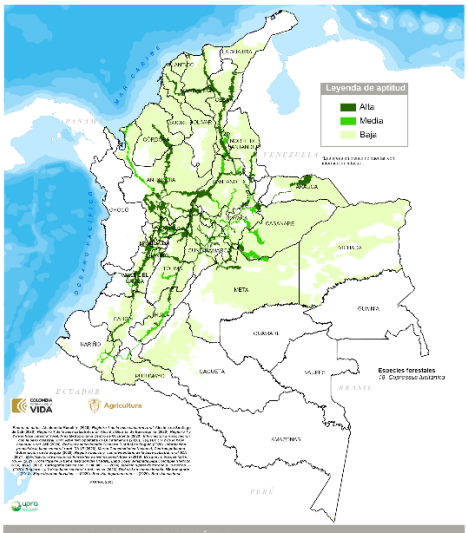
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable movilización de madera



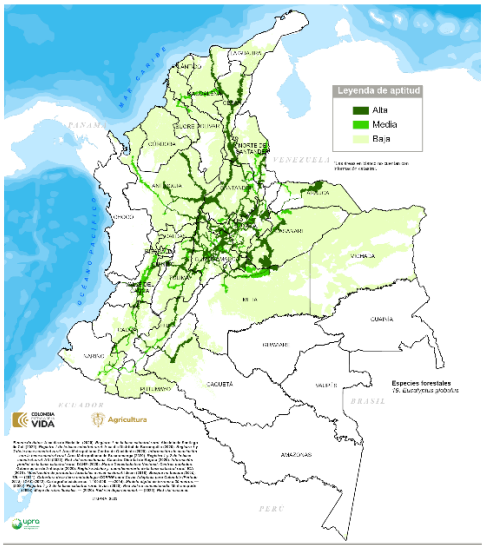
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable movilización de madera



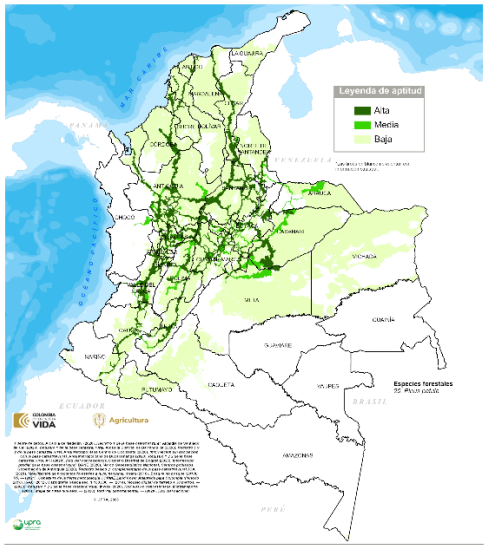
CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable movilización de madera



CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable movilización de madera



CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable movilización de madera



CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable movilización de madera

Fuentes de información

Agencia Nacional de Infraestructura (2020). *Red vial concesionaria*. Agencia Nacional de Infraestructura (ANI).

Alcaldía de Barranquilla (2020). *Base catastral, registros 1 y 2*. Alcaldía de Barranquilla.

Alcaldía de Medellín (2020). *Base de datos catastral*. Alcaldía de Medellín.

Alcaldía de Santiago de Cali (2020). *Información predial rural*. Alcaldía de Santiago de Cali.

Área Metropolitana Centro de Occidente (2020). *Información sin asociación con la base catastral rural*. Alcaldía de Pereira.

Área Metropolitana de Bucaramanga (2020). *Registro 1 y 2 base catastral rural*. Alcaldía de Bucaramanga.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020). *Marco geoestadístico nacional: centros poblados*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Gobernación de Antioquia (2020). *Registros básicos y complementarios de la información rural*. Gobernación de Antioquia.

Instituto Colombiano Agropecuario (2021). *Movilización de productos forestales a nivel nacional*. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2018). *Bosque no bosque V5 2010*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2010). *Leyenda nacional de coberturas de la tierra: metodología CORINE Land Cover, adaptada para Colombia, escala 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). https://n9.cl/23v8d

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Modelo digital de elevación de 30 metros*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020a). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020b). *Base catastral, registros 1 y 2*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Nacional de Vías (2020). *Red vial no concesionada*. Instituto Nacional de Vías (Invías).

Ministerio de Transporte (2020). *Red vial departamental y nacional*. Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Unidad Administrativa de Catastro Distrital (2020). *Información predial base catastral rural*. Unidad Administrativa de Catastro Distrital (UACD).

3.1.4. Variable *cercanía a los viveros registrados*

Ficha metodológica de variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: económico		
Criterio asociado: *infraestructura y logística*		
Variable: *cercanía a los viveros registrados*	Unidad de medida: tiempo de desplazamiento (horas)	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Facilidad con la que se puede alcanzar instalaciones que garanticen material vegetal certificado por entidades fitosanitarias de carácter nacional. Los viveros registrados corresponden al conjunto de instalaciones cuyo propósito es la producción de material vegetativo, lo cual constituye el mejor medio para seleccionar, producir y propagar plántulas sanas y de buena calidad.

Importancia de la variable

Tener cerca a los predios cultivados y a los viveros registrados ante el ICA es un aporte a la competitividad de las plantaciones forestales, pues dispone de material certificado que permite un buen desarrollo inicial de una plantación forestal.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

El análisis de la variable no presentó límites que se calificaran como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

El algoritmo utilizado para la estimación de los tiempos de desplazamiento no incluyó los costos de transporte a través de la red vial.

Metodología de procesamiento de la información

Precisiones de la información

La metodología de isócronas empleada por la UPRA es una herramienta técnica a través de la cual se calculó el tiempo de desplazamiento sobre los ejes viales, como vías pavimentadas, carreteras con dos o más carriles, carreteras angostas, vías sin pavimentar, carreteras o senderos, cuyas pendientes fueron medidas por el método de elevación digital de 30 metros. Así mismo, se midió su influencia en la velocidad y los tramos navegables fluviales que existían para el año 2014. Los tipos de vías terrestres empleadas en el algoritmo de isócronas fueron los siguientes:

Tipo 1: pavimentada, carretera de dos o más carriles transitable todo el año.

Tipo 2: sin pavimentar, carretera de dos o más carriles transitable todo el año.

Tipo 3: pavimentada, carretera angosta transitable todo el año.

Tipo 4: sin pavimentar, carretera angosta transitable todo el año.

Tipo 5: sin pavimentar, transitable en tiempo seco.

Tipo 6: sin afirmado, transitable en tiempo seco.

Análisis de la consistencia y preparación de la información

La localización de los viveros registrados son las cabeceras municipales, a partir de las cuales se estimó el área de influencia para un tiempo de desplazamiento determinado.

Clasificación por aptitud

Los putos de corte para establecer los rangos de aptitud se definieron con base en los tiempos de desplazamiento a los viveros registrados, considerando que a mayor distancia se reduce la posibilidad de acceder a ellos, así: con *aptitud alta* (A1), los viveros registrados cuya distancia toma menos de una hora; con *aptitud media* (A2), los viveros registrados cuya distancia toma entre una y tres horas: y con *aptitud baja* (A3), los viveros registrados cuya distancia toma más de tres horas.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

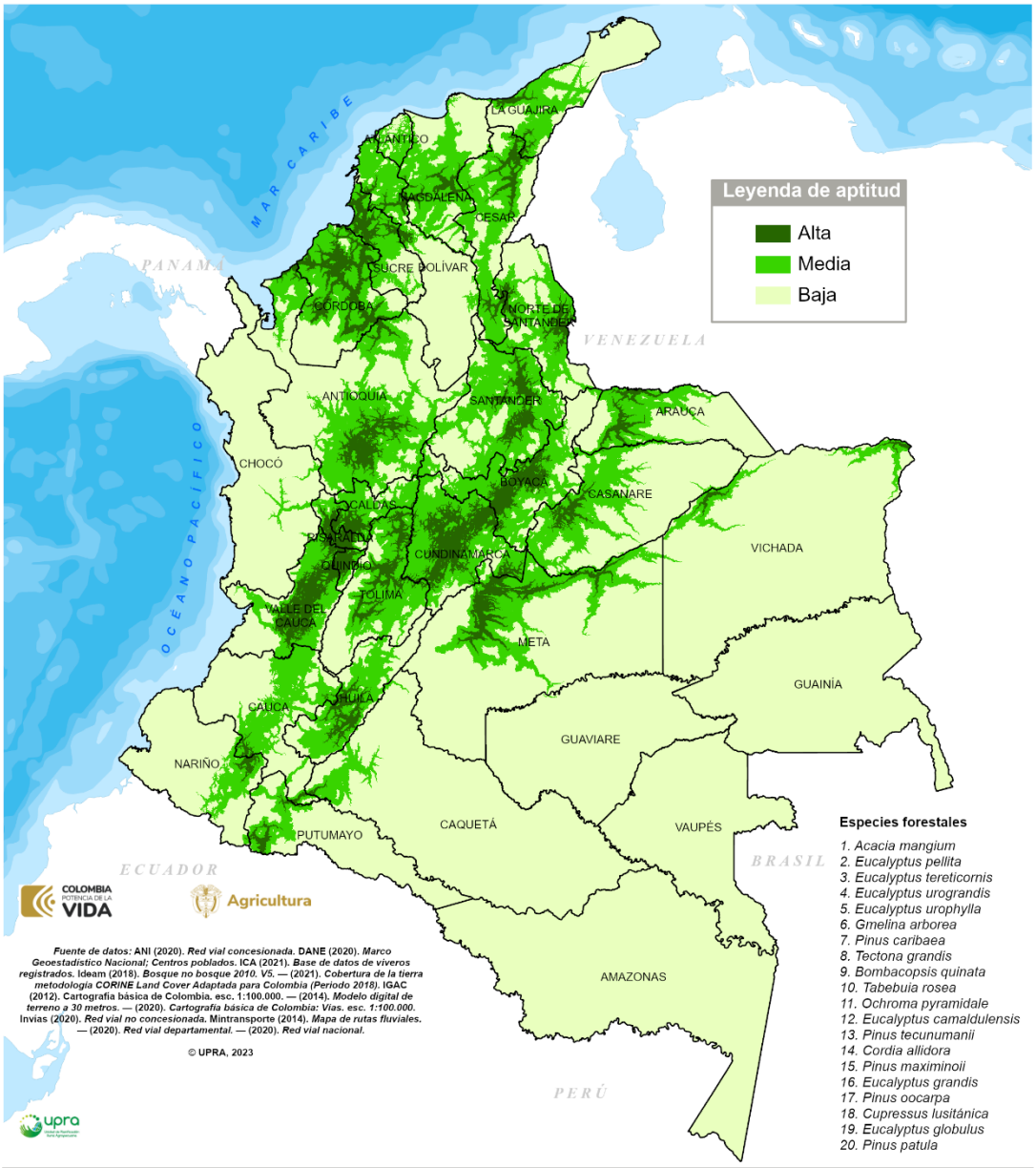
Los rangos para la espacialización de la variable *cercanía a los viveros registrados* para las plantaciones forestales se clasificaron de acuerdo con las categorías de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3), como se puede observar en la siguiente tabla:

Tiempo de desplazamiento (horas)	Aptitud
<1	Alta (A1)
1-3	Media (A2)
>3	Baja (A3)

Unidad de análisis

Tiempo de desplazamiento (horas).

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable cercanía a viveros registrados

Fuentes de información

Agencia Nacional de Infraestructura (2020). *Red vial concesionaria*. Agencia Nacional de Infraestructura (ANI).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020). *Marco geoestadístico nacional: centros poblados*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Instituto Colombiano Agropecuario (2021). *Base de datos de viveros registrados*. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2018). *Bosque no bosque V5 2010*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2021). *Mapa nacional de cobertura de la tierra: metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia, período 2018*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Modelo digital de elevación de 30 metros*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020). *Cartografía básica, vías escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Nacional de Vías (2020). *Red vial no concesionada*. Instituto Nacional de Vías (Invías).

Ministerio de Transporte (2014*). Mapa de tramos fluviales navegables*. Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Ministerio de Transporte (2020). *Red vial departamental y nacional*. Ministerio de Transporte (Mintransporte).

3.1.5. Variable *cercanía a las vías*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: económico		
Criterio asociado: *infraestructura y logística*		
Variable: *cercanía a las vías*	Unidad de medida: vías	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Estructura diseñada para el tráfico de vehículos, personas y animales para establecer la conexión entre poblados, comunidades urbanas y sitios de interés. Se clasifica en seis tipos de vía que cumplen con características de estado de superficie, número de carriles y accesibilidad.

Importancia de la variable

Entrega una referencia de la ventaja de tener acceso a la malla vial nacional, que facilita la movilidad de los insumos para la instalación del cultivo y para el transporte al momento del aprovechamiento. Con ello se consideran más competitivas las áreas colindantes hasta unas distancias operativamente representativas para la actividad forestal, pues ofrece condiciones más propicias para el desarrollo de la actividad productiva.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

En el análisis de la variable, no se presentaron límites que calificaran como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

Una de las principales limitantes de la variable fue que la cartografía básica con la que se trabajó no tenía la actualización necesaria para reflejar el verdadero estado de las vías, por lo que podría no contarse con el detalle que garantizara la óptima información para construirla.

Metodología de procesamiento de la información

Precisiones de la información

Este mapa contiene las vías clasificadas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y el Instituto Nacional de Vías (Invías) hasta la categoría 5 de la siguiente manera:

Vías primarias. Son las troncales, transversales y accesos a capitales de departamento que cumplen la función de integrar las principales zonas de producción y consumo del país, y de éste con otros países. Este tipo de carreteras pueden ser de calzadas divididas según las exigencias particulares del proyecto; carretera pavimentada con revestimiento duro (concreto) o flexible (asfalto); o carretera transitable todo el año.

Vías secundarias. Son las vías que unen las cabeceras municipales entre sí o que provienen de una cabecera municipal y conectan con una carretera primaria. Las carreteras consideradas como *secundarias* pueden funcionar pavimentadas o en afirmado y son vías transitables todo el año.

Vías terciarias. Son las vías de acceso que unen las cabeceras municipales con sus veredas o que unen veredas entre sí. Las carreteras consideradas como *terciarias* deben funcionar en afirmado. En caso de pavimentarse, deberán cumplir con las condiciones geométricas estipuladas para las vías secundarias.

Placa huella. Vía con placa huella que presenta un volumen de tránsito bajo con muy pocos buses y camiones al día, aunque los automóviles, los camperos y las motocicletas son el mayor componente del flujo vehicular.

Camino. Camino o sendero de adecuación vial rural, por el cual transitan principalmente peatones y animales. La superficie no tiene pavimento ni afirmado.

También se contempló la definición del uso del cable como medio de transporte para las trozas de madera de la plantación hasta la vía más cercana que permitiera al traslado a las plantas de transformación en las zonas cuya construcción de carreteras es muy difícil y onerosa o en zonas de difícil acceso por pendiente y por otras condiciones físicas, como rocas o erosión, que dificulten el transporte de la madera. Estos cables pueden ser terrestres o aéreos, por lo que, segúna y su instalación y operación, se determinaron las distancias de los *buffers* utilizados.

Análisis de la consistencia y preparación de la información

Se tomó como base la información de la estructura vial nacional del IGAC con la correspondiente clasificación según las características de las vías que allí se identifican. Se tomaron como origen de la construcción de unos *buffer* determinados con base en el tipo de vías según la clasificación. Se estimó una distancia de entre 500 y 1000 metros, distancias medidas según los predios ubicados en pendientes pronunciadas que requieren infraestructuras para movilizar las maderas del interior del predio a las vías principales para el traslado a las plantas de trasformación. En cuanto a los predios con pendientes planas, no tendrían tales restricciones, por lo que necesariamente se incluyeron en las distancias para los que cuentan con mayores limitantes.

Clasificación de los municipios por aptitud

El procedimiento derivó en tres agrupamientos a los que se le asignó la calificación de aptitud definidos de la siguiente manera: con *aptitud alta* (A1), las vías tipo 1-4 con *buffer* de 500 metros a las vías; con *aptitud media* (A2), las vías tipo 1-5 con *buffer* de 1000 metros a las vías; y con *aptitud baja* (A3), el resto.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

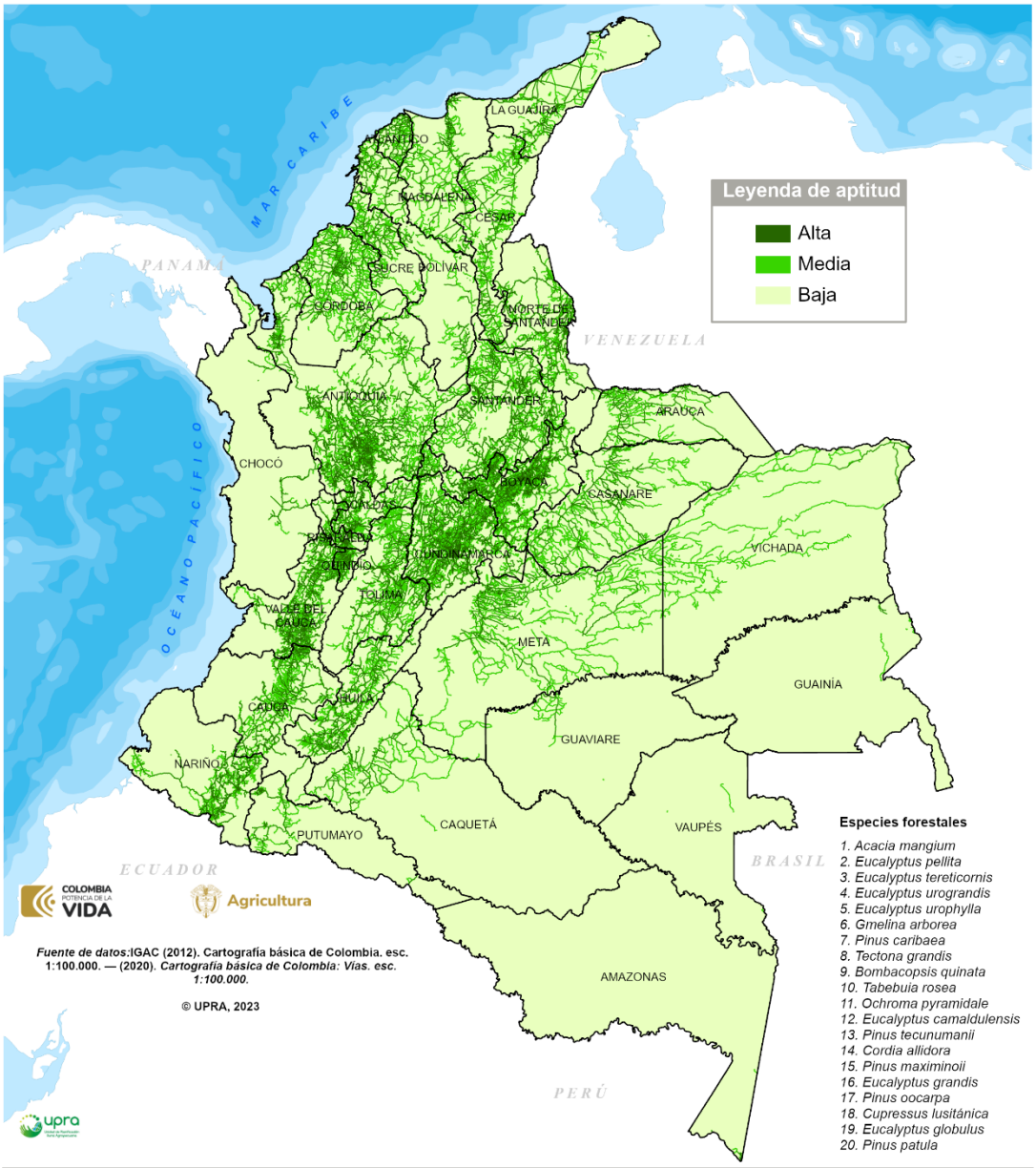
Los rangos para la espacialización de la variable se clasificaron de acuerdo con las categorías de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3), como se observa en la siguiente tabla:

Vías	Aptitud
Vías tipo 1-4 con *buffer* de 500 m a las vías	Alta (A1)
Vías tipo 1-5 con *buffer* de 1000 m a las vías	Media (A2)
Resto	Baja (A3)

Unidad de análisis

Vías.

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable cercanía a las vías

Fuentes de información

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020). *Cartografía básica, vías escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

3.1.6. Variable *costos de movilización*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: económico		
Criterio asociado: *infraestructura y logística*		
Variable: *costos de movilización*	Unidad de medida: pesos	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Valor a pagar por el desplazamiento de una carga en un medio de transporte terrestre de un lugar a otro. El tipo de transporte que se tuvo en cuenta para la presente zonificación fue una tractomula de 40 toneladas, ideal para transportar mercancía pesada.

Importancia de la variable

El cálculo del costo de la movilización de madera permite estimar el valor incurrido en el traslado del producto y respectivo posible impacto en el precio.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

El análisis de la variable no presentó límites que se calificaran como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

Dificultad para obteber información actualizada.

Metodología de procesamiento de la información

Precisiones de la información

Se calcularon los costos por ruta a partir de las guías de movilización del ICA, donde se tiene el punto de origen y el punto de destino. Se identificaron los predios georreferenciados con plantaciones y su colindante excluyendo los que cumplieran con las siguientes características: predios cuyo tipo de propietario sea *propiedad colectiva*; predios cuyo tipo de propietario sea *sin información* y que estén excluidos de la cancha de MT; predios cuyo tipo de propietario sea *Estado* y que estén excluidos de la cancha de MT; predios cuyo tipo de propietario sea *Estado*; predios cuyo tipo de propietario y categoría de propietario sea *null*; predios sin información y que estén excluidos de la cancha de MT; predios colindantes que estén en un municipio diferente al del predio con plantación clasificado con aptitud alta (A1); predios marcados como *baldíos*; predios que estén fuera de frontera agrícola.

Análisis de la consistencia y preparación de la información

La base de datos de las guías de movilización ICA 2021 se organizó según el punto de origen y el de destino. Se trazaron las vías según la cercanía de los predios colindantes a las vías con costos de movilización menores a $1.500.000 por viaje, valor más competitivo para la producción forestal. Este proceso se realizó para las siguientes veinte especies en estudio:

N.°	Nombre común	Especies
1	Acacia	*Acacia mangium*
2	Eucalipto	*Eucalyptus pellita*
3	Eucalipto	*Eucalyptus tereticornis*
4	Eucalipto	*Eucalyptus urograndis*
5	Eucalipto	*Eucalyptus urophylla*
6	Melina	*Gmelina arborea*
7	Pino	*Pinus caribaea*
8	Teca	*Tectona grandis*
9	Ceiba roja	*Bombacopsis quinata*
10	Roble	*Tabebuia rosea*
11	Balso	*Ochroma pyramidale*
12	Eucalipto	*Eucalyptus camaldulensis*
13	Pino	*Pinus tecunumanii*
14	Nogal	*Cordia alliodora*
15	Pino	*Pinus maximinoi*
16	Eucalipto	*Eucalyptus grandis*
17	Pino	*Pinus oocarpa*
18	Ciprés	*Cupressus lusitanica*
19	Eucalipto	*Eucalyptus globulus*
20	Pino	*Pinus patula*

Clasificación por aptitud

Los puntos de corte para establecer los rangos de aptitud se definieron según los costos de movilización de madera por viaje, así: con *aptitud alta* (A1), los costos de movilización menores a $1.500.000; con *aptitud media* (A2), los costos de movilización que oscilan entre $1.500.000 y $2.500.000; y con *aptitud baja* (A3), los costos de movilización mayores a $2.500.000.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

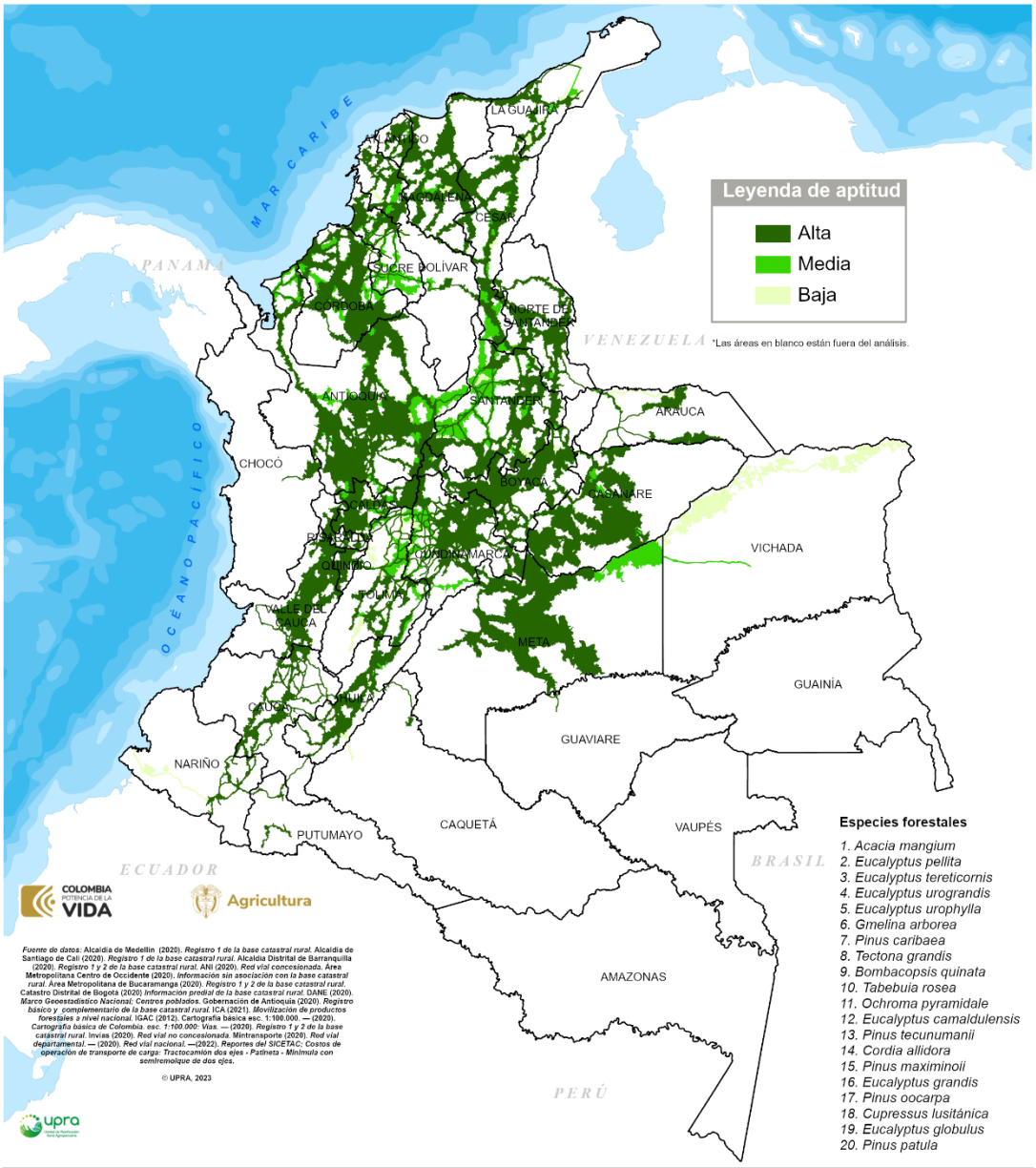
Los rangos para la espacialización de las variables se clasificaron de acuerdo con las categorías de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3), como se muestra en la siguiente tabla:

Pesos ($)	Aptitud
<1.500.000	Alta (A1)
1.500.000-2.500.000	Media (A2)
>2.500.000	Baja (A3)

Unidad de análisis

Pesos colombianos.

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable costos de movilización

Fuentes de información

Agencia Nacional de Infraestructura (2020). *Red vial concesionaria*. Agencia Nacional de Infraestructura (ANI).

Alcaldía de Barranquilla (2020). *Base catastral, registros 1 y 2*. Alcaldía de Barranquilla.

Alcaldía de Medellín (2020). *Base de datos catastral*. Alcaldía de Medellín.

Alcaldía de Santiago de Cali (2020). *Información predial rural*. Alcaldía de Santiago de Cali.

Área Metropolitana Centro de Occidente (2020). *Información sin asociación con la base catastral rural*. Alcaldía de Pereira.

Área Metropolitana de Bucaramanga (2020). *Registro 1 y 2 base catastral rural*. Alcaldía de Bucaramanga.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020). *Marco geoestadístico nacional: centros poblados*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Gobernación de Antioquia (2020). *Registros básicos y complementarios de la información rural*. Gobernación de Antioquia.

Instituto Colombiano Agropecuario (2021). *Movilización de productos forestales a nivel nacional*. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020a). *Cartografía básica, vías escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020b). *Registros 1 y 2 de la base catastral rural*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Nacional de Vías (2020). *Red vial no concesionada*. Instituto Nacional de Vías (Invías).

Ministerio de Transporte (2020). *Red vial departamental y nacional*. Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Ministerio de Transporte (2022). *Reportes del SICE-TAC: costos de operación de transporte de carga*. Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Unidad Administrativa de Catastro Distrital (2020). *Información predial base catastral rural*. Unidad Administrativa de Catastro Distrital (UACD).

3.1.7. Variable *cercanía a los puertos fluviales*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: económico		
Criterio asociado: *infraestructura y logística*		
Variable: *cercanía a los puertos fluviales*	Unidad de medida: tiempo de desplazamiento (horas)	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Facilidad con la que se puede alcanzar un puerto fluvial desde otros puntos en el territorio. Sintetiza la viabilidad de desplazamiento del aparato productivo, dado que ofrece al productor una opción de transporte adicional a la terrestre que puede incidir positivamente en los costos de transporte de carga.

Importancia de la variable

Incide en la competitividad para desarrollar una plantación forestal frente a las alternativas de movilidad y acceso tanto para el aprovisionamiento de bienes y servicios como para la comercialización. Las zonas que estén más cerca de puertos fluviales son más competitivas, dado que ofrecen al productor una opción de transporte adicional a la terrestre que puede incidir positivamente en los costos de transporte de carga.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

El análisis de la variable no presentó límites que se calificaran como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

No se identificaron limitantes para evaluar esta variable.

Metodología de procesamiento de la información

Precisión de la información

La metodología de isócronas empleada por la UPRA es una herramienta técnica a través de la cual se calculó el tiempo de desplazamiento sobre los ejes viales, como vías pavimentadas, carreteras con dos o más carriles, carreteras angostas, vías sin pavimentar, carreteras o senderos, cuyas pendientes fueron medidas por el método de elevación digital de 30 metros. Así mismo, se midió su influencia en la velocidad y los tramos navegables fluviales que existían para el año 2014. Los tipos de vías terrestres empleadas en el algoritmo de isócronas fueron los siguientes:

Tipo 1: pavimentada, carretera de dos o más carriles transitable todo el año.

Tipo 2: sin pavimentar, carretera de dos o más carriles transitable todo el año.

Tipo 3: pavimentada, carretera angosta transitable todo el año.

Tipo 4: sin pavimentar, carretera angosta transitable todo el año.

Tipo 5: sin pavimentar, transitable en tiempo seco.

Tipo 6: sin afirmado, transitable en tiempo seco.

Análisis de la consistencia y preparación de la información

La localización de los puertos fluviales son los puntos de referencia a partir de los cuales se estima el área de influencia para un tiempo de desplazamiento determinado. En este sentidom se consideraron los puertos que estaban concesionados y los que no.

Clasificación de los municipios por aptitud

Los puntos de corte para establecer los rangos de aptitud se definieron teniendo en cuenta los tiempos de desplazamiento desde los puertos fluviales, así: con *aptitud alta* (A1), los puertos fluviales que se encuentran a menos de una hora para acceder a los servicios portuarios; con *aptitud media* (A2), los puertos fluviales que se encuentran entre una y tres horas para acceder a los servicios portuarios; y con *aptitud baja* (A3), los puertos fluviales que se encuentran a más de tres horas para acceder a los servicios portuarios.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

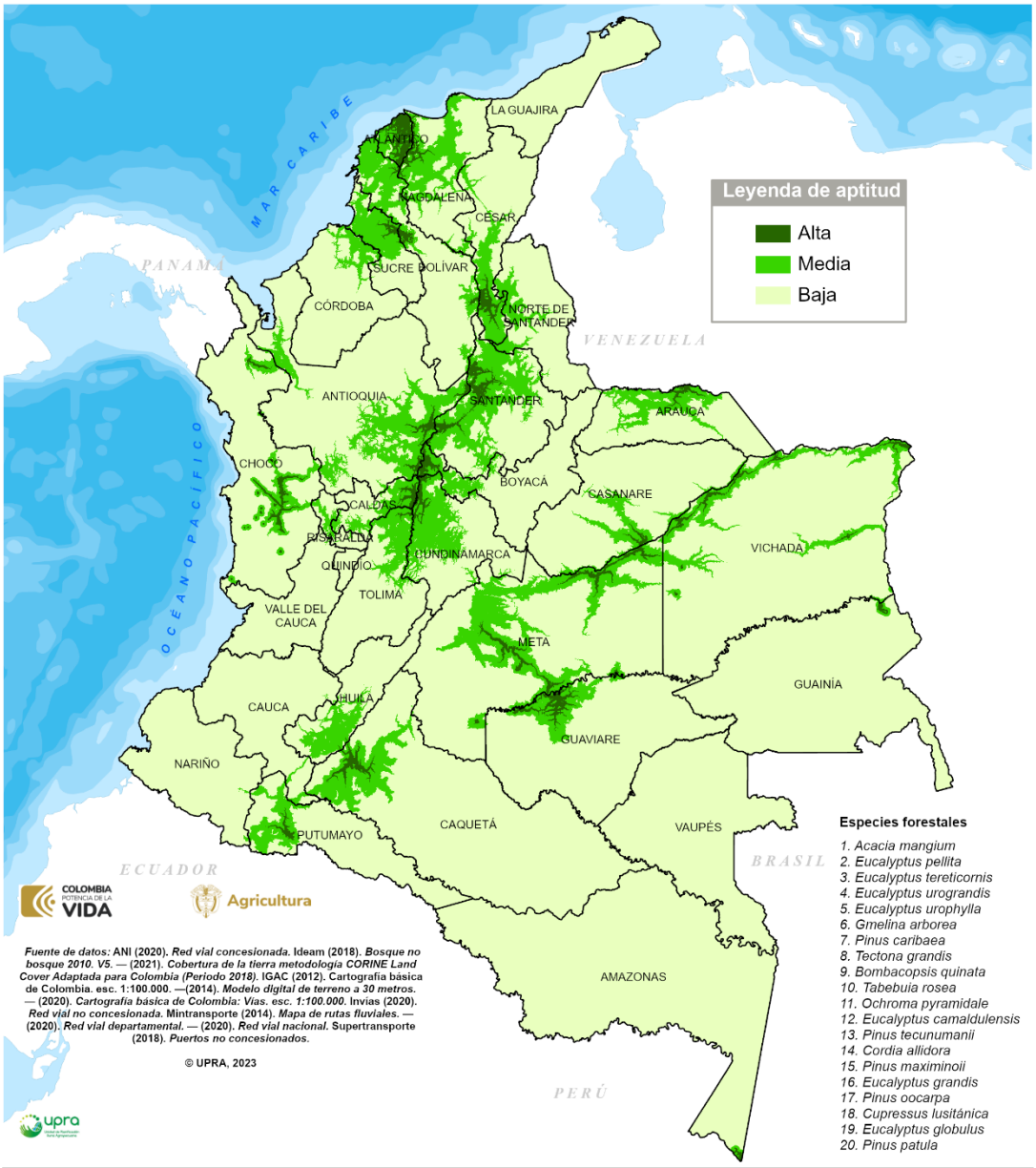
Los rangos para la espacialización de las variables se clasificaron de acuerdo con las categorías de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3), como se muestra a continuación:

Tiempo de desplazamiento (horas)	Aptitud
<1	Alta (A1)
1-3	Media (A2)
>3	Baja (A3)

Unidad de análisis

Tiempo de desplazamiento (horas).

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable cercanía a puertos fluviales

Fuentes de información

Agencia Nacional de Infraestructura (2020). *Red vial concesionaria*. Agencia Nacional de Infraestructura (ANI).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2018). *Bosque no bosque V5 2010*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2021). *Mapa nacional de cobertura de la tierra: metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia, período 2018*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Modelo digital de elevación de 30 metros*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020). *Cartografía básica, vías escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Nacional de Vías (2020). *Red vial no concesionada*. Instituto Nacional de Vías (Invías).

Ministerio de Transporte (2014). *Mapa de rutas fluviales*. Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Ministerio de Transporte (2020). *Red vial departamental y nacional*. Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Superintendencia de Transporte (2018). *Puertos no concesionados*. Superintendencia de Transporte.

3.1.8. Variable *cercanía a los centros de servicios*

Ficha metodológica de variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: económico		
Criterio asociado: *infraestructura y logística*		
Variable: *cercanía a los centros de servicios*	Unidad de medida: tiempo de desplazamiento (horas)	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Facilidad con la que se puede alcanzar áreas con oferta de bienes y servicios para abastecer las necesidades de la producción forestal. El centro de servicios contiene poblaciones con más de 30.000 habitantes y sintetiza sus oportunidades de contacto e interacción.

Importancia de la variable

Incide en la competitividad para la producción comercial forestal, pues facilita el acceso a insumos y servicios. La accesibilidad se refiere al tiempo de desplazamiento de la oferta y el estado de las redes de transporte vial y fluvial; y a la distancia entre un punto y el centro de servicios, cuya referencia es la cabecera municipal. Las zonas más cercanas a los centros de servicios son más competitivas que las más distantes, con vías en mal estado o sin vías de acceso.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

El análisis de la variable no presentó límites que se calificaran como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

Se seleccionaron los centros de servicios con base en las proyecciones del DANE para el año 2021 estimadas a partir del censo de población y vivienda del año 2018. Existen centros de servicios que, aunque importantes, podrán omitirse por no contar con más de 30.000 habitantes.

Metodología de procesamiento de la información

Precisiones de la información

La metodología de isócronas empleada por la UPRA es una herramienta técnica a través de la cual se calculó el tiempo de desplazamiento sobre los ejes viales, como vías pavimentadas, carreteras con dos o más carriles, carreteras angostas, vías sin pavimentar, carreteras o senderos, cuyas pendientes fueron medidas por el método de elevación digital de 30 metros. Así mismo, se midió su influencia en la velocidad y los tramos navegables fluviales que existían para el año 2014. Los tipos de vías terrestres empleadas en el algoritmo de isócronas fueron los siguientes:

Tipo 1: pavimentada, carretera de dos o más carriles transitable todo el año.

Tipo 2: sin pavimentar, carretera de dos o más carriles transitable todo el año.

Tipo 3: pavimentada, carretera angosta transitable todo el año.

Tipo 4: sin pavimentar, carretera angosta transitable todo el año.

Tipo 5: sin pavimentar, transitable en tiempo seco.

Tipo 6: sin afirmado, transitable en tiempo seco.

Análisis de la consistencia y preparación de la información

Para el cálculo de las isócronas, se tuvo como punto de referencia la cabecera municipal, cuyos centros de servicios se definen como los municipios que cuentan con una población mayor a 30.000 habitantes para el año 2021 y los municipios con plantaciones forestales (ver tabla siguiente).

N.°	Nombre común	Especies
1	Acacia	*Acacia mangium*
2	Eucalipto	*Eucalyptus pellita*
3	Eucalipto	*Eucalyptus tereticornis*
4	Eucalipto	*Eucalyptus urograndis*
5	Eucalipto	*Eucalyptus urophylla*
6	Melina	*Gmelina arborea*
7	Pino	*Pinus caribaea*
8	Teca	*Tectona grandis*
9	Ceiba roja	*Bombacopsis quinata*
10	Roble	*Tabebuia rosea*
11	Balso	*Ochroma pyramidale*
12	Eucalipto	*Eucalyptus camaldulensis*
13	Pino	*Pinus tecunumanii*
14	Nogal	*Cordia alliodora*
15	Pino	*Pinus maximinoi*
16	Eucalipto	*Eucalyptus grandis*
17	Pino	*Pinus oocarpa*
18	Ciprés	*Cupressus lusitanica*
19	Eucalipto	*Eucalyptus globulus*
20	Pino	*Pinus patula*

Clasificación por aptitud

Los puntos de corte para establecer los rangos de aptitud se definieron teniendo en cuenta los tiempos de desplazamiento desde la cabecera municipal de los centros de servicios, así: con *aptitud alta* (A1), los centros de servicios que se encuentran a menos de media hora para acceder a los servicios; con *aptitud media* (A2), los centros de servicios cuya distancia es de entre media y dos horas para acceder a los servicios; y con *aptitud baja* (A3), los centros de servicios que se encuentran a más de dos horas para acceder a los servicios.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

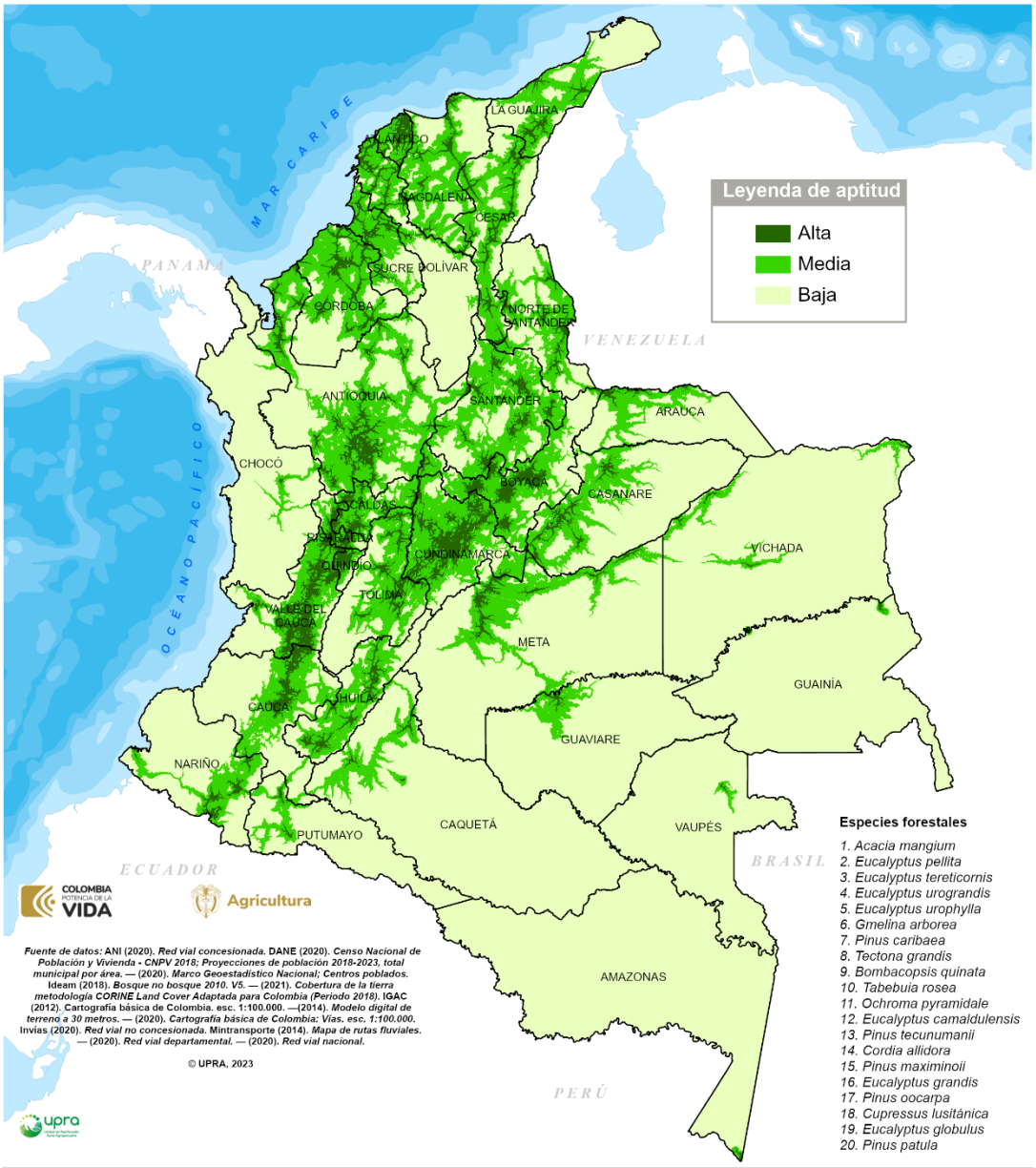
Los rangos para la espacialización de la variable se clasificaron de acuerdo con las categorías de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3), como se registra en al siguiente tabla:

Tiempo de desplazamiento (horas)	Aptitud
<½	Alta (A1)
½-2	Media (A2)
>2	Baja (A3)

Unidad de análisis

Tiempo de desplazamiento (horas).

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable cercanía a centros de servicios

Fuentes de información

Agencia Nacional de Infraestructura (2020). *Red vial concesionaria*. Agencia Nacional de Infraestructura (ANI).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020a). *Censo nacional de población y vivienda 2018: proyección de población 2018-2023*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020b). *Marco geoestadístico nacional: centros poblados*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2018). *Bosque no bosque V5 2010*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2021). *Mapa nacional de cobertura de la tierra: metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia, período 2018*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Modelo digital de elevación de 30 metros*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020). *Cartografía básica, vías escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Nacional de Vías (2020). *Red vial no concesionada*. Instituto Nacional de Vías (Invías).

Ministerio de Transporte (2014). *Mapa de tramos fluviales navegables*. Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Ministerio de Transporte (2020). *Red vial departamental y nacional*. Ministerio de Transporte (Mintransporte).

3.1.9. Variable *cercanía a los puertos marítimos*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: económico		
Criterio asociado: *infraestructura y logística*		
Variable: *cercanía a los puertos marítimos*	Unidad de medida: tiempo de desplazamiento (horas)	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Facilidad con la que se puede acceder a un puerto marítimo desde otros puntos en el territorio. Evidencia las facilidades de desplazamiento del aparato productivo hasta los puertos marítimos para realizar operaciones de comercio internacional.

Importancia de la variable

Incide en la percepción de los agentes económicos frente a la potencialidad de realizar operaciones de comercio internacional que beneficien la competitividad de la cadena. En este sentido, los puntos del territorio nacional más cercanos a los puertos marítimos tendrán mayor aptitud competitiva para interactuar en los procesos de integración con socios comerciales, tanto actuales y como potenciales en cuanto a la exportación del producto.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

En el análisis de la variable, no se presentaron límites que calificaran como no aptos (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

El algoritmo utilizado para la estimación de los tiempos de desplazamiento desde los puertos marítimos no incluyó los costos de transporte a través de la red vial.

Metodología de procesamiento de la información

Precisiones de la información

La metodología de isócronas empleada por la UPRA es una herramienta técnica a través de la cual se calculó el tiempo de desplazamiento sobre los ejes viales, como vías pavimentadas, carreteras con dos o más carriles, carreteras angostas, vías sin pavimentar, carreteras o senderos, cuyas pendientes fueron medidas por el método de elevación digital de 30 metros. Así mismo, se midió su influencia en la velocidad y los tramos navegables fluviales que existían para el año 2014. Los tipos de vías terrestres empleadas en el algoritmo de isócronas fueron los siguientes:

Tipo 1: pavimentada, carretera de dos o más carriles transitable todo el año.

Tipo 2: sin pavimentar, carretera de dos o más carriles transitable todo el año.

Tipo 3: pavimentada, carretera angosta transitable todo el año.

Tipo 4: sin pavimentar, carretera angosta transitable todo el año.

Tipo 5: sin pavimentar, transitable en tiempo seco.

Tipo 6: sin afirmado, transitable en tiempo seco.

Análisis de la consistencia y preparación de la información

La localización de los puertos marítimos son los puntos de referencia a partir de los cuales se estimó el área de influencia para un tiempo de desplazamiento determinado. Se tuvieron en cuenta los puertos marítimos donde se concentran los flujos de comercio internacional.

Clasificación de los municipios por aptitud

Los puntos de corte para establecer los rangos de aptitud se definieron teniendo en cuenta los tiempos de desplazamiento desde los puertos marítimos, así: con *aptitud alta* (A1), los puertos marítimos que se encuentran a menos de tres horas para acceder a los servicios portuarios de comercio internacional; con *aptitud media* (A2), los puertos marítimos cuya distancia toma entre tres y seis horas para acceder a los servicios portuarios de comercio internacional; y con *aptitud baja* (A3), los puertos marítimos que se encuentran a más de seis horas para acceder a los servicios portuarios de comercio internacional.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

Los rangos para la espacialización de las variables se clasificaron de acuerdo con las categorías de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3), como se muestra a continuación:

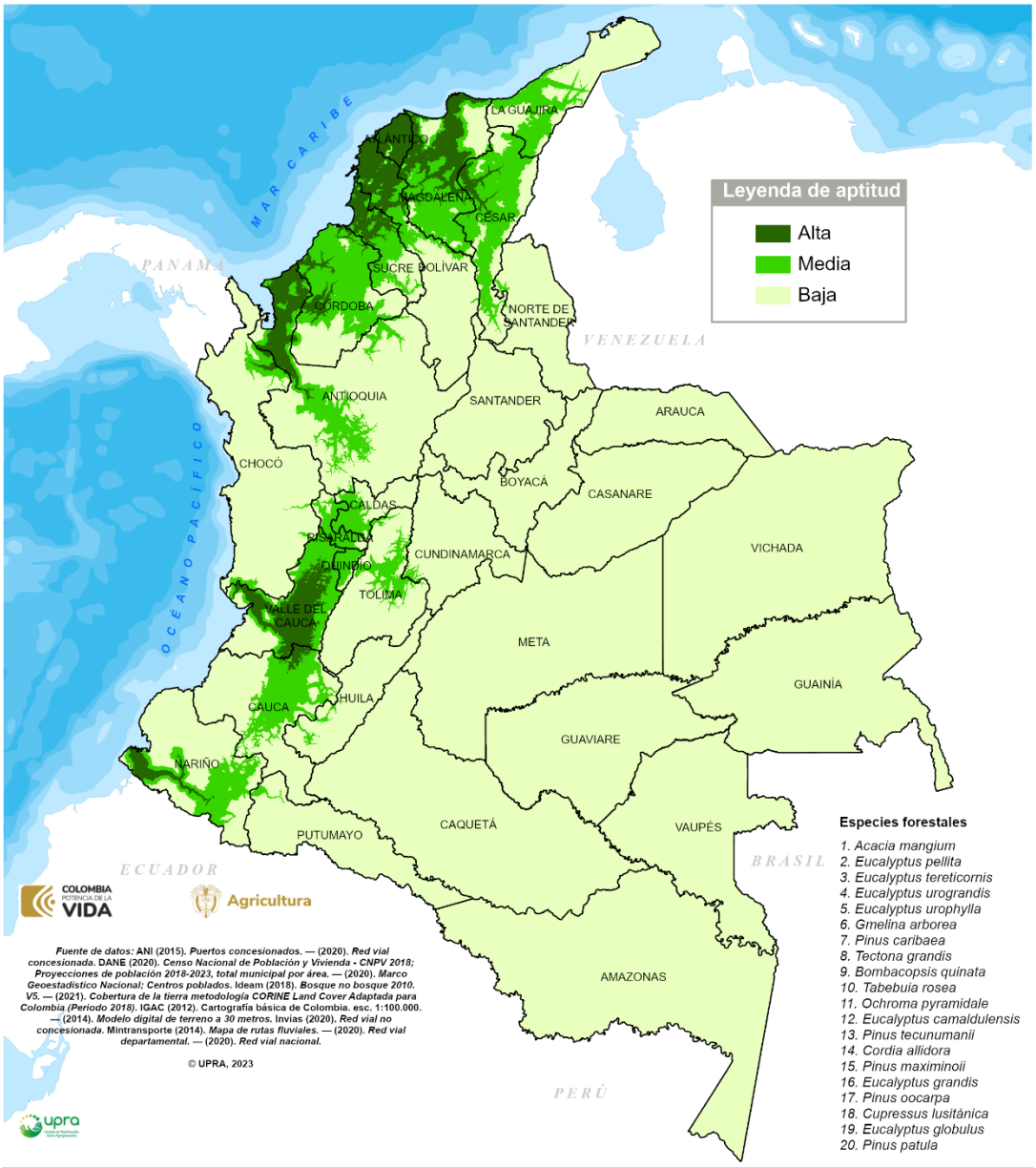
Tiempo de desplazamiento (horas)	Aptitud
<3	Alta (A1)
3-6	Media (A2)
>6	Baja (A3)

El Caribe mostró la mayor aptitud competitiva por su cercanía a los puertos marítimos en Bolívar, Atlántico, Magdalena y La Guajira. El puerto de Buenaventura y el de Tumaco reflejaron una gran incidencia para la región Andina. La Orinoquia y la Amazonia tienen el menor grado de aptitud competitiva por su lejanía a los puertos marítimos. Se consideraron los puertos de Buenaventura (Valle del Cauca), Barranquilla (Atlántico), Cartagena (Bolívar), Santa Marta (Magdalena) y Nariño (Tumaco); y los embarcaderos Nueva Colonia y Zungo en Carepa (Antioquia), porque allí se concentran la mayoría de las operaciones de comercio internacional.

Unidad de análisis

Tiempo de desplazamiento (horas).

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable cercanía a puertos marítimos

Fuentes de información

Agencia Nacional de Infraestructura (2020a). *Red vial concesionaria*. Agencia Nacional de Infraestructura (ANI).

Agencia Nacional de Infraestructura (2020b). *Puertos concesionados*. Agencia Nacional de Infraestructura (ANI).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020a). *Censo nacional de población y vivienda 2018: proyección de población 2018-2023*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020b). *Marco geoestadístico nacional: centros poblados*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2018). *Bosque no bosque V5 2010*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2021). *Mapa nacional de cobertura de la tierra: metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia, período 2018*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto Nacional de Vías (2020). *Red vial no concesionada*. Instituto Nacional de Vías (Invías).

Ministerio de Transporte (2020). *Red vial departamental y nacional*. Ministerio de Transporte (Mintransporte).

3.1.10. Variable *cobertura de internet móvil*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico		
Criterio asociado: *infraestructura y logística*		
Variable: *cobertura de internet móvil*	Unidad de medida: tecnología y número de antenas/km^2	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Cubrimiento del servicio de internet móvil en Colombia. La cobertura se obtuvo a partir de los datos del inventario de infraestructura de antenas de servicio móvil de la Agencia Nacional de Espectro (ANE) y el tipo de tecnología de los centros poblados emitido por el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.

Importancia de la variable

La creciente necesidad de comunicación en menor tiempo y entre puntos remotos ha posicionado la comunicación móvil como la principal estrategia de intercambio y tránsito de datos de forma inalámbrica. Esto les permite a las comunidades acceder inmediatamente a la información que pueda advertir alguna situación de emergencia en una zona determinada; comunicar y compartir datos gráficos y alfanuméricos; o realizar una planeación territorial gracias al acceso a datos de geolocalización, que optimizan y contribuyen a la mejora de procesos, productos y servicios.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

En el análisis de la variable, no se presentaron límites que calificaran como no aptos (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

La elección del ancho de banda de Kernel responde a criterios cartográficos, de lo cual se deduce que a mayor ancho de banda los resultados son más suavizados y generalizados; y a menor ancho de banda existe mayor detalle en el mapa.

Metodología de procesamiento de la información

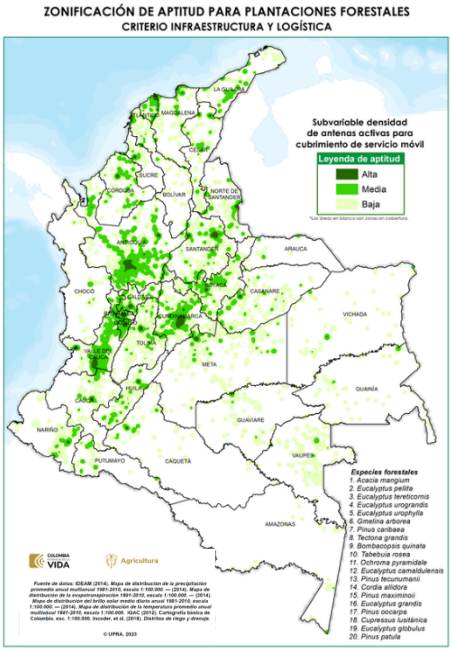
Precisiones de la información

Para el desarrollo de esta variable, se establecieron las siguientes subvariables:

Densidad de antenas activas para cubrimiento de servicio móvil. se construyó a partir del insumo *módulo de cubrimiento* (servicio móvil), para lo cual se partió de la información disponible mediante descarga del cubrimiento de antenas de servicio móvil disponible en el visor de espectro a cargo de la Agencia Nacional de Espectro. Se realizó la consulta del cubrimiento para todo el país y se obtuvo una base de datos espacializable con 39.508 registros 14 atributos, como ID, estación, tipo, banda, frecuencia, potencia, altura, departamento, municipio, coordenada, entre otros.

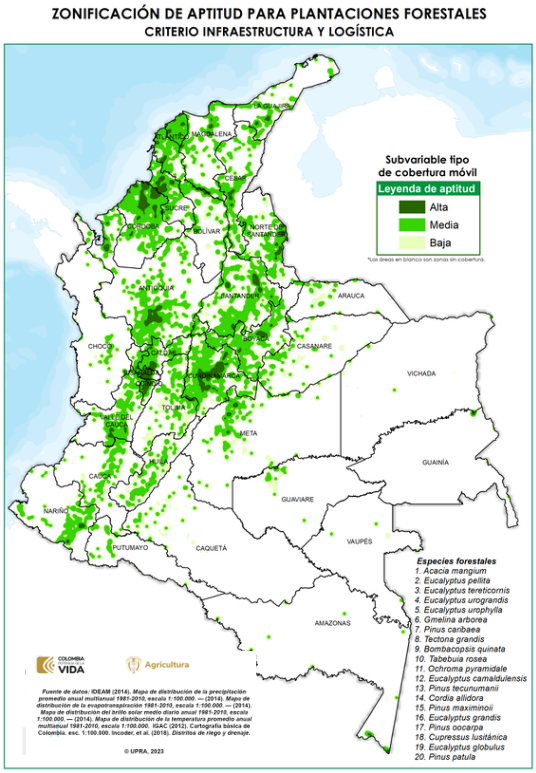
El objetivo de esta subvariable consistió en obtener la distribución de densidad de antenas en el territorio nacional, para lo cual se depuró la información para identificar los lugares que reportan más de una antena. Luego, se hizo un conteo numérico de las antenas presentes en un mismo sitio para conformar una base de datos y obtener el parámetro de población y un análisis de densidad apropiado. Con este análisis y la distribución, se analizó la densidad de Kernel o mapa de calor para estimar la distribución de las antenas en el territorio colombiano. Para el análisis de densidad de Kernel, se utilizaron los parámetros *población hallada* y *ancho de banda de Kernel de 10 km*^{2}. Los valores de densidad de antenas se estimaron mediante una clasificación por intervalos geométricos, como se observa en la siguiente tabla:

Densidad de antenas de servicio móvil	Rango	Calificación
Alto	HSPA y LTE > 2 antenas	A1
Medio	Tecnología 3G < 2 antenas	A2
Bajo	Sin cobertura	A3



Tipo de cobertura móvil. Se construyó a partir del *Informe trimestral de las TIC (Tabla 16)*. Para construir esta variable, se partió de la información disponible mediante descarga de la tabla 16 del Informe trimestral de las TIC, el cual contiene la información de cobertura del servicio móvil desagregada por municipio/centro y por tipo de tecnología o generación móvil (2G, 3G, HSPA y LTE). Con esta información, se realizó el enlace de información con la capa de centros poblados DANE (2021), se halló el centroide de cada centro poblado para analizar la densidad apropiada y se eligió la densidad de Kernel o mapa de calor para estimar la distribución del cubrimiento nacional por tipo de tecnología. Para el análisis de la densidad de Kernel, se utilizaron los siguientes parámetros *población según la tecnología* (A1 = 100; A2 = 50; A3 = 10) y *ancho de banda de Kernel de 10 km*^{2}. Los valores de densidad hallados se calificaron con una clasificación por intervalos geométricos de tres niveles, como se observa en la siguiente tabla:

Densidad de antenas de servicio móvil	Rango	Calificación
Alto	Tecnología HSPA y LTE	A1
Medio	Tecnología 3G	A2
Bajo	Tecnología 2G/Sin cobertura	A3



Análisis de la consistencia y preparación de la información

Para generar el mapa de la variable, se integraaron las dos subvariables mediante una matriz de ponderación aritmética con pesos 70/30, en ela cual la subvariable *tipo de cobertura móvil* reportó un peso del 70 %; mientras que la subvariable *densidad de antenas activas para cubrimiento de servicio móvil* reportó un peso del 30 %, como se puede consultar el la siguiente tabla:

	Densidad de antenas activas para cubrimiento de servicio móvil (30 %)			
Tipo de cobertura móvil (70 %)		A1	A2	A3
	A1	A1	A1	A2
	A2	A1	A2	A3
	A3	A2	A3	A3

Clasificación de los municipios por aptitud

Los puntos de corte para establecer los rangos de aptitud se definieron teniendo en cuenta la matriz de paso, así: con *aptitud alta* (A1), las zonas con tecnología HSPA y LTE con más de dos antenas por cada diez kilómetros cuadrados; con *aptitud media* (A2), las zonas con tecnología 3G con menos de dos antenas por cada diez kilómetros cuadrados; y con *aptitud baja* (A3), las zonas sin cobertura.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

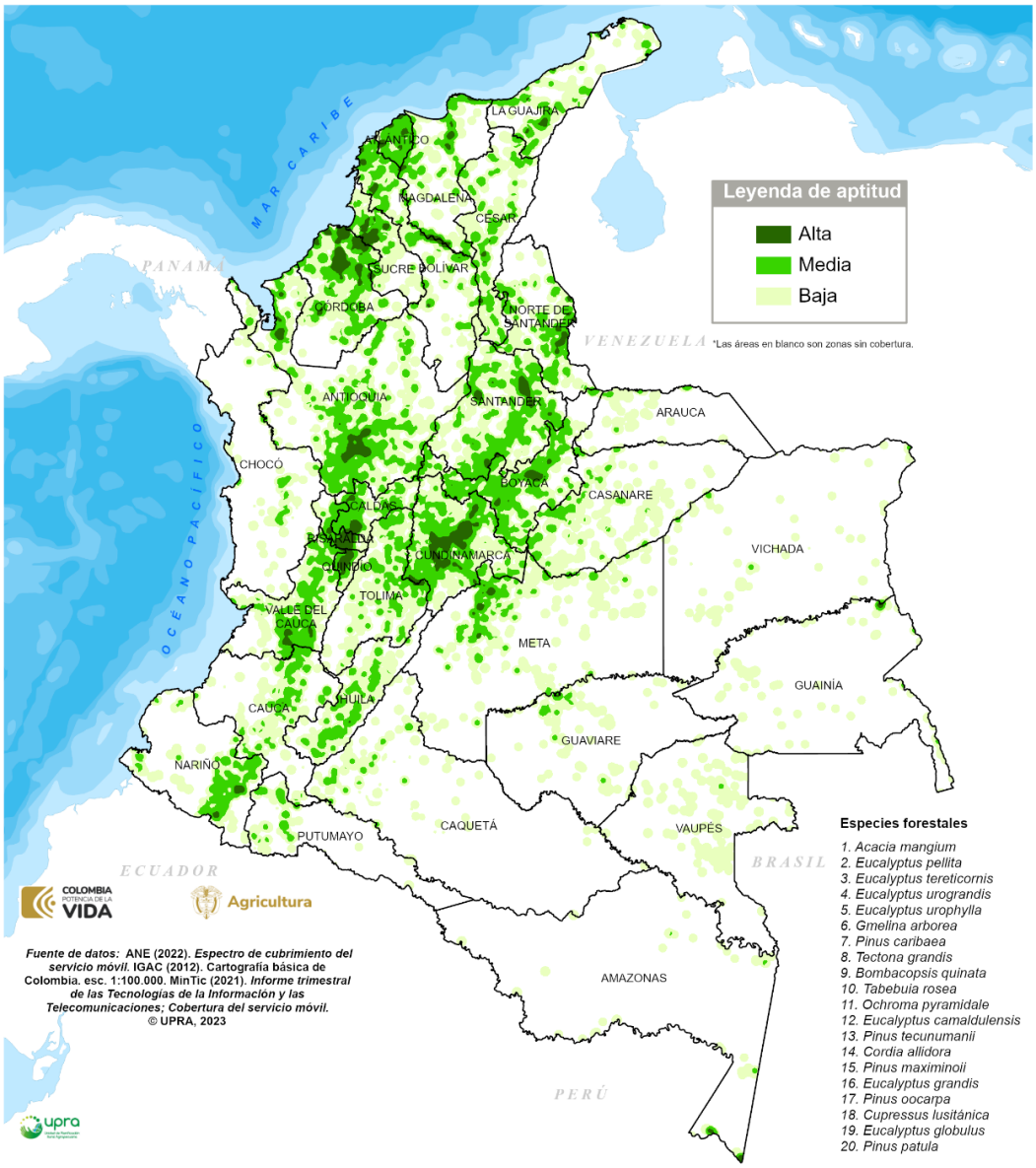
Los rangos para la espacialización de las variables se clasificaron de acuerdo con las categorías de aptitud: alta (A1); media (A2) y baja (A3).

Tecnología y número de antenas/10 km^2	**Aptitud**
Tecnología HSPA y LTE, > 2 antenas	Alta (A1)
Tecnología 3G, < 2 antenas	Media (A2)
Sin cobertura	Baja (A3)

Unidad de análisis

Número de antenas/10 km^2.

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable energía eléctrica rural

Fuentes de información

Agencia Nacional del Espectro (2022). *Espectro del cubrimiento del servicio móvil.* Agencia Nacional del Espectro (ANE).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000.* Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (2021). *Informe trimestral de las tecnologías de la información y las telecomunicaciones: cobertura del servicio móvil*. Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC).

3.1.11. Variable *energía eléctrica rural*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico		
Criterio asociado: *infraestructura y logística*		
Variable: *energía eléctrica rural*	Unidad de medida: municipal	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Condiciones en las que se presta el servicio público de energía eléctrica a nivel municipal. El servicio público de energía eléctrica consiste en la generación, comercialización, interconexión, transmisión y transporte desde redes regionales de transmisión hasta el domicilio del usuario final, incluida la conexión y la medición.

Importancia de la variable

En la agroindustria de la madera, el servicio eléctrico es fuente de alimentación de motores y maquinaria para la transformación y otras labores derivadas del proceso. El cubrimiento de este servicio orienta a los agentes económicos en sus decisiones de inversión sobre las áreas rurales con óptimas condiciones de acceso por cobertura, tipo sistema de transmisión y tarifa media.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

El rango de evaluación del indicador de la variable se expone en la siguiente tabla:

Categoría	Clasificación
>7	A1
5-7	A2
<5	A3

Limitantes de la evaluación de la variable

En el Sistema único de información de servicios públicos domiciliarios (SUI) está la información para las zonas interconectadas y mixtas, aunque no reporta información para las zonas no interconectadas (ZNI), la cual está a cargo del Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas (IPSE). Por ello, la información de las dos instituciones no cuenta con los mismos parámetros de presentación en los campos de información, lo que en ocasiones dificulta la unión y el procesamiento de la información de orden nacional.

Metodología de procesamiento de la información

Para el desarrollo de esta variable, se establecieron las siguientes subvariables:

Índice de cobertura de energía eléctrica resto (ICEE). Se consideró como subvariable pues presenta un panorama del estado de cobertura de energía eléctrica, considerando criterios técnicos básicos para las alternativas de prestación del servicio. Se tuvieron en cuenta los datos de ICEE resto, en el que *resto* son las zonas rurales que se encuentran ubicadas a una distancia significativa respecto de las zonas urbanas. De acuerdo con la metodología y los resultados de la estimación del ICEE publicada por la Unidad de Planeación Minero-Energética en el 2018 (UPME), el ICEE se estimó como la relación entre las viviendas con servicio *usuarios* y el total de viviendas, par lo que discrimina los usuarios ubicados en la cabecera municipal o urbanos del resto o zona rurales de cada sitio, municipio, o departamentom según la siguiente ecuación:

$$ICEE_{t,i} = \frac{usuarios_{t,i}}{viviendas_{t,i}} \; X \; 100 \; \%$$

$$t = \text{período de tiempo calculado}$$

$$i = \text{ubicación departamento, municipio, sitio}$$

En el marco de la metodología de cálculo de este índice, una *vivienda* se entiende como un inmueble con uso residencial y *usuario*, como las viviendas clasificadas en el sector residencial que tienen la infraestructura eléctrica disponible, independiente de su condición comercial, la cantidad de horas de servicio o el servicio prestado mediante el Sistema Interconectado Nacional (SIN) o mediante soluciones aisladas (UPME, 2019).

Análisis de la consistencia y preparación de la información

Siguiendo la metodología de evaluación de tierras, se evaluó la existencia de datos atípicos mediante el criterio de Tukey, que consiste en señalar como atípico el dato cuyo rango intercuartílico se encuentra 1,5 veces por encima del tercer cuartil o por debajo del primer cuartil. Es decir, un dato es atípico si se encuentra por fuera del siguiente intervalo:

$$[Q_1 - 1{,}5 * RI, Q_3 + 1{,}5 * RI]$$

donde Q_1 y Q_3 son el primer y tercer cuartil de la distribución de los datos, respectivamente, y RI, el rango intercuartílico que corresponde a la diferencia $Q_3 - Q_1$. Dado a que se encontró más del 5 % de datos atípicos, la decisión consistió en utilizar el método *k*-medias.

Clasificación de los municipios por aptitud

Se utilizó la metodología de agrupamientos de las variables socioeconómicas, que en este caso, indicó la necesidad de utilizar el método *k*-medias.

El algoritmo *k*-medias, como otros métodos de agrupamiento, parte de una función de aprendizaje no supervisado en el que no existen clases predefinidas y cuyos resultados están fuertemente determinados por el conjunto de datos disponibles y las medidas de similitud o distancia utilizadas para comparar datos. Con ello, se busca minimizar la distancia intraclústeres y maximizar la distancia interclústeres, partiendo de la distancia como medida de similitud. Si *d* (*i, j*) es mayor a *d* (*i, k*) significa que el objeto *i* es más parecido a *k* que a *j*. El método *k*-medias, desarrollado por MacQueen en el año 1967, se basa en un único parámetro (número de grupos), definido, en este caso, en 2. Por tratarse de un agrupamiento univariado, no estuvo sesgado por el orden de presentación inicial de los datos. Los pasos para la estimación del clúster *k*-medias fueron los siguientes:

a) Se ordenaron los datos de mayor a menor o de menor a mayor, según la incidencia del fenómeno socioeconómico en estudio y la supuesta relación con los niveles de aptitud para la cadena productiva.

b) El total de datos disponibles se dividió en dos grupos. Luego, se calculó el centroide —centro geométrico del clúster—, base para la construcción de la variable objetivo, que fue la distancia. El centroide que se propuso fue el promedio aritmético de cada agrupamiento.

c) Dado que el algoritmo *k*-medias busca minimizar la distancia interna —es decir, la suma de las distancias de los datos de su centroide—, se calculó para cada dato el cuadrado de las diferencias con los centroides de los clústeres inicialmente calculados (dos) y se sumaron los valores para todos los datos del clúster.

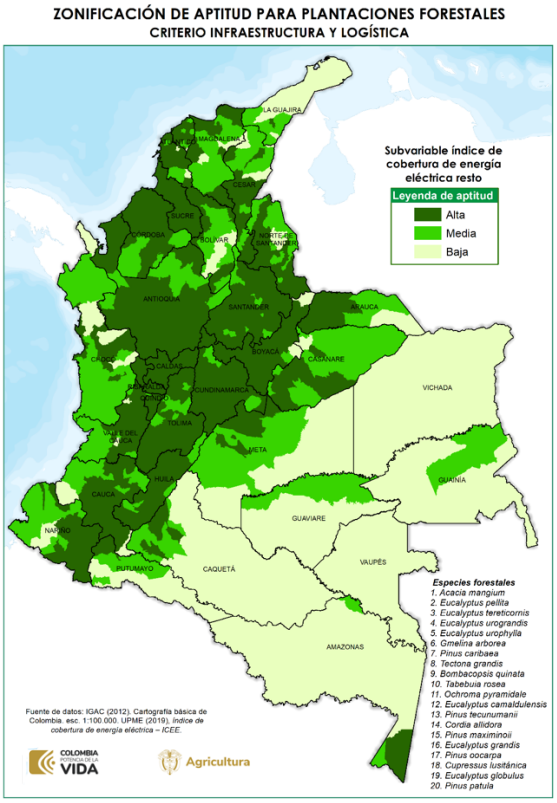
d) Se asignó cada elemento al clúster, cuyo dato fuera el mínimo de los dos posibles, y se recalcularon los centroides con los nuevos agrupamientos.

e) Iterativamente, se fueron actualizando los centroides en función de las asignaciones de puntos a clúster hasta que los centroides dejaron de cambiar.

Como parte del mismo proceso, el procedimiento *k*-medias considera una fase de validación, que consiste en evaluar la existencia de los clústeres que sólo están integrados por datos extremos (*outliers*); comparar dos conjuntos de clústeres alternativos evaluando la consistencia con los fenómenos socioeconómicos; y comparar los resultados de los agrupamientos con los derivados de otras técnicas de agrupamiento para determinar si los resultados están describiendo el fenómeno socioeconómico en estudio.

La validación se puede desarrollar por criterios tanto internos como externos que aporten información adicional, como los relacionados con la entropía y la pureza; o por criterios internos generados a partir de los propios datos, como la suma de los cuadrados de las distancias al interior y entre cada clúster (cohesión y separación).

Así pues, al realizar el procedimiento para la subvariable *índice de cobertura de energía eléctrica resto (ICEE)*, resultaron tres grupos, a los que se les asignó la calificación de aptitud y cuyos rangos quedaron definidos de la siguiente manera: *aptitud alta* (A1), para los municipios con más de 81,65 % de cobertura; *aptitud media* (A2), para los municipios cuya cobertura osciló entre 46,32 % y 81,65 %; y *aptitud baja* (A3), para los municipios con menos de 46,32 % de cobertura. A continuación, se presenta el resultado de la subvariable analizada.

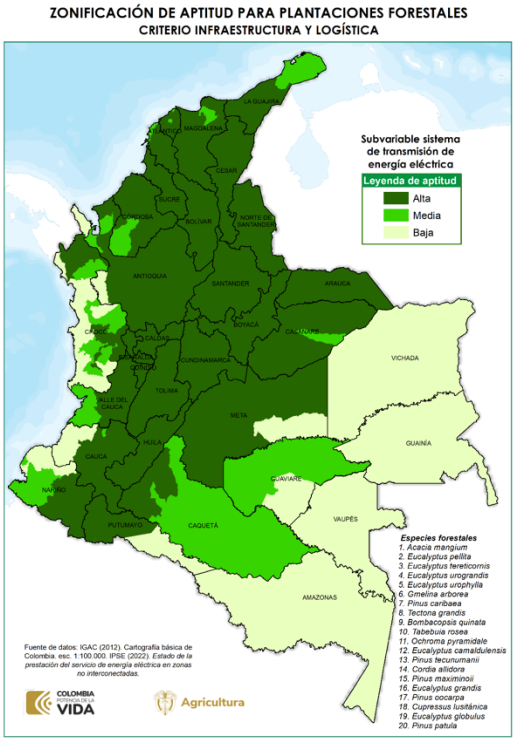


Sistema de trasmisión de energía eléctrica. El sistema de trasmisión de la energía eléctrica en Colombia se produce mediante dos tipos: el primero —y más estable— se denomina *sistema interconectado nacional* (SIN). Según la Ley 143 de 1994, se define como el «Sistema compuesto por los siguientes elementos conectados entre sí: las plantas y equipos de generación, la red de interconexión, las redes regionales e interregionales de transmisión, las redes de distribución y las cargas eléctricas de los usuarios». El SIN está conformado por todas las líneas de transmisión de energía y subestaciones que hay en el país, a través de los cuales se transporta la energía desde las centrales de generación hasta los pueblos y ciudades en donde es consumida. Al estar integrada toda la cadena productiva de la energía, el sistema garantiza que todas las regiones del país reciban el servicio de energía las 24 horas del día y todo el año (CELSIA, 2019).

El segundo se denomina *zonas no interconectadas*, áreas del país que no poseen conexión al SIN. Se caracterizan por presentar baja densidad poblacional, ubicación lejana de los centros urbanos y dificultad en el acceso. La integración de estas zonas al SIN presenta altos costos, por lo que se hace necesaria la prestación del servicio con la cogeneración por medio de plantas de energía a diésel, las cuales presentan elevados costos de combustible, operación y mantenimiento debido a las dificultades de transporte de combustible por su ubicación en zonas remotas, lo que se traduce en altos costos del servicio de energía por kilovatio hora (RAPE, 2020).

Para construir la variable, se realizó un listado unificado con la información del Sistema único de información de servicios públicos domiciliarios (SUI), que reporta los municipios que pertenecen al sistema interconectado nacional (SIN) y la información de los municipios reportados por el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas (IPSE). Al presentarse el caso de reporte de municipios en los dos sistemas de información (mixtos), se corroboró que esos municipios presentaron zonas con servicio eléctrico pertenecientes al SIN y a como zonas con servicio eléctrico vinculadas a las ZNI.

Al realizar el procedimiento anteriormente descrito para la subvariable *sistema de trasmisión de energía eléctrica*, se calificaron los municipios de la siguiente manera: con *aptitud alta* (A1), los municipios con la totalidad de su área perteneciente al SIN; con *aptitud media* (A2), los municipios mixtos con áreas pertenecientes al SIN y a las ZNI; y con *aptitud baja* (A3), los municipios con la totalidad de su área perteneciente a las ZNI. A continuación, se presenta el resultado de la subvariable *sistema de trasmisión de energía eléctrica*.



Tarifa media rural no residencial de energía eléctrica. Las tarifas en el contexto de servicios públicos domiciliarios se entienden como la valoración fijada a los productos de servicios públicos, cuyo cálculo es generado por una entidad regulatoria, como la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA), o la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). En este sentido, la tarifa media rural residencial se refiere a la tarifa promedio que es cobrada a los usuarios del servicio de energía eléctrica en el ámbito rural y que pertenecen al sector residencial (EPM 2021).

Análisis de la consistencia y preparación de la información

Siguiendo la metodología de la evaluación de tierras, se evaluó la existencia de datos atípicos mediante el criterio de Tukey, que consiste en señalar como atípico el dato cuyo rango intercuartílico se encuentra 1,5 veces el por encima del tercer cuartil o por debajo del primer cuartil. Es decir, un dato es atípico si se encuentra por fuera del siguiente intervalo:

$$[Q_1 - 1{,}5 * RI, Q_3 + 1{,}5 * RI]$$

donde Q_1 y Q_3 son el primer y tercer cuartil de la distribución de los datos, respectivamente, y RI, el rango intercuartílico que corresponde a la diferencia $Q_3 - Q_1$. Dado a que se encontraron más del 5 % de datos atípicos, la decisión consistió en utilizar el método de *k*-medias.

Clasificación de los municipios por aptitud

Se utilizó la metodología de agrupamientos de las variables socioeconómicas, que en este caso, indicó la necesidad de utilizar el método *k*-medias.

El algoritmo *k*-medias, como otros métodos de agrupamiento, parte de una función de aprendizaje no supervisado en el que no existen clases predefinidas y cuyos resultados están fuertemente determinados por el conjunto de datos disponibles y las medidas de similitud o distancia utilizadas para comparar datos. Con ello, se busca minimizar la distancia intraclústeres y maximizar la distancia interclústeres, partiendo de la distancia como medida de similitud. Si *d* (*i, j*) es mayor a *d* (*i, k*) significa que el objeto *i* es más parecido a *k* que a *j*. El método *k*-medias, desarrollado por MacQueen en el año 1967, se basa en un único parámetro (número de grupos), definido, en este caso, en 2. Por tratarse de un agrupamiento univariado, no estuvo sesgado por el orden de presentación inicial de los datos. Los pasos para la estimación del clúster *k*-medias fueron los siguientes:

a) Se ordenaron los datos de mayor a menor o de menor a mayor, según la incidencia del fenómeno socioeconómico en estudio y la supuesta relación con los niveles de aptitud para la cadena productiva.

b) El total de datos disponibles se dividió en dos grupos. Luego, se calculó el centroide —centro geométrico del clúster—, base para la construcción de la variable objetivo, que fue la distancia. El centroide que se propuso fue el promedio aritmético de cada agrupamiento.

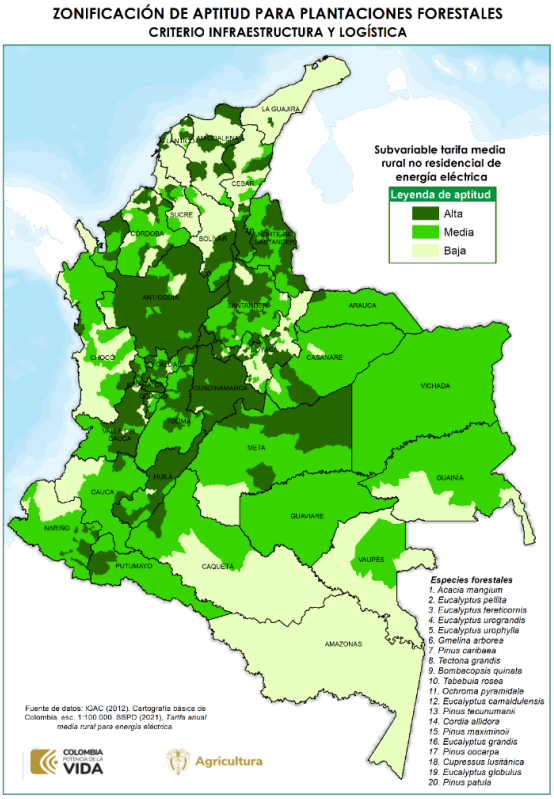
c) Dado que el algoritmo *k*-medias busca minimizar la distancia interna —es decir, la suma de las distancias de los datos de su centroide—, se calculó para cada dato el cuadrado de las diferencias con los centroides de los clústeres inicialmente calculados (dos) y se sumaron los valores para todos los datos del clúster.

d) Se asignó cada elemento al clúster, cuyo dato fuera el mínimo de los dos posibles, y se recalcularon los centroides con los nuevos agrupamientos.

e) Iterativamente, se fueron actualizando los centroides en función de las asignaciones de puntos a clúster hasta que los centroides dejaron de cambiar.

Como parte del mismo proceso, el procedimiento *k*-medias considera una fase de validación, que consiste en evaluar la existencia de los clústeres que sólo están integrados por datos extremos (*outliers*); comparar dos conjuntos de clústeres alternativos evaluando la consistencia con los fenómenos socioeconómicos; y comparar los resultados de los agrupamientos con los derivados de otras técnicas de agrupamiento para determinar si los resultados están describiendo el fenómeno socioeconómico en estudio.

La validación se puede desarrollar por criterios tanto internos como externos que aporten información adicional, como los relacionados con la entropía y la pureza; o por criterios internos generados a partir de los propios datos, como la suma de los cuadrados de las distancias al interior y entre cada clúster (cohesión y separación). Así pues, al realizar el procedimiento para la subvariable *índice de cobertura de energía eléctrica resto (ICEE)*, resultaron tres grupos, a los que se les asignó la calificación de aptitud y cuyos rangos quedaron definidos de la siguiente manera: con *aptitud alta* (A1), los municipios con tarifa media rural inferior a $ 467,1 por kilovatio; con *aptitud media* (A2), los municipios con tarifa media rural que osciló entre $ 467,1 y $ 768,2 por kilovatio; y con *aptitud baja* (A3), los municipios con tarifa media rural superior a $768,2 por kilovatio. A continuación, se presenta el resultado de la subvariable *tarifa media rural no residencial*.



Para generar el mapa de la variable e integrar los resultados de las subvariables, se integraron las tres subvariables mediante árbol de decisión con ponderación aritmética igualitaria de las subvariables y dos cortes por sumatoria, en la cual se evaluó la favorabilidad en el acceso al servicio público de energía eléctrica rural. Los valores categóricos de cada subvariable se conviertieron en valores computables de la siguiente forma: A1 equivale a un valor de 1; A2 equivale a un valor de 2; y A3 equivale a un valor de 3. De esta forma, se ponderaron y agregaron los resultados de cada subvariable para cada municipio, cuya sumatoria se contrastó para asignar los niveles de aptitud de la variable *energía eléctrica rural*. Los rangos para la espacialización de las variables se clasificaron de acuerdo con las categorías de aptitud competitiva alta (A1), media (A2) y baja (A3), como se muestra a continuación:

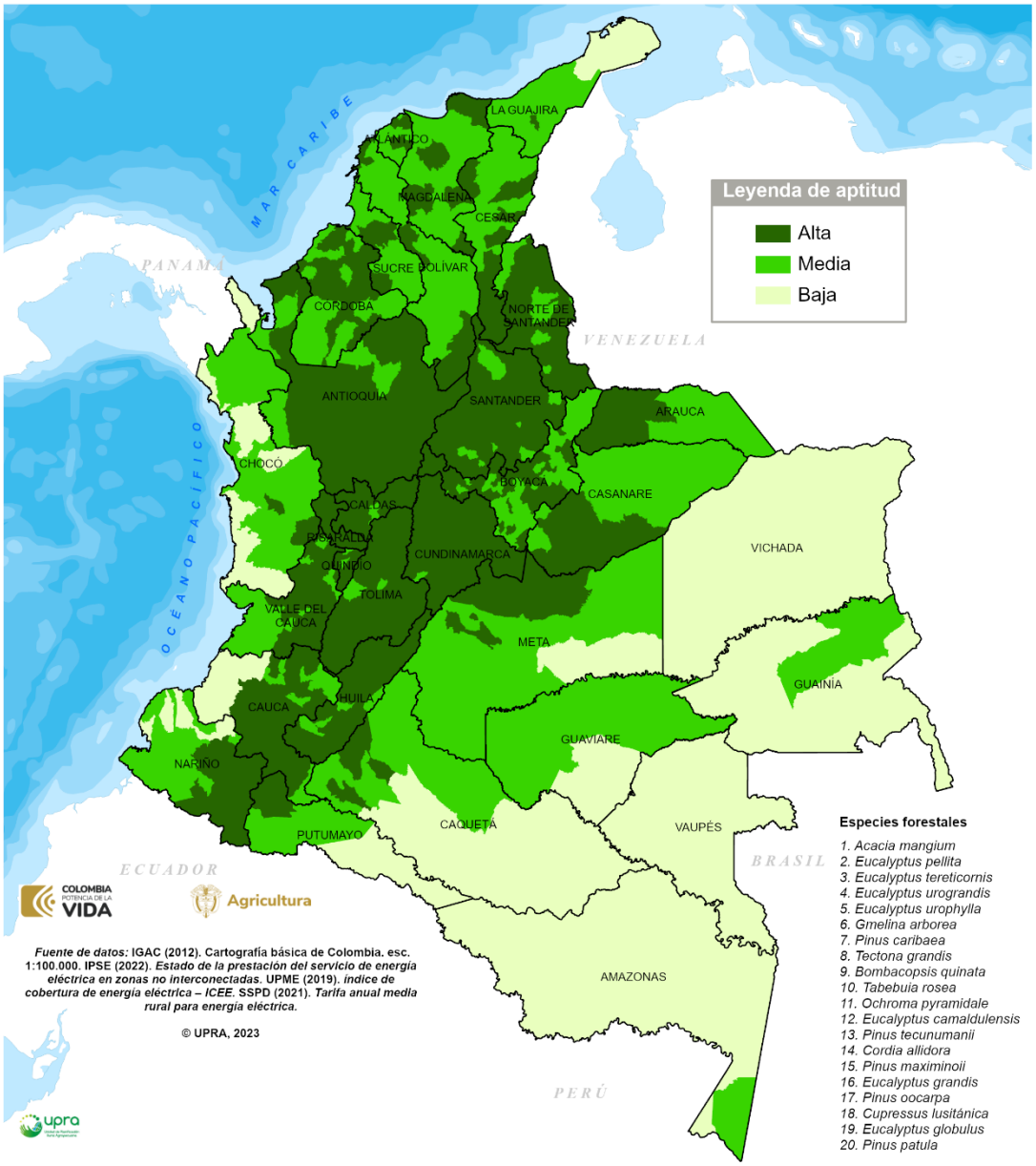
Calificación del índice de prestación del servicio de energía eléctrica rural

Favorabilidad en el acceso	Aptitud
Municipios >7	Alta (A1)
Municipios 5-7	Media (A2)
Municipios <5	Baja (A3)

Unidad de análisis

Favorabilidad en el acceso.

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable energía eléctrica rural

Fuentes de información

Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas (2020). *Estado de la prestación del servicio de energía en Zonas No interconectadas*. Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas (IPSE).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (2022). *Sistema Único de Información (SUI), 2022*: *reportes comerciales del servicio de energía por municipio y departamento*. Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD).

Unidad de Planificación Minero-Energética (2018). *Índice de cobertura de energía eléctrica ICEE, resto*. Unidad de Planificación Minero-Energética (UPME).

Unidad de Planificación Minero-Energética (2019). *Metodología y resultados de la estimación del índice de cobertura de energía eléctrica* (ICEE). Unidad de Planificación Minero-Energética (UPME).

3.2. Criterio *dinámica del mercado de tierras*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: económico		
Criterio asociado: *dinámica del mercado de tierras*		
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Variables asociadas al criterio

Tendencia a la formalidad, expresada en predios.
Tamaño predial rural, expresado en hectáreas.
Avalúo catastral rural, expresado en pesos por hectárea.
Arriendo rural, expresado en pesos por hectárea.

Definición

Situación y comportamiento de los municipios en torno a la dinámica de la tierra a partir de cuatro variables que permiten comprender la capacidad y los limitantes del acceso a la tierra para la producción agropecuaria. Muestra el impacto del tamaño, la formalidad, el arriendo y el precio de los predios a través del avalúo catastral como un proxi de su tendencia con el fin de focalizar las posibles inversiones en favor del acceso a la tierra para la producción forestal. El mercado de tierras rurales se entiende como «el conjunto de transacciones o acuerdos libres de coerción, mediante las cuales se realiza el intercambio parcial o total sobre alguno o algunos de los componentes del derecho de propiedad (uso, goce y disposición) de predios que no han sido objeto de exclusiones legales» (Resolución 128 de 2017, MADR).

Importancia del criterio

Permite orientar al productor o inversionista sobre las posibilidades de acceso, a la tierra a través de compra o arriendo para el desarrollo rentable de la actividad productiva. Así mismo, entrega una presunción de predios que puedan brindar seguridad al acceso de derechos de propiedad, orientando a un nuevo actor, de sus posibilidades de acceso a tierra o a los ya propietarios con tierras insuficientes para que puedan ampliar las áreas productivas y ser más competitivos. Un productor busca predios económicos, de un tamaño óptimo para la actividad, con formalidad jurídica y que no tenga la presión del cambio de uso a usos urbanos, con lo cual se disminuye la posibilidad de incurrir en mayores costos de acceso a la tierra para desarrollar la actividad.

Limitantes de la evaluación del criterio

En Colombia no se dispone de información sobre precios comerciales del suelo, por lo que se debe acudir al avalúo catastral como un *proxi* que, a pesar de haber sido indexado a través de un índice para dejar todos los municipios en la vigencia del año 2020, parte de información desactualizada en la mayoría. Del mismo modo, la desactualización de la información catastral limita los análisis realizados de formalidad, ya que una de las fuentes de información son los registros 1 y 2 de los catastros nacionales, que deben ser interrelacionados con la información de la Superintendencia de Notariado y Registro (SNR), la Agencia Nacional de Tierras (ANT) y la Unidad Administrativa Especial de Gestión de Restitución de Tierras Despojadas (URT).

También se limita por la existencia de zonas donde aún no se cuenta con procesos de formación catastral, por lo que no se encuentra información física, económica, ni jurídica. Estas zonas corresponden a 12 corregimientos y 68 municipios, ubicados en 15 departamentos. Actualmente, no se cuenta con suficiente información de arriendos compilada, organizada y georreferenciada a nivel nacional.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

En el análisis de cada una de las variables, no se presentaron límites que se calificaran como zonas no aptas (N1).

Metodología de procesamiento de la información

La ponderación del criterio se construyó a partir de la metodología AHP (Analytics Hierarchy Process), condensada en la matriz de comparaciones pareadas de cuatro variables, de acuerdo con la siguiente tabla:

Criterio	Variables	*Tamaño predial rural*	*Arriendo rural*	*Tendencia a la formalidad*	*Avalúo catastral rural*
Dinámica del mercado de tierras	*Tamaño predial rural*	1			
	Arriendo rural	1/3	1		
	Tendencia a la formalidad	1/3	1/3	1	
	Avalúo catastral rural	1/5	1/5	1/3	1

La escala de importancia dentro del proceso AHP consideró la valoración entre pares de variables, como se muestra en al siguiente tabla:

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Sumamente	Muy fuertemente	Fuertemente	Moderadamente	Igualmente	Moderadamente	Fuertemente	Muy fuertemente	Sumamente
Menos importante				**Igual en importancia**	**Más importante**			

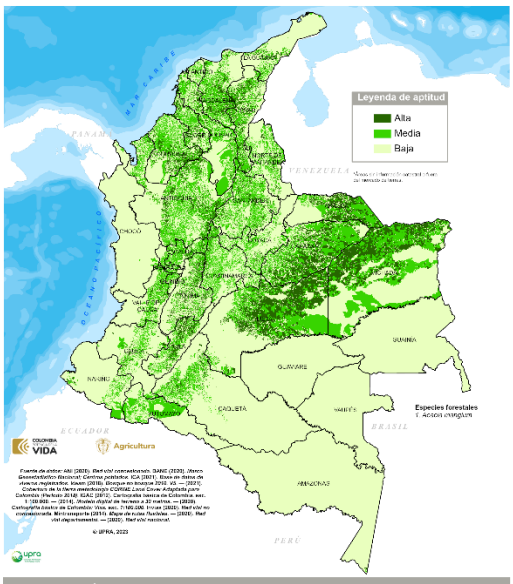
Utilizando el programa PriEsT (Priority Estimation Tool), se calcularon las ponderaciones de cada variable dentro del criterio de acuerdo con la calificación de los municipios y las categorías de aptitud, para cada una de las cuales se asignó el valor de alta (A1), media (A2) y baja (A3), como se muestra a continuación:

Criterio	Variable	Ponderación (%)
Dinámica del mercado de tierras	*Tendencia a la formalidad*	49,9
	Tamaño predial rural	28,8
	Avalúo catastral rural	14,7
	Arriendo rural	6,6
Total de la ponderación		**100,0**

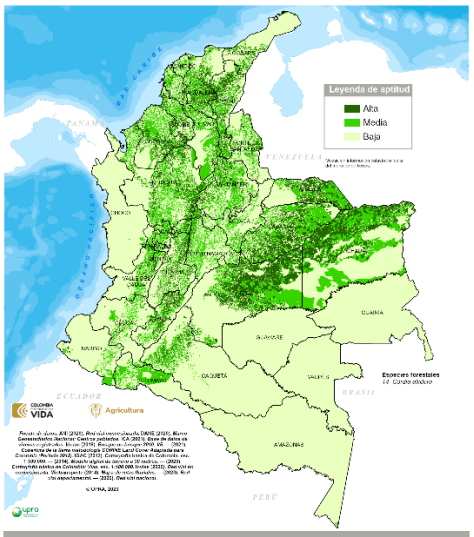
Rangos para la asignación de valores de aptitud

Variables		Unidad de medida	Aptitud		
			Alta (A1)	**Media (A2)**	**Baja (A3)**
Tendencia a la formalidad		Predios	Con matrícula inmobiliaria sin presunción de informalidad	—	Con mejoras; predios sin interrelación catastro registro; predios con falsa tradición; predios con presunción de baldíos; predios con presunción de informalidad; predios con resolución de inscripción en el registro 1 de la ley de ierras despojadas y abandonadas forzosamente; y predios con inscripción en el RUPTA
Tamaño predial rural	Acacia	Predios (ha)	>741	266-741	<266
	Nogal	Predios (ha)	>857	123-857	<123
	Balso	Predios (ha)	>580	61-580	<61
	Eucalipto (todos)	Predios (ha)	>586	108-586	<108
	Melina, ceiba roja, ciprés y roble.	Predios (ha)	>750	113-750	<113
	Pino (todos)	Predios (ha)	>741	169-741	<169
	Teca	Predios (ha)	>1200	106-1200	<106
Avalúo catastral rural		Pesos ($)/ha	<2 millones	2-8 millones	>8 millones; predios en propiedad horizontal (PH y condominio) y con destinos económicos industriales, comerciales y recreativos
Arriendo rural		Pesos ($)/ha	<200.000	200.000-600.000	>600.000

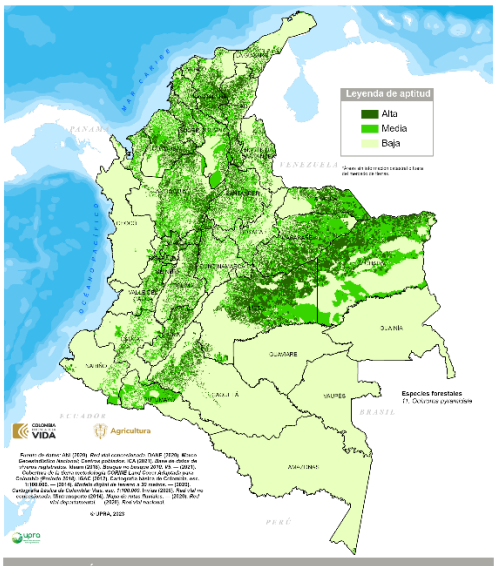
Representación cartográfica del criterio



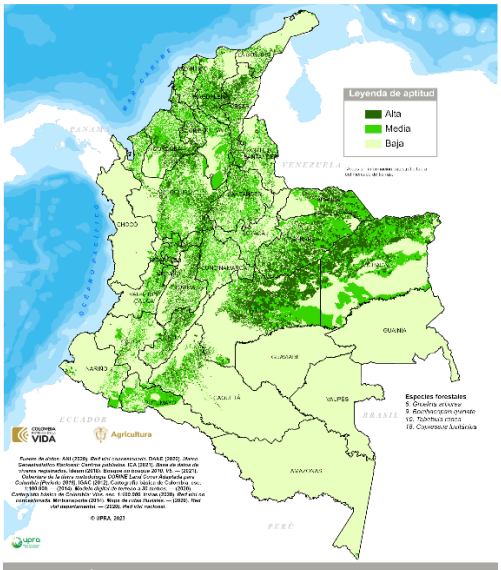
CRITERIO DINÁMICA DEL MERCADO DE TIERRAS



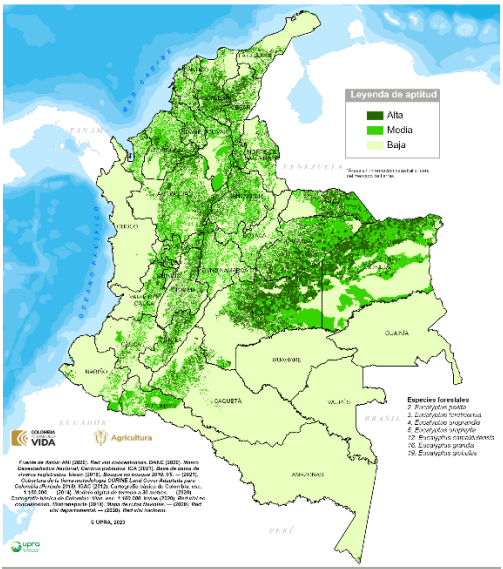
CRITERIO DINÁMICA DEL MERCADO DE TIERRAS



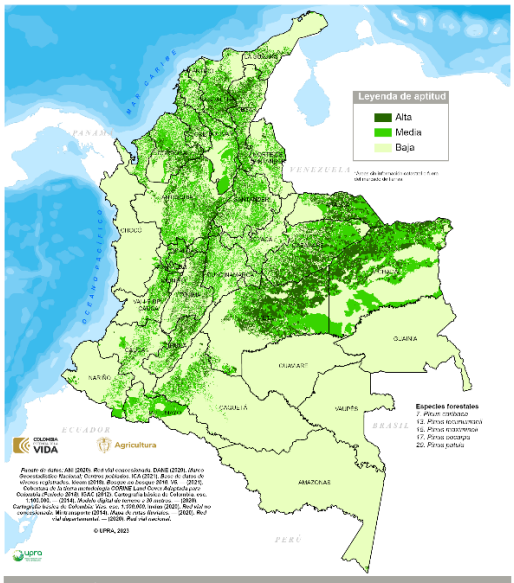
CRITERIO DINÁMICA DEL MERCADO DE TIERRAS



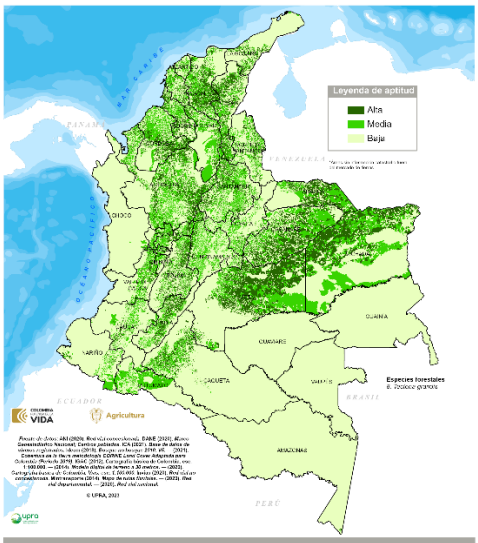
CRITERIO DINÁMICA DEL MERCADO DE TIERRAS



CRITERIO DINÁMICA DEL MERCADO DE TIERRAS



CRITERIO DINÁMICA DEL MERCADO DE TIERRAS



CRITERIO DINÁMICA DEL MERCADO DE TIERRAS

Fuentes de información

Agencia Nacional de Tierras (2019). *Títulos de formalización, baldíos adjudicados*. Agencia Nacional de Tierras (ANT).

Agencia Nacional de Tierras (2020). *Predios privados formalizados, inventario predios baldíos, predios ingresados al fondo de tierras, formalización de procesos en general*. Agencia Nacional de Tierras (ANT).

Alcaldía de Barranquilla (2020). *Base catastral, registros 1 y 2*. Alcaldía de Barranquilla.

Alcaldía de Medellín (2020). *Base de datos catastral*. Alcaldía de Medellín.

Alcaldía de Santiago de Cali (2020). *Información predial rural*. Alcaldía de Santiago de Cali.

Área Metropolitana Centro de Occidente (2020). *Información sin asociación con la base catastral rural*. Alcaldía de Pereira.

Área Metropolitana de Bucaramanga (2020). *Registro 1 y 2 base catastral rural*. Alcaldía de Bucaramanga.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020). *Sistema de información de precios (SIPSA): datos de arriendo para actividades pecuarias*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Departamento Nacional de Planeación (2014). *Categorías de ruralidad de municipios y ciudades de Colombia*. Departamento Nacional de Planeación (DNP).

Gobernación de Antioquia (2020). *Predial rural Antioquia*. Gobernación de Antioquia.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *ICARE: Interrelación catastro-registro*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2016). *Base catastral, registros 1 y 2*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Base catastral, registros 1 y 2*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2017). *Resolución 128 de 2017, por medio de la cual se adoptan las Bases para la Gestión del Territorio para usos agropecuarios y los Lineamientos de su estrategia de planificación sectorial agropecuaria*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

Superintendencia de Notariado y Registro (2020). *Falsas tradiciones, presunción de informalidad*. Superintendencia de Notariado y Registro (SNR).

Unidad Administrativa de Catastro Distrital (2020). *Información predial jurídica, física y económica*. Unidad Administrativa de Catastro Distrital.

Unidad Administrativa Especial de Gestión de Restitución de Tierras Despojadas (2022a). *Solicitudes de inscripción en el registro de tierras despojadas y abandonadas forzosamente*. Unidad Administrativa Especial de Gestión de Restitución de Tierras Despojadas (UAEGRTD).

Unidad Administrativa Especial de Gestión de Restitución de Tierras Despojadas (2022b). *Predios con inscripción de medida de protección en el RUPTA*. Unidad Administrativa Especial de Gestión de Restitución de Tierras Despojadas (UAEGRTD).

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (2015). *Mercado de tierras rurales productivas en Colombia: caracterización, marco conceptual, jurídico e institucional*. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (2020). *Clasificación de áreas para el mercado de tierras rurales agropecuarias V10*. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

3.2.1. Variable *tendencia a la formalidad*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: económico		
Criterio asociado: *dinámica del mercado de tierras*		
Variable: *tendencia a la formalidad*	Unidad de medida: predios	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Conjunto de situaciones inmobiliarias, técnicas y jurídicas sobre la propiedad de los predios tanto públicos como privados que proporciona seguridad jurídica según el principio constitucional del derecho a la propiedad privada. Por el contrario, «la informalidad puede ser legal o ilegal, o estar en una frontera ambigua entre ambas. La inestabilidad e irregularidad de los ingresos en el sector informal de trabajo, activa una lógica particular de los circuitos monetarios y formas de intercambio en los mercados informales, basada precisamente en la confianza» (UPRA, 2015).

Importancia de la variable

Brinda orientación para la inversión en compra, arriendo u otras formas de acceso a la tierra, pues indica cuáles son los predios que podrían garantizar el derecho a la propiedad y cuáles pueden presentar dificultades al suministrar información sobre la seguridad y accesibilidad a los derechos de propiedad, lo cual propicia el acceso a los incentivos para invertir, para el crédito y para beneficios agropecuarios. Los derechos de propiedad incentivan el uso eficiente de la tierra y las inversiones, porque reducen las asimetrías de la información y facilitan las transacciones en los mercados financieros (Cepal, 2003).

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

El análisis de la variable no presentó límites que se calificaran como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

Existen zonas del país que aún no cuentan con procesos de formación catastral y ni con información pertinente, por lo cual los polígonos se representan cartográficamente en blanco. Estas zonas corresponden a 12 corregimientos y 68 municipios, ubicados en 15 departamentos, reportados en la página del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) en el estado de la gestión catastral rural y en el informe de gestión de cierre del año 2020 (ver tabla siguiente).

Municipios reportados en el SIGOT del IGAC como *no formados*

Departamento	Número de municipios o corregimientos
Amazonas	9 corregimientos
Antioquia	1 municipio
Arauca	1 municipio
Boyacá	2 municipios
Cauca	1 municipio
Chocó	21 municipios
Guainía	9 municipios
Guaviare	4 municipios
Huila	3 municipios
Meta	1 municipio
Nariño	19 municipios
Norte de Santander	2 municipios
Putumayo	2 municipios
Tolima	1 municipio
Vaupés	1 municipio y 3 corregimientos

La desactualización de los catastros; la existencia de un número considerable de títulos sin registrar —muchas veces por el desconocimiento de las personas de formalizar los derechos de propiedad—; y la falta de interrelación entre el catastro y registro dificulta que los predios cuenten con la información jurídica actualizada en las bases de datos para realizar este tipo de ejercicios. Debido a que esta variable se trabajó con las bases catastrales obtenidas después de realizar el proceso para la determinación del indicie de informalidad trabajado en la entidad, la vigencia por utilizar depende de la actualización del índice que, por ahora, no se calcula para todos los años por restricciones en los datos fuente.

Metodología de procesamiento de la información

Precisiones de la información

De acuerdo con la UPRA (2015), existe un alto porcentaje de predios rurales sin título de propiedad válido registrado. Las subvariables para determinar que los predios tuvieran una presunta formalidad fueron los siguientes: predios con matrícula inmobiliaria y que no cumplen ninguna de las demás variables; predios que en la base catastral no poseen una matrícula inmobiliaria; predios identificados en la base catastral 2014 sin interrelación catastro-registro; predios identificados con *mejoras en predio ajeno* en la base catastral; predios identificados en la base 2014_IGAC y en la información entregada por SNR_2020 que están en falsa tradición; predios identificados como *presuntos baldíos*; predios con resolución de inscripción en el registro 1 de la ley de tierras despojadas y abandonadas forzosamente; predios con inscripción de medida de protección por riesgo de despojo. El argumento considerado para identificar dentro de la base catastral los predios con tendencia a ser informales fue que presentaran alguna de las variables descritas en los numerales del 2 al 8, mientras, por exclusión, los primeros serían los que se puedieran considerar como *presuntos formales*.

Análisis de la consistencia y preparación de la información

Se tomó la información jurídica reportada en las bases catastrales nacionales predio a predio con el fin de determinar su tendencia a la formalidad.

Clasificación por aptitud

Los cortes para los rangos de aptitud se definieron de acuerdo con el criterio experto del grupo de formalización de la UPRA adquirido del manejo de la información catastral dentro de los estudios realizados para la elaboración del mapa del índice municipal de informalidad y el mapa de áreas disponibles para la formalización de propiedad privada. Los predios calificados con *aptitud alta* (A1) evidencian una condición de formalidad registrada en las bases catastrales, ya que tienen matrícula inmobiliaria y son el resultado de excluir de las bases todas las condiciones que se citan para la siguiente aptitud. Con *aptitud baja* (A3), se calificaron los predios con mejoras; los predios sin interrelación catastro-registro; los predios con falsa tradición; los predios con presunción de baldíos; los predios con presunción de informalidad; los predios con resolución de inscripción en el registro 1 de la ley de tierras despojadas y abandonadas forzosamente; y los predios con inscripción de medida de protección ante un posible despojo que evidencian inconvenientes jurídicos con su titulación y es más probable que tengan problemas en sus condiciones jurídicas y no garantizan seguridad jurídica.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

Para este proceso, se seleccionó de la base de datos los predios con mejoras; los predios sin interrelación catastro-registro; los predios con falsa tradición; los predios con presunción de baldíos; los predios con presunción de informalidad; y los predios con resolución de inscripción en el registro 1 —corresponden a los que se encuentran marcados con estado *D* (definitivos), que hacen referencia a las solicitudes con resolución de inscripción en el registro 1 de la ley de tierras despojadas y abandonadas forzosamente—, ya que tiene un inconveniente en su titulación y deben pasar por un proceso judicial para poder volver a la formalidad. Luego, se seleccionaron los predios sin matrícula inmobiliaria y finalmente quedaron los demás predios que se presumen formales.

La dinámica del proceso de restitución de tierras, que consta de fases definidas en los estados *G* (georreferenciados), son polígonos que cuentan con georreferenciación en campo y la participación del solicitante o de una persona que conozca el predio y sea autorizada por el solicitante. Los polígonos en estado *D* (definitivos) son solicitudes con resolución de inscripción en el registro 1 de la ley de tierras despojadas y abandonadas forzosamente. Los que tienen estado *F* (final) se encuentran en etapa judicial y ya cuentan con sentencia.

En cuanto a la restitución, se abordó el fenómeno del despojo en las zonas no focalizadas, marcando los predios con *inscripción de medida de protección* (RUPTA). Para mostrar los predios que con eficiente acceso, se marcaron los predios identificados como *excluidos del mapa de clasificación de áreas para el mercado de tierras rurales agropecuarias V10* y se clasificaron con *aptitud baja* (A3), pero mostrándolos gráficamente en color blanco para facilitar la lectura del usuario.

Estos condicionamientos legales, permitieron establecer dónde es permitido, condicionado, restringido o prohibido efectuar transacciones sobre predios rurales de forma libre y autónoma de acuerdo con la constitución colombiana y las leyes vigentes. Para ello, se definieron las áreas excluidas o fuera del mercado de tierras agropecuarias a los espacios geográficos del país en los que no se pueden desarrollar actividades agrícolas o pecuarias, ya que los territorios están dedicados a la preservación, restauración, conocimiento y disfrute; o presentan restricciones legales que impiden que se puedan comprar o vender libremente en el mercado por su carácter inalienable. Dentro de esta clasificación de áreas excluidas se tienen en cuenta las zonas urbanas, que, si bien si permiten una compra o venta libre en el mercado, no son aptas para el desarrollo de actividades agrícolas o pecuarias. Los condicionantes mencionados se relacionan a continuación:

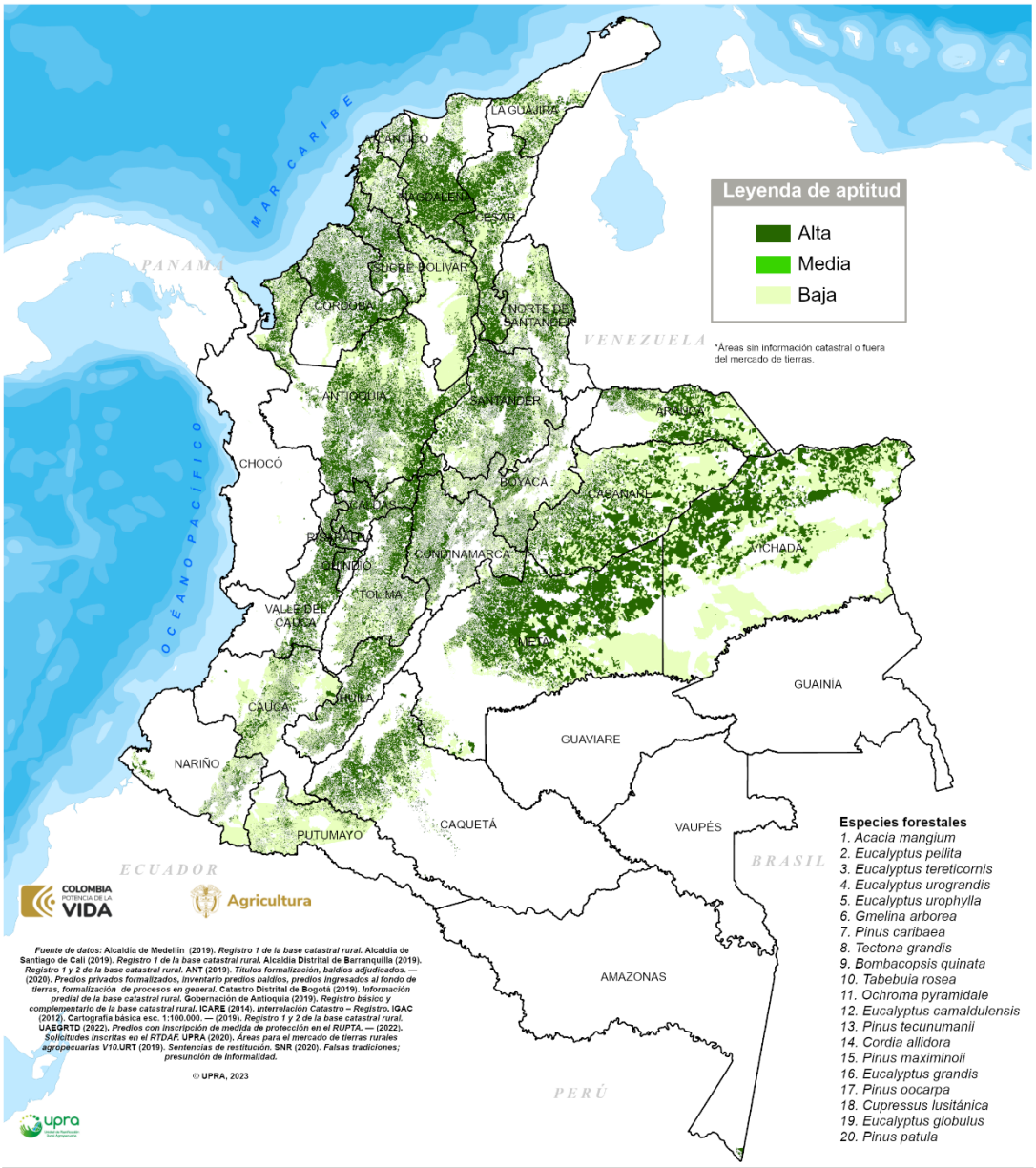
Territorios excluidos del mercado de tierras
Zonas urbanas
Resguardos indígenas declarados
Tierras comunidades negras
Sistema de Parques Nacionales Naturales
Parques nacionales naturales
Área única natural
Santuario de flora
Santuario de flora y fauna
Vía parque
Reserva natural
Parque natural regional
Áreas arqueológicas
Áreas de manejo especial de La Macarena, Meta (AMEM)
Reservas forestales, Ley 2, tipoa A
Páramos
Bienes de uso público
Restricciones locales
Reservas forestales protectoras

Información jurídica de los predios	Aptitud
Predios con matrícula inmobiliaria sin presunción de informalidad	Alta (A1)
—	Media (A2)
Predios con mejoras; predios sin interrelación catastro-registro; predios con falsa tradición; predios con presunción de baldíos; predios con presunción de informalidad; predios con resolución de inscripción en el registro 1 de la ley de tierras despojadas y abandonadas forzosamente; predios con inscripción en el RUPTA	Baja (A3)

Unidad de análisis

Predios.

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO DINÁMICA DEL MERCADO DE TIERRAS
Variable tendencia a la formalidad

Fuentes de información

Alcaldía de Barranquilla (2020). *Base catastral, registros 1 y 2*. Alcaldía de Barranquilla.

Alcaldía de Medellín (2020). *Base de datos catastral*. Alcaldía de Medellín.

Alcaldía de Santiago de Cali (2020). *Registro 1 de la base catastral rural*. Alcaldía de Santiago de Cali.

Agencia Nacional de Tierras (2020). *Predios privados formalizados, inventario predios baldíos, predios ingresados al fondo de tierras, formalización de procesos en general*. Agencia Nacional de Tierras (ANT).

Gobernación de Antioquia (2020). *Predial rural Antioquia*. Gobernación de Antioquia.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014a). *Predios sin interrelación catastro-registro y con falsa tradición*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014b). *ICARE: Interrelación catastro-registro*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Base predial, registros 1 y 2*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2017). *Resolución 128 de 2017, por medio de la cual se adoptan las Bases para la Gestión del Territorio para usos agropecuarios y los Lineamientos de su estrategia de planificación sectorial agropecuaria*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

Superintendencia de Notariado y Registro (2020). *Falsas tradiciones, presunción de informalidad*. Superintendencia de Notariado y Registro (SNR).

Unidad Administrativa de Catastro Distrital (2020). *Información predial jurídica, física y económica*. Unidad Administrativa de Catastro Distrital.

Unidad Administrativa Especial de Gestión de Restitución de Tierras Despojadas (2019). *Sentencias de restitución*. Unidad Administrativa Especial de Gestión de Restitución de Tierras Despojadas (UAEGRTD).

Unidad Administrativa Especial de Gestión de Restitución de Tierras Despojadas (2020). *Predios con inscripción de medida de protección*. Unidad Administrativa Especial de Gestión de Restitución de Tierras Despojadas (UAEGRTD).

Unidad Administrativa Especial de Gestión de Restitución de Tierras Despojadas (2022). *Puntos de los centroides, de los polígonos de las solicitudes que se encuentran espacializadas 2022 de los polígonos en estado D (definitivos)*. Unidad Administrativa Especial de Gestión de Restitución de Tierras Despojadas (UAEGRTD).

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (2015). *Mercado de tierras rurales productivas en Colombia: caracterización, marco conceptual, jurídico e institucional*. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (2020). *Clasificación de áreas para el mercado de tierras rurales agropecuarias V10*. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

3.2.2. Variable *tamaño predial rural*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: social		
Criterio asociado: *dinámica del mercado de tierras*		
Variable: *tamaño predial rural*	Unidad de medida: predios	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Superficie de terreno en rangos de tamaños definidos de acuerdo con el comportamiento medio de la plantación forestal y las dimensiones consideradas óptimas para una productividad competitiva. Para efectos de la evaluación de tierras, se considera el tamaño de los predios en hectáreas, en una aptitud determinada, asignada a partir de la información catastral vigente con información predio a predio del ámbito rural.

Importancia de la variable

Permite que un nuevo actor o uno que tiene tierra insuficiente pueda conocer dónde los tamaños prediales podrían ser apropiados para el desarrollo de la actividad productiva y dónde se dificultaría. Esta actividad requiere de extensiones prediales muy grandes, por lo que los actores productivos tendrían menor oferta inmobiliaria, dada la distribución del tamaño predial rural del país, donde más del 70 % de los predios tienen menos de 5 hectáreas.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

En el análisis de cada una de las variables, ninguna presentó límites que se calificaran como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

La fuente de información para la medición de la variable fue la base predial del IGAC y de catastros descentralizados, que en muchos municipios del país están desactualizadas y en 80 de ellos no se cuenta con información catastral. Las áreas registradas en el catastro, en la mayoría de casos, corresponden a las indicadas en los títulos de dominio bajo la figura de *cuerpo cierto* y *no a la superficie real* sobre la cual se ejerce dominio o posesión.

Metodología de procesamiento de la información

Precisión de la información

Para la definición del tamaño tipo de los predios rurales a nivel municipal, se consideraron únicamente los predios con destino económico agropecuario sin ningún condicionante legal que impida la explotación económica y de propiedad privada.

Análisis de la consistencia y preparación de la información

Los puntos de corte para las categorías de aptitud se definieron según el cálculo de las áreas mínimas requeridas para que la actividad se realice de manera productiva, que se comportan de manera representativa en el actual desarrollo de la actividad existente, para lo cual se contó con el concepto de profesionales vinculados al proceso productivo y de expertos que realizaron un ejercicio de costos para determinar un área mínima necesaria para la producción optima. Así mismo, se analizaron las bases prediales donde se reportan cultivos para evidenciar la representatividad de los tamaños calculados; se validaron los rangos propuestos en visitas de campo; y se propusieron tres categorías de aptitud a partir de integración de toda la información consultada. Para mostrar los predios con una forma eficiente de acceso, se marcaron los predios identificados como *excluidos del mapa de clasificación de áreas para el mercado de tierras rurales agropecuarias V10* y se clasificaron con *aptitud baja* (A3), pero mostrándolos gráficamente en color blanco para facilitar la lectura del usuario.

Estos condicionamientos legales permiten establecer dónde es permitido, condicionado, restringido o prohibido efectuar transacciones sobre predios rurales de forma libre y autónoma de acuerdo con la constitución colombiana y las leyes vigentes. Con ello, se definen las áreas excluidas o fuera del mercado de tierras agropecuarias a los espacios del país en los que no se pueden desarrollar actividades agrícolas o pecuarias, ya que los territorios están dedicados a la preservación, restauración, conocimiento y disfrute, o presentan restricciones legales que impiden que se puedan comprar o vender libremente en el mercado por su carácter inalienable. En esta clasificación se engloban las zonas urbanas, que, si bien si permiten una compra o venta libre en el mercado, no son aptas para el desarrollo de actividades agrícolas o pecuarias. Los condicionantes aquí mencionados se relacionan a continuación:

Territorios excluidos del mercado de tierras
Zonas urbanas
Resguardos indígenas declarados
Tierras comunidades negras
Sistema de parques nacionales naturales
Parques nacionales naturales
Área única natural
Santuario de flora
Santuario de flora y fauna
Vía parque
Reserva natural

Parque natural regional
Áreas arqueológicas
Áreas de manejo especial de La Macarena, Meta (AMEM)
Reservas forestales, Ley 2, tipo A
Páramos
Bienes de uso público
Restricciones locales
Reservas forestales protectoras

Clasificación por aptitud

El tamaño de los predios rurales se definió de acuerdo con los siguientes rangos de aptitud:

Especie	Nombre común	A1 (mayor a) ha	A2 (entre) ha	A3 (menor a) ha
Acacia mangium	Acacia	741	266-741	266
Cordia alliodora	Nogal	857	123-857	123
Ochroma pyramidale	Balso	580	61-580	61
Eucaliptos urograndis	Eucalipto	586	108-586	108
Eucalyptus camaldulensis	Eucalipto	—	—	—
Eucalyptus globulus	Eucalipto	—	—	—
Eucalyptus grandis	Eucalipto	—	—	—
Eucalyptus pellita	Eucalipto	—	—	—
Eucalyptus tereticornis	Eucalipto	—	—	—
Eucalyptus urophylla	Eucalipto	—	—	—
Gmelina arborea	Melina	750	113-750	113
Bombacopsis quinata	Ceiba roja	—	—	—
Cupressus lusitanica	Ciprés	—	—	—
Tabebuia rosea	Roble	—	—	—
Pinus caribea	Pino	741	169-741	169
Pinus maximinoii	Pino	—	—	—
Pinus oocarpa	Pino	—	—	—
Pinus patula	Pino	—	—	—
Pinus tecunimanii	Pino	—	—	—
Tectona grandis	Teca	1200	106-1200	106

Rangos para la asignación de valores de aptitud

Los rangos para la espacialización de las variables se clasificaron de acuerdo con la categorías de aptitud, para las especies forestales, alta (A1), media (A2) y baja (A3), así:

Acacia

Predios (ha)	Aptitud
>741	Alta (A1)
266-741	Media (A2)
<266	Baja (A3)

Nogal

Predios (ha)	Aptitud
>857	Alta (A1)
123-857	Media (A2)
< 123	Baja (A3)

Balso

Predios (ha)	Aptitud
>580	Alta (A1)
61-580	Media (A2)
<61	Baja (A3)

Eucaliptos

Predios (ha)	Aptitud
>586	Alta (A1)
108-586	Media (A2)
<108	Baja (A3)

Melina, ceiba roja, ciprés y roble

Predios (ha)	Aptitud
> 750	Alta (A1)
113-750	Media (A2)
<113	Baja (A3)

Pinos

Predios (ha)	Aptitud
>741	Alta (A1)
169-741	Media (A2)
<169	Baja (A3)

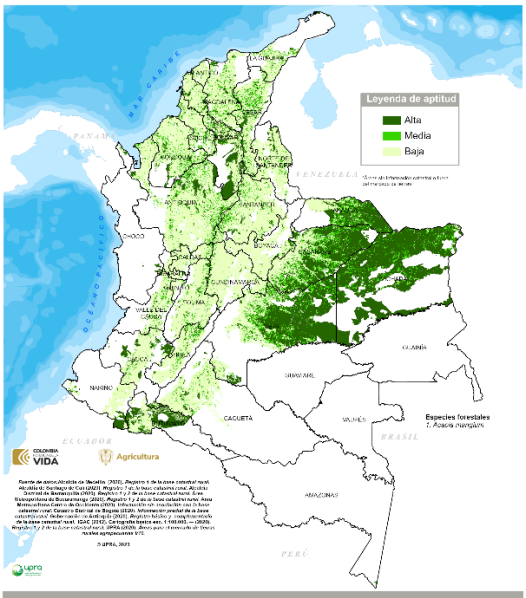
Teca

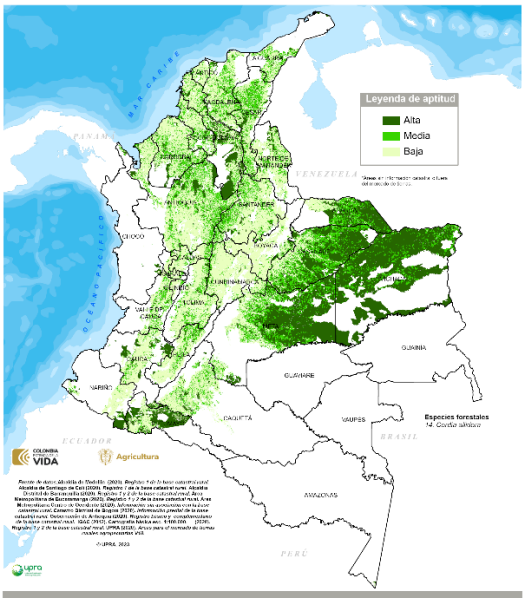
Predios (ha)	Aptitud
>1200	Alta (A1)
106-1200	Media (A2)
<106	Baja (A3)

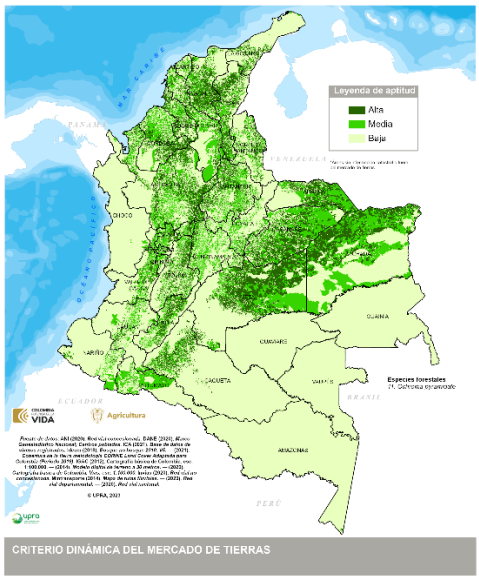
Unidad de análisis

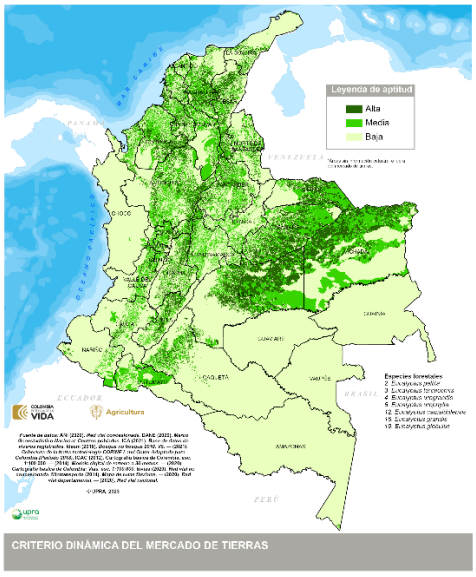
Predios.

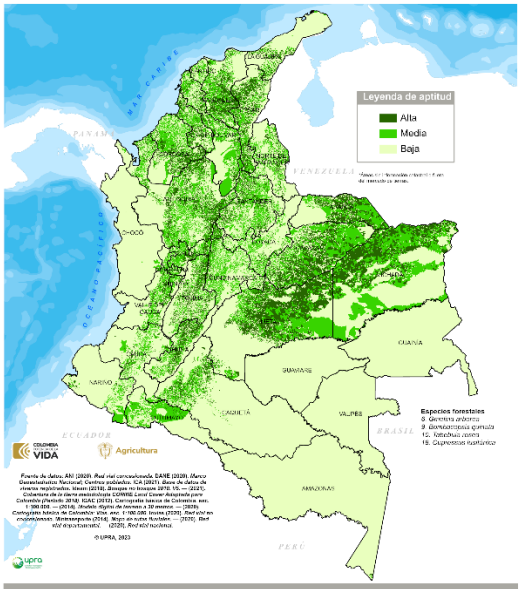
Representación cartográfica de la variable



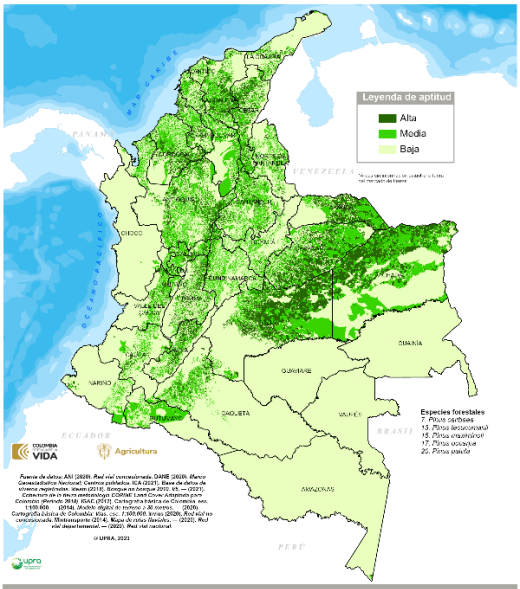




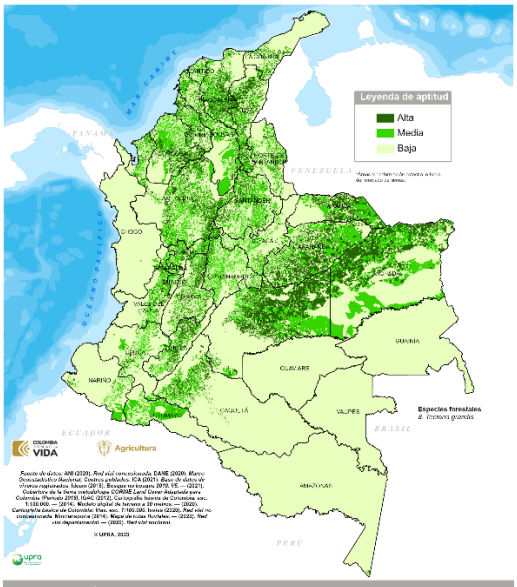




CRITERIO DINÁMICA DEL MERCADO DE TIERRAS



CRITERIO DINÁMICA DEL MERCADO DE TIERRAS



CRITERIO DINÁMICA DEL MERCADO DE TIERRAS

Fuentes de información

Agencia Nacional de Tierras (2019). *Títulos de formalización, baldíos adjudicados*. Agencia Nacional de Tierras (ANT).

Agencia Nacional de Tierras (2020). *Predios privados formalizados, inventario predios baldíos, predios ingresados al fondo de tierras, formalización de procesos en general*. Agencia Nacional de Tierras (ANT).

Alcaldía de Barranquilla (2020). *Base catastral, registros 1 y 2*. Alcaldía de Barranquilla.

Alcaldía de Medellín (2020). *Base de datos catastral*. Alcaldía de Medellín.

Alcaldía de Santiago de Cali (2020). *Información predial rural*. Alcaldía de Santiago de Cali.

Área Metropolitana Centro de Occidente (2020). *Información sin asociación con la base catastral rural*. Alcaldía de Pereira.

Área Metropolitana de Bucaramanga (2020). *Registro 1 y 2 base catastral rural*. Alcaldía de Bucaramanga.

Gobernación de Antioquia (2020). *Predial rural Antioquia*. Gobernación de Antioquia.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020). *Base catastral, registros 1 y 2*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Unidad Administrativa de Catastro Distrital (2020). *Información predial jurídica, física y económica*. Unidad Administrativa de Catastro Distrital.

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (2020). *Clasificación de áreas para el mercado de tierras rurales agropecuarias V10*. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

3.2.3. Variable *avalúo catastral rural*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: económico		
Criterio asociado: *dinámica del mercado de tierras*		
Variable: *avalúo catastral rural*	Unidad de medida: pesos/ha	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Determinación, por entidad pública competente, del valor de los predios obtenido mediante investigación y análisis estadístico del mercado inmobiliario. Se determina por la adición de los avalúos parciales practicados independientemente para los terrenos y las edificaciones en él comprendidos (Resolución 0070 de 2011, IGAC).

Esta variable se utiliza como un *proxi* del precio comercial posible de intercambio de las tierras rurales por hectárea, debido a la ausencia de información de precios comerciales a nivel nacional actualizados, recientes o tomados de fuente directa. El intercambio se entiende como «El conjunto de transacciones o acuerdos, libres de coerción, mediante el cual se realiza el intercambio parcial o total de alguno(s) de los componentes del derecho de propiedad (uso, goce y disposición) de predios rurales que no han sido objeto de exclusiones legales.» (MADR, 2017).

Importancia de la variable

Incide en la manera de acceder a la tierra, dado que a menores precios, representados por el avalúo catastral, se pueden disminuir los costos de producción, es decir, el pago por rentas del suelo, lo que permitirá a un productor ampliar su margen de competitividad. Por el contrario, los altos precios de la tierra originan barreras a la actividad productiva por ser más exigente la inversión inicial, lo que genera mayores costos de transacción y mayores pagos por impuesto.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

En el análisis de la variable, no se presentaron límites que se calificaran como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

A la fecha, el país no cuenta con información compilada de precios comerciales del suelo a nivel nacional, por lo que los avalúos catastrales se deben utilizar como un *proxi*, que si bien no pueden dar una información directa de precios, sí muestran una tendencia. La UPRA, al año 2022, cuenta con precios comerciales de referencia a escala 1:100.000 para suelos rurales agropecuarios en 445 municipios del país, que cubren aproximadamente 13,3 millones de hectáreas. Sin embargo, la variable requiere cobertura nacional con la que aún no se cuenta. La relación monetaria entre el valor catastral y el precio comercial es difícil de determinar, ya que no hay información precisa del porcentaje de adopción entre el uno y el otro en los municipios del país.

Adicionalmente, los avalúos catastrales rurales están muy desactualizados, lo que genera mayores brechas entre los dos datos. Sin embargo, el valor catastral sí indica una tendencia del precio comercial, es decir, muestra dónde puede ser más costoso y dónde puede ser más bajo el precio de la tierra. La información catastral utilizada está desactualizada en la mayoría de los municipios y existen zonas donde aún no se cuenta con procesos de formación catastral. Por consiguiente, no se cuenta con información económica, física y jurídica. Estas zonas corresponden a 12 corregimientos y 68 municipios, ubicados en 15 departamentos, como lo reporta el IGAC en su estado de gestión catastral rural.

Metodología de procesamiento de la información

Precisión de la información

La determinación del valor catastral por hectárea se calculó a partir del avalúo catastral total dividido por el área de terreno, ya que la información discriminada no fue entregada. De este modo se obviaron los valores de construcción y se partió del supuesto que para los predios rurales agropecuarios tiene un peso muy bajo debido a la relación de área entre terreno y construcción.

Análisis de la consistencia y preparación de la información

Teniendo en cuenta que cada municipio tiene una vigencia de actualización catastral diferente, se indexaron todos los avalúos catastrales al año 2020 mediante un índice departamental calculado por la UPRA a partir de las tasas de crecimiento del avalúo catastral rural municipal entre vigencias. Con el fin de identificar el precio más favorable y el máximo que un productor forestal está en condición de pagar por acceder a tierra a través de la compra, se procedió a agrupar la información de avalúos catastrales por hectárea y predios con reporte de plantación forestal entregados por las entidades en los rangos establecidos para el mapa nacional de avalúos catastrales, de lo cual se identificó la mayor representación en cada uno y se definieron cortes preliminares para esta variable. Adicionalmente, se consultaron expertos inmobiliarios y se realizaron pequeños sondeos del mercado actual. Ya que esta información fue expresada en precios comerciales, se asume un porcentaje de correspondencia nacional del 60 % para proceder a la compra con el apoyo en lo indicado en el Decreto 148 de febrero de 2020.

Rangos de avalúos del mapa nacional

Color	Rango
	Menor a 0,5
	Entre 0,5 y 1
	Entre 1 y 5
	Entre 5 y 10
	Entre 10 y 15
	Entre 15 y 20
	Entre 20 y 25
	Entre 25 y 30
	Entre 30 y 35
	Entre 35 y 40
	Entre 40 y 50
	Entre 50 y 60
	Entre 60 y 70
	Entre 70 y 80
	Entre 80 y 90
	Entre 90 y 100
	Mayor a 100

Clasificación por aptitud

Con base en los análisis de la información anterior, se establecieron los rangos propuestos de aptitud. Se otorgó la clasificación de *aptitud baja* (A3) a los predios que en las bases catastrales tuvieran los atributos de destino y uso con el fin de evidenciar la presión que ejercen en el precio de la tierra los usos distintos a los agropecuarios que se desarrollan en zonas rurales generalmente suburbanas, reglamentadas dentro de los planes de ordenamiento territorial de cada municipio (ver siguiente tabla).

a. Predios rurales en propiedad horizontal (PH) y condominios.
b. Predios rurales con destino económico industrial, comercial y recreacional.
c. Predios rurales cuyas construcciones tengan uso de bodegas comerciales, hoteles en PH, comercio, hoteles, clubes-casinos, pensiones y residencias, centros comerciales y vivienda recreacional.

Con el fin de mostrar los predios que permitieran una forma eficiente de acceso, se marcaron los predios identificados como *excluidos del mapa de clasificación de áreas para el mercado de tierras rurales agropecuarias V10* y se clasificaron con *aptitud baja* (A3), pero mostrándolos gráficamente en color blanco para facilitar la lectura del usuario.

Estos condicionantes legales permiten establecer dónde es permitido, condicionado, restringido o prohibido efectuar transacciones en predios rurales libre y autónomamente según la constitución colombiana y las leyes vigentes. Con ello, se definen las áreas excluidas o fuera del mercado de tierras agropecuarias a los espacios geográficos en los que no se pueden desarrollar actividades agrícolas o pecuarias, ya que los territorios están dedicados a la preservación, restauración, conocimiento y disfrute, o presentan restricciones legales que impiden que se puedan comprar o vender libremente en el mercado por su carácter inalienable. Dentro de esta clasificación también se incluyen las zonas urbanas, que, si bien permiten una compra o venta libre en el mercado, no son aptas para el desarrollo de actividades agrícolas o pecuarias. Los condicionantes aquí mencionados se relacionan a continuación.

Territorios excluidos del mercado de tierras
Zonas urbanas
Resguardos indígenas declarados
Tierras comunidades negras
Sistema de parques nacionales naturales
Parques nacionales naturales
Área única natural
Santuario de flora
Santuario de flora y fauna
Vía parque
Reserva natural
Parque natural regional
Áreas arqueológicas
Áreas de manejo especial de La Macarena, Meta (AMEM)
Reservas forestales, Ley 2, tipo A
Páramos
Bienes de uso público
Restricciones locales
Reservas forestales protectoras

Cabe recalcar que los valores catastrales por hectárea de los predios de las zonas rurales de Colombia no corresponden al precio comercial y están distantes. Por esta razón, a la información consultada con expertos, productores e inmobiliarios se le aplicó un índice de adopción del 60 % para poder analizarla y relacionarla con la información de avalúos catastrales trabajada para esta variable.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

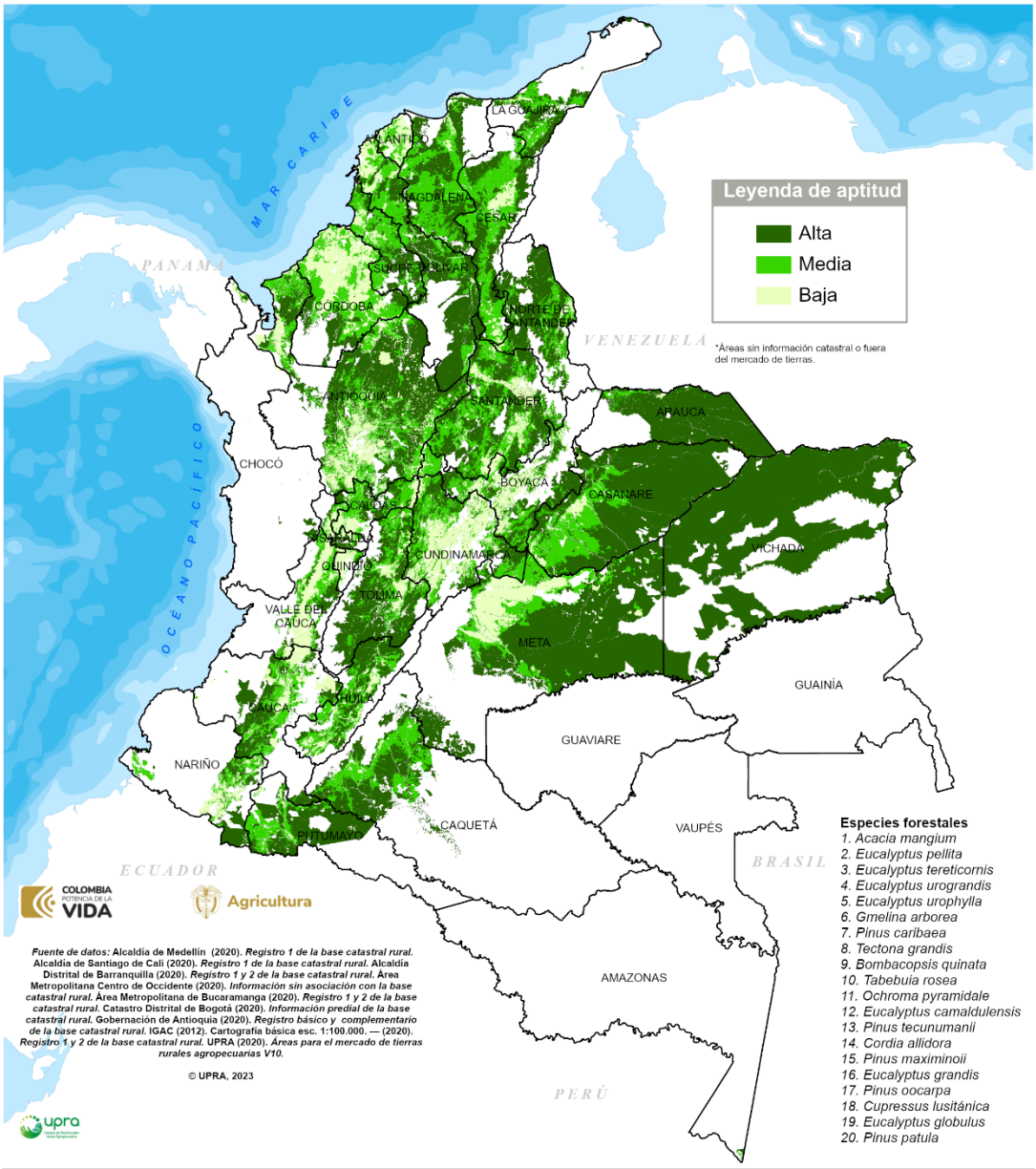
Los rangos para la espacialización de las variables se clasificaron de acuerdo con las categorías de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3), como se registra en la siguiente tabla:

Pesos/ha	Aptitud
<2 millones	Alta (A1)
2-8 millones	Media (A2)
>8 millones, predios en propiedad horizontal (PH y condominio) y con destinos económicos industriales, comerciales y recreativos	Baja (A3)

Unidad de análisis

Pesos/ha.

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO DINÁMICA DEL MERCADO DE TIERRAS
Variable avalúo catastral rural

Fuentes de información

Agencia Nacional de Tierras (2019). *Títulos de formalización, baldíos adjudicados*. Agencia Nacional de Tierras (ANT).

Agencia Nacional de Tierras (2020). *Predios privados formalizados, inventario predios baldíos, predios ingresados al fondo de tierras, formalización de procesos en general*. Agencia Nacional de Tierras (ANT).

Alcaldía de Barranquilla (2020). *Base catastral, registros 1 y 2*. Alcaldía de Barranquilla.

Alcaldía de Medellín (2020). *Base de datos catastral*. Alcaldía de Medellín.

Alcaldía de Santiago de Cali (2020). *Información predial rural*. Alcaldía de Santiago de Cali.

Área Metropolitana Centro de Occidente (2020). *Información sin asociación con la base catastral rural*. Alcaldía de Pereira.

Área Metropolitana de Bucaramanga (2020). *Registro 1 y 2 base catastral rural*. Alcaldía de Bucaramanga.

Gobernación de Antioquia (2020). *Predial rural Antioquia*. Gobernación de Antioquia.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020). *Base catastral, registros 1 y 2*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2017). *Resolución 128 de 2017, por medio de la cual se adoptan las Bases para la Gestión del Territorio para usos agropecuarios y los Lineamientos de su estrategia de planificación sectorial agropecuaria*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

Unidad Administrativa de Catastro Distrital (2020). *Información predial jurídica, física y económica*. Unidad Administrativa de Catastro Distrital.

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (2020). *Clasificación de áreas para el mercado de tierras rurales agropecuarias V10*. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

3.2.4. Variable *arriendo rural*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: económico		
Criterio asociado: *dinámica del mercado de tierras*		
Variable: *arriendo rural*	Unidad de medida: pesos/ha	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Valor del pago en dinero, establecido de manera conjunta por el propietario, quien concede el goce de un predio por un tiempo determinado, y el arrendatario, quien paga por este goce un precio definido.

Importancia de la variable

Permite estimar el valor del uso del suelo como factor de costos para el desarrollo de la actividad productiva. El arriendo tiene gran importancia por ser uno de los aspectos más relevantes dentro del desarrollo de la actividad productiva, ya que facilita el acceso a la tierra y evita realizar grandes inversiones en compra de predios.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

El análisis de la variable no presentó límites que se calificaran como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

En la actualidad, Colombia no cuenta con información organizada, georreferenciada y pública de cobertura nacional, pues cuenta únicamente con la información de referencia de arriendos recogida por el DANE a través del SIPSA. Dentro de la información de factores de producción, cuenta con 6.473 datos, ubicados en 147 municipios, que corresponden a 22 departamentos levantados en el periodo 2013-2021, cobertura que es una de las mayores limitantes de la variable dada la ausencia de más información relacionada con el tema.

Metodología de procesamiento de la información

Información

El DANE brinda información básica para la toma de decisiones en todos los sectores de la economía. El SIPSA se encarga de informar los precios mayoristas de los productos

agroalimentarios que se comercializan en el país, de la información de insumos y factores asociados a la producción pecuaria y del nivel de abastecimiento de alimentos en las ciudades.

Precisiones de la información

El método de recolección de la información del SIPSA se basa en el documento técnico *Metodología general sistema de información de precios y abastecimiento del sector agropecuario –SIPSA_P* (DANE, 2017)

Análisis de la consistencia y preparación de la información

Dentro del proceso de supervisión y análisis de la información de SIPSA_P, se cuenta con una serie de actividades y de acompañamientos aleatorios para detectar comportamientos atípicos que produzcan variaciones en la información de precios. Con esto, se busca ejecutar y garantizar el control de calidad de la información. El comportamiento de la dinámica en arriendos muestra que a mejor calidad de la tierra y menor acceso para ser arrendada, el canon tiende a ser mayor. Es decir: a menor oferta y mayor calidad de suelo, mayores son precios de arriendo, comportamiento que no se relaciona con el precio de la tierra, sino más bien con la rentabilidad del producto para la cual se requiere.

En Colombia, no es común que se dé la figura del arrendamiento para cultivos permanentes como estos, pero, dada la dificultad de acceso a tierra, y especialmente en las grandes extensiones que se requieren, se observa en algunas regiones, como Antioquia y los Llanos Orientales, que dentro de los esquemas del negocio se realiza la proyección con tierra arrendada. Además, surgen otras figuras que, sin ser por definición las mismas, constituyen otros mecanismos de acceso a la tierra, como los contratos de asociación en participación, que le permite al productor y al dueño de la tierra realizar esta actividad productiva a cambio de bienes futuros que se materializan en una participación en las utilidades.

Clasificación por aptitud

El proceso para la clasificación por aptitud se realizó de la siguiente manera: se tomaron como base de la información económica los arriendos del SIPSA para el año 2021, con el fin de determinar el comportamiento del pago del arrendamiento para actividades pecuarias, expresadas en año por hectárea. Con la depuración de los datos, se construyeron rangos que permitieran varias opciones de agrupación en los tres rangos de aptitud con el fin de reflejar de la mejor manera el comportamiento específico para el arriendo de la producción forestal. Estos rangos se clasificaron en aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3), teniendo como base los valores de arriendo determinados con el experto y los productores visitados en las validaciones realizadas en territorio.

Se tomaron de la base del SIPSA todos los datos de arriendos para actividades pecuarias y se unificaron en hectárea por año. Posteriormente, se llevó a cabo el proceso de definición de rangos para todos los municipios reportados en el SIPSA, de lo cual se construyó el análisis de éstos,

18 rangos relacionados directamente con los datos reportados de pendiente y agua, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

N.°	Rangos de valor de arriendo anual en pesos/ha	
1.1.1	Hasta $200.000	
1.1.2	Mayor que $ 200.000	Hasta $300.000
1.2.1	Mayor que $300.000	Hasta $400.000
1.2.2	Mayor que $400.000	Hasta $500.000
2.1.1	Mayor que $500.000	Hasta $600.000
2.1.2	Mayor que $600.000	Hasta $700.000
2.1.3	Mayor que $ 700.000	Hasta $ 800.000
2.1.4	Mayor que $800.000	Hasta $900.000
2.1.5	Mayor que $900.000	Hasta $1.000.000
2.2.1	Mayor que $1.000.000	Hasta $1.200.000
2.2.2	Mayor que $1.200.000	Hasta $1.500.000
3.1.1	Mayor que $1.500.000	Hasta $2.000.000
3.1.2	Mayor que $2.000.000	Hasta $2.500.000
3.2.1	Mayor que $2.500.000	Hasta $3.000.000
3.2.2	Mayor que $3.000.000	Hasta $3.500.000
4.1.1	Mayor que $3.500.000	Hasta $ 4.000.000
4.1.2	Mayor que $4.000.000	Hasta $ 4.500.000
4.1.3	Mayor que $4.500.000	—

Para realizar la georreferenciación de los datos y con base en los datos originales, se realizaron las siguientes clasificaciones: para los datos relacionados con la pendiente, se llevó a cabo una reclasificación para buscar su equivalencia con las fases de pendiente del mapa correlacionado de suelos del IGAC de la siguiente manera (IGAC, 2014):

Dato SIPSA	Clasificación final
Plano	Pendiente 0-7, fases a y b
Plano inclinado	Pendiente 7-12, fase c
Inclinado ondulado	Pendiente 12-25, fase d
Quebrado pendiente	Pendiente mayor al 25, fases e, f y g

Para los datos relacionados con el agua, se realizó una equivalencia con la clasificación de aptitud del mapa de apropiación del agua para la especie *Pinus patula* realizado por el equipo del componente socioecosistémico del grupo de evaluación de tierras de la UPRA (2021) de la siguiente manera:

Dato SIPSA	Clasificación

Con agua	A1, A2
Sin agua	A3

Para realizar la proyección de los datos existentes a todos los municipios que actualmente son productores comerciales forestales, se realizó el vínculo con la información de región, subregión y categoría de ruralidad del DNP (2014). Se buscó proyectar el dato económico del municipio conocido a otros de similares características y comparables con el que tiene la información económica de arriendo, como se muestra a continuación:

Regiones	Subregiones	Categorías de ruralidad
Eje cafetero Caribe Bogotá Centro oriente Centro sur Pacífico Llanos Orientales	Todas para cada región	Rural Rural disperso Intermedios Ciudades y aglomeraciones

Esta proyección se realizó dentro de la frontera agrícola y únicamente para los predios que no tienen ningún tipo de condicionante legal, información que fue tomada del mapa de *clasificación de áreas para el mercado de tierras rurales agropecuarias V10*.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

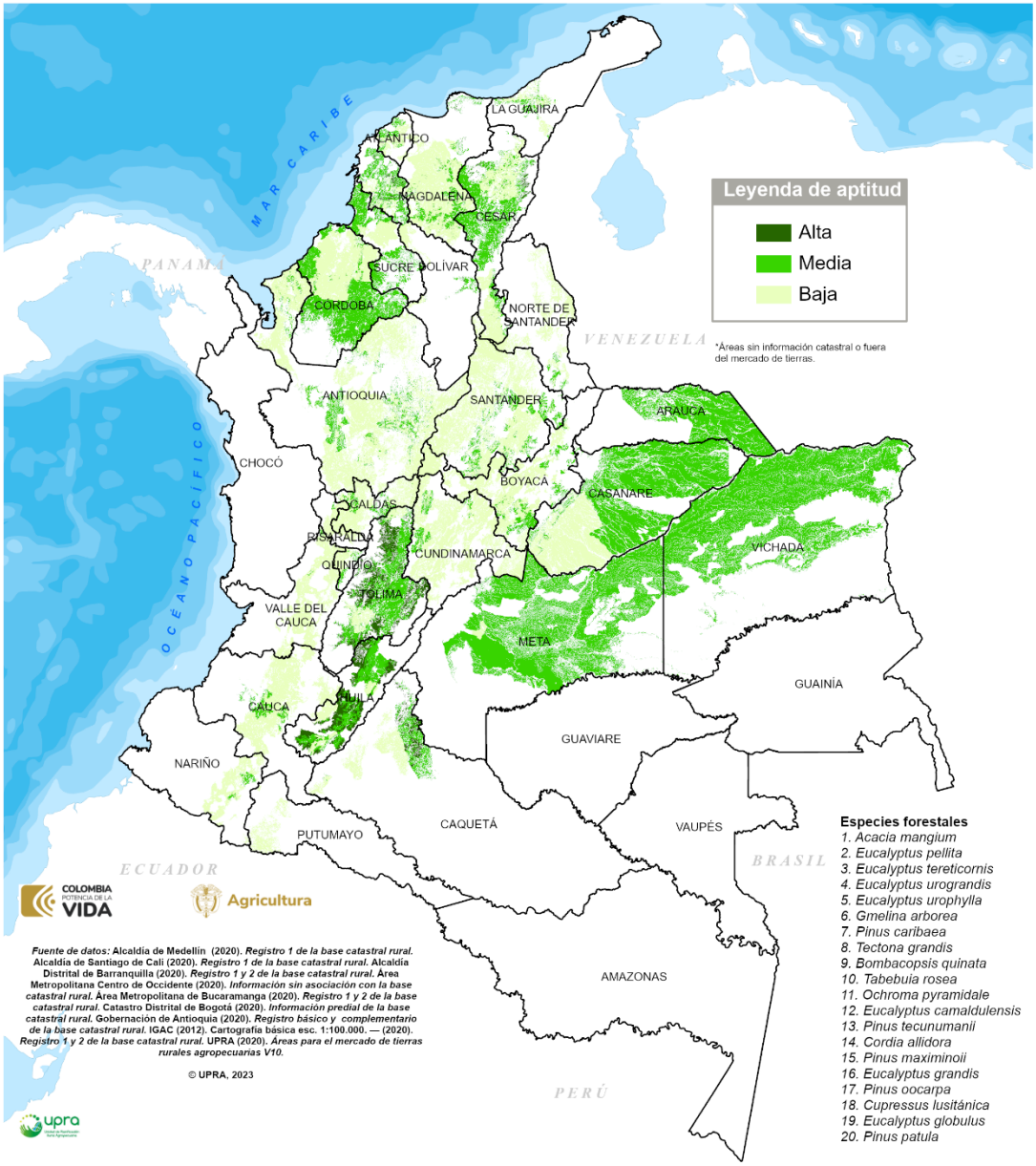
Los rangos para la espacialización de la variable se clasificaron de acuerdo con las categorías de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3), como se puede observar en la siguiente tabla:

Arriendo rural (pesos/ha)	Aptitud
<200.000	Alta (A1)
200.000-600.000	Media (A3)
>600.000	Baja (A3)

Unidad de análisis

Pesos/ha.

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO DINÁMICA DEL MERCADO DE TIERRAS
Variable arriendo rural

Fuentes de información

Congreso de los Estados Unidos de Colombia (1873). *Ley 84 de 1873, Código Civil de los Estados Unidos de Colombia*. Diario Oficial 2.867. Congreso de los Estados Unidos de Colombia.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020). SIPSA: información de insumos y factores asociados a la producción pecuaria. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Departamento Nacional de Planeación (2015). *El campo colombiano: un camino hacia el bienestar y la paz. Misión para la transformación del campo*. Departamento Nacional de Planeación (DNP).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2015). *Estudio nacional del agua 2014*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). https://n9.cl/60t80

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2014). *Atlas climatológico de Colombia: capa de zonas de evapotranspiración potencial, escala 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Mapa de correlación de suelos: fases por pendiente*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (2019). *Frontera agrícola*. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (2020). *Clasificación de áreas para el mercado de tierras rurales agropecuarias V10*. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (2020). *Mapa de la variable apropiación del agua anual para* Pinus patula. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

3.3. Criterio *institucionalidad y asociatividad*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: social		
Criterio: *institucionalidad y asociatividad*		
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Variables asociadas al criterio

Cercanía al ICA, expresada en tiempo de desplazamiento (horas).

Cercanía a las CAR, expresada en tiempo de desplazamiento (horas).

Presencia del gremio, expresada en distancia de predios forestales al gremio

Asociaciones de empresas privadas, expresada en distancia de predios forestales las asociaciones

Cercanía a Agrosavia, expresada en tiempo de desplazamiento (horas).

Definición

Presencia institucional del Estado, de los gremios o de las organizaciones de base de la cadena productiva forestal, cuyo apoyo conduce a la competitividad de una región. Identifica condiciones internas y externas a la cadena cuanto a la oferta institucional y al fortalecimiento y a la consolidación del sector forestal.

Importancia del criterio

Refleja la existencia de oferta institucional público-privada a nivel municipal y la articulación de productores a instancias que facilitan el desarrollo y soporte del sector forestal comercial en el territorio. Una mayor oferta institucional y asociatividad del orden nacional favorecen el acceso a los avances de investigación, el control fitosanitario y el fortalecimiento organizacional del sector. Una mejor oferta institucional pública en infraestructura, asistencia técnica, servicios público-sociales y proyectos productivos ofrecería mejores condiciones para el fortalecimiento del aparato productivo. En conjunto, la oferta nacional y municipal contribuye a mejorar la competitividad de las plantaciones forestales.

Limitantes de la evaluación del criterio

La mayoría de las variables se calcularon con base en isócronas, debido a que es la cercanía la que determina la facilidad de acceso a los servicios que prestan. Sin embargo, tales algoritmos utilizados para la estimación de los tiempos de desplazamiento no incluyen los costos.

Metodología de evaluación

La ponderación del criterio se construyó a partir de la metodología AHP (Analytics Hierarchy Process), condensada en la matriz de comparaciones pareadas de cinco variables, de acuerdo con la siguiente tabla:

Criterio	Variables	*Cercanía al ICA*	*Cercanía a las CAR*	*Presencia del gremio*	*Asociación de empresas privadas*	*Cercanía a Agrosavia*
Institucionalidad y asociatividad	*Cercanía al ICA*	1				
	Cercanía a las CAR	1/3	1			
	Presencia del gremio	1/3	1/3	1		
	Asociación de empresas privadas	1/5	1/5	1/3	1	
	Cercanía a Agrosavia	1/5	1/5	1/5	1/3	1

La escala de importancia dentro del proceso AHP consideró la valoración entre pares de variables, como se expone en la siguiente tabla:

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Sumamente	Muy fuertemente	Fuertemente	Moderadamente	Igualmente	Moderadamente	Fuertemente	Muy fuertemente	Sumamente
Menos importante			**Igual en importancia**		**Más importante**			

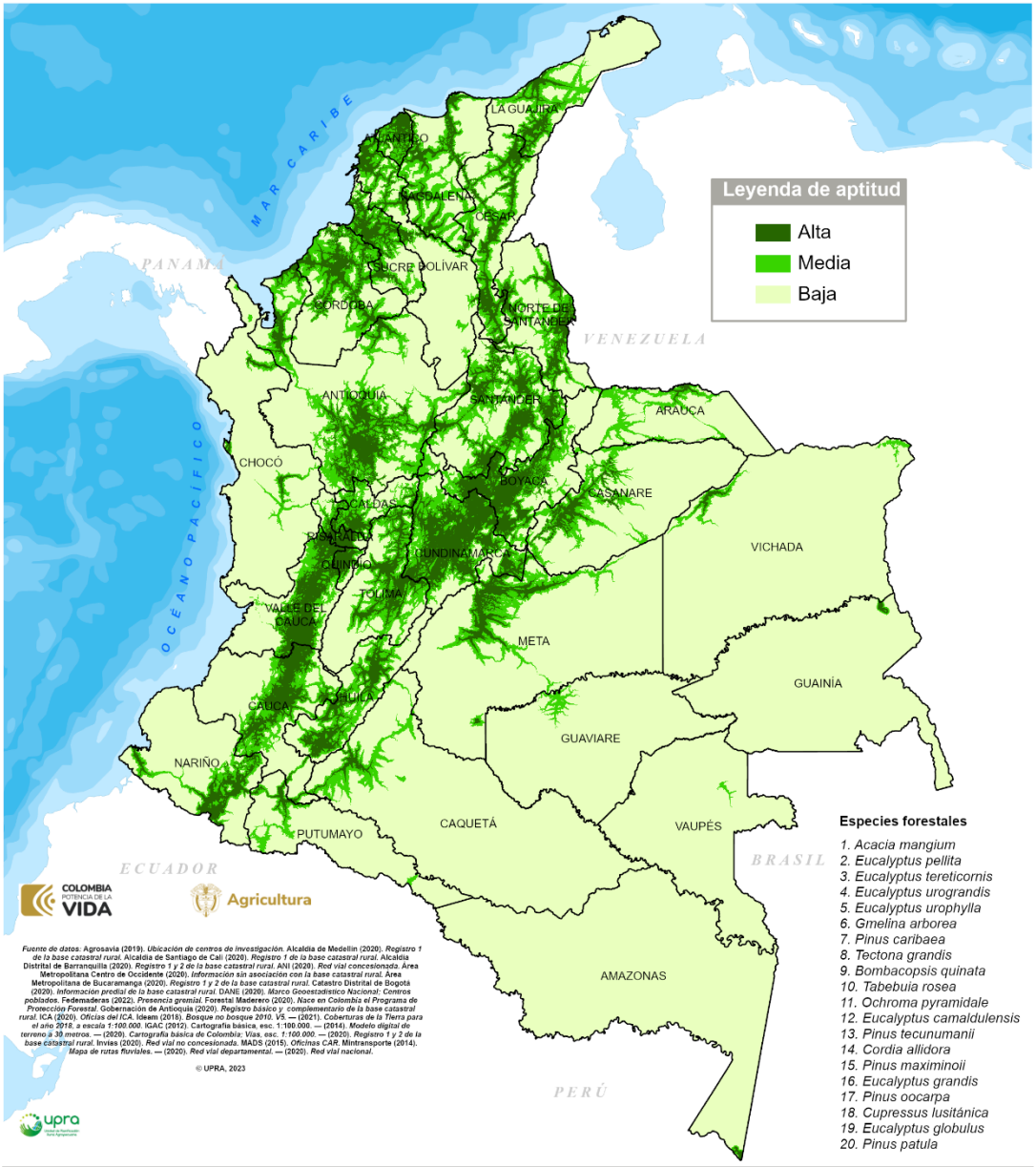
Utilizando el programa PriEsT (Priority Estimation Tool), se calcularon las ponderaciones de cada variable dentro del criterio de acuerdo con la calificación de los municipios y la categorías de aptitud, para cada una de las cuales se asignó el valor de alta (A1), media (A2) y baja (A3), como se muestra a continuación:

Criterio	Variable	Ponderación (%)
Asociatividad e institucionalidad	Cercanía al ICA	43,5
	Cercanía a las CAR	28,0
	Presencia del gremio	16,3
	Asociaciones empresas privadas	7,7
	Cercanía a Agrosavia	4,5
Total de la ponderación		**100**

Rangos para la asignación de valores de aptitud

Variables	Unidad de medida	Aptitud		
		Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)
Cercanía al ICA	Tiempo de desplazamiento (horas)	<1	1-2	>2
Cercanía a las CAR	Tiempo de desplazamiento (horas)	<1	1-2	>2
Presencia del gremio	Distancia de predios forestales al gremio (km)	50	50-100	100-200
Asociaciones empresas privadas	Distancia de predios forestales a las asociaciones (km)	50	50-100	>100
Cercanía a Agrosavia	Tiempo de desplazamiento (horas)	<1	1-2	>2

Representación cartográfica del criterio



CRITERIO INSTITUCIONALIDAD Y ASOCIATIVIDAD

Fuentes de información

Agencia Nacional de Infraestructura (2020). *Red vial concesionaria*. Agencia Nacional de Infraestructura (ANI).

Alcaldía de Medellín (2020). *Registro 1 de la base catastral rural*. Alcaldía de Medellín.

Alcaldía de Santiago de Cali (2020). *Registro 1 de la base catastral rural*. Alcaldía de Santiago de Cali.

Alcaldía Distrital de Barranquilla (2020). *Registro 1 y 2 de la base catastral rural*. Alcaldía Distrital de Barranquilla

Área Metropolitana Centro de Occidente (2020). *Información sin asociación con la base catastral rural*. Alcaldía de Pereira.

Área Metropolitana de Bucaramanga (2020). *Registro 1 y 2 base catastral rural*. Alcaldía de Bucaramanga.

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (2019). *Ubicación de los centros de investigación*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020b). *Marco geoestadístico nacional: centros poblados*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Federación Nacional de Industriales de la Madera (2022). *Presencia gremial*. Federación Nacional de Industriales de la Madera (Fedemaderas).

Forestal Maderero (2020). *Programa de protección forestal*. Forestal Maderero.

Gobernación de Antioquia (2020). *Predial rural Antioquia*. Gobernación de Antioquia.

Instituto Colombiano Agropecuario (2020). *Oficinas del ICA*. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2018). *Bosque no bosque V5 2010*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2021). *Mapa nacional de cobertura de la tierra: metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia, período 2018*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Modelo digital de elevación de 30 metros*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020). *Cartografía básica, vías escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Nacional de Vías (2020). *Red vial no concesionada*. Instituto Nacional de Vías (Invías).

Ministerio de Transporte (2014). *Mapa de rutas fluviales*. Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Ministerio de Transporte (2020). *Red vial departamental y nacional*. Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Unidad Administrativa de Catastro Distrital (2020). *Información predial base catastral rural*. Unidad Administrativa de Catastro Distrital (UACD).

3.3.1. Variable *cercanía al ICA*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: social		
Criterio asociado: *institucionalidad y asociatividad*		
Variable: *cercanía al ICA*	Unidad de medida: *tiempo de desplazamiento (horas)*	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Facilidad con la que se puede alcanzar, desde otros puntos en el territorio, una sede del ICA. La función de esta entidad oficial consiste en elevar el estatus sanitario para mejorar las condiciones de inocuidad de la producción agroalimentaria nacional y aumentar la competitividad de las actividades agropecuarias y forestales.

Importancia de la variable

El Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) contribuye al desarrollo del sector forestal, la prevención, la vigilancia y el control de los riesgos sanitarios, biológicos y químicos para la producción forestal. Los productores con acceso a la asesoría para el manejo, la solicitud de la guía de movilización y control fitosanitario de las plantaciones forestales pueden obtener mayores productividades, lo cual se traduce en una plantación más competitiva.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

El análisis de la variable no presentó límites que calificaran como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

No hubo sedes del ICA cerca de las zonas productoras.

Metodología de procesamiento de la información

Precisión de la información

La metodología de isócronas empleada por la UPRA es una herramienta técnica a través de la cual se calculó el tiempo de desplazamiento sobre los ejes viales, como vías pavimentadas, carreteras con dos o más carriles, carreteras angostas, vías sin pavimentar, carreteras o senderos, cuyas pendientes fueron medidas por el método de elevación digital de 30 metros. Así mismo, se midió su influencia en la velocidad y los tramos navegables fluviales que existían para el año 2014. Los tipos de vías terrestres empleadas en el algoritmo de isócronas fueron los siguientes:

Tipo 1: pavimentada, carretera de dos o más carriles transitable todo el año.

Tipo 2: sin pavimentar, carretera de dos o más carriles transitable todo el año.

Tipo 3: pavimentada, carretera angosta transitable todo el año.

Tipo 4: sin pavimentar, carretera angosta transitable todo el año.

Tipo 5: sin pavimentar, transitable en tiempo seco.

Tipo 6: sin afirmado, transitable en tiempo seco.

Análisis de la consistencia y preparación de la información

Para el cálculo de las isócronas, se consideró la ubicación de las sedes del ICA.

Clasificación por aptitud

Los puntos de corte para establecer los rangos de aptitud se definieron con base en los tiempos de desplazamiento a la sede del ICA, considerando que a mayor distancia se reduce la posibilidad de acceder a una sede de la entidad oficial, así: con *aptitud alta* (A1), las sedes del ICA cuyo desplazamiento toma menos de una hora; con *aptitud media* (A2), las sedes del ICA cuyo desplazamiento toma entre una y dos horas; y con *aptitud baja* (A3), las sedes del ICA cuyo desplazamiento toma más de dos horas.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

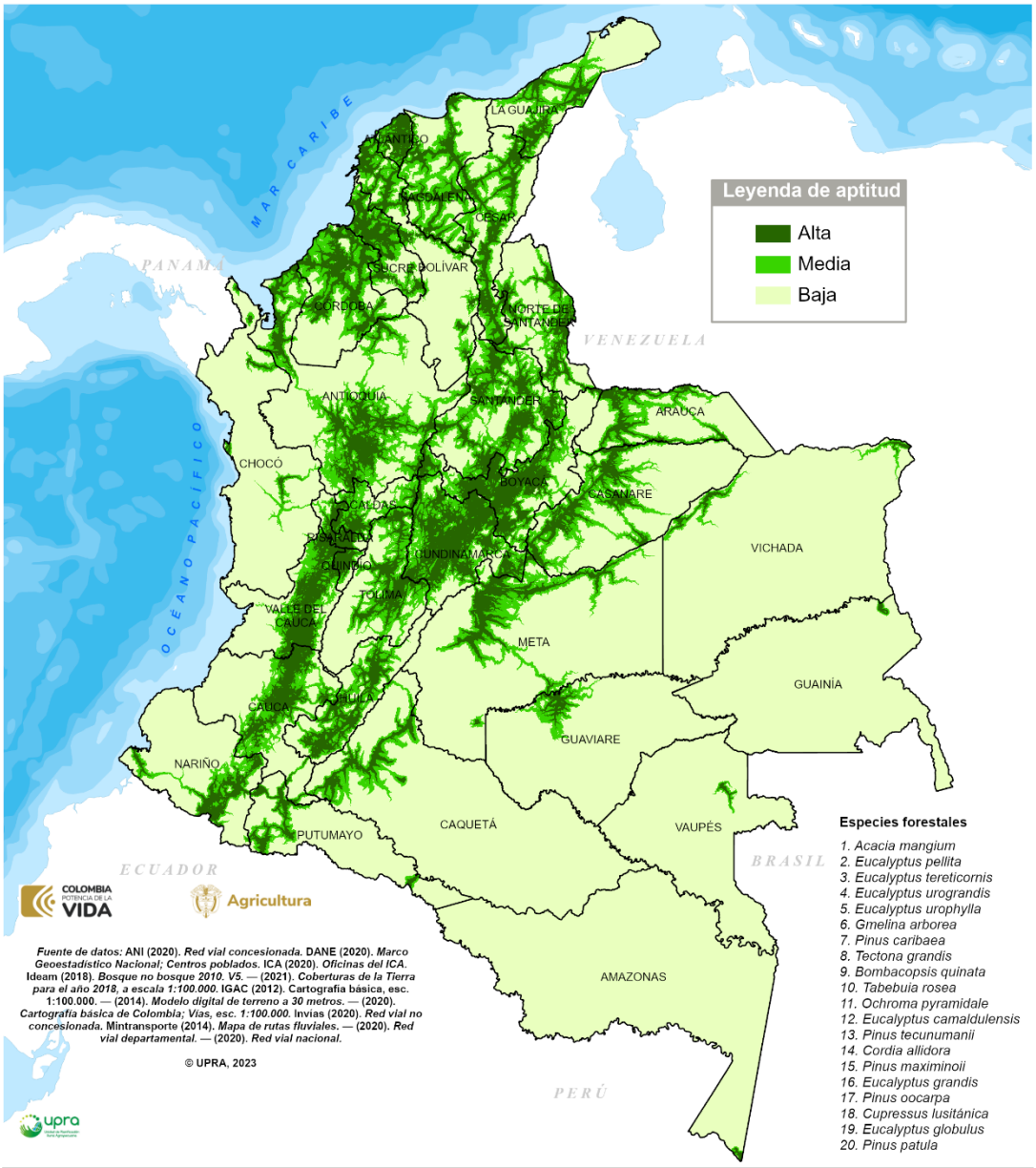
Los rangos para la espacialización de la variable se clasificaron de acuerdo con las categorías de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3), como se establece en la tabla de abajo:

Tiempo de desplazamiento (horas)	Aptitud
<1	Alta (A1)
1-2	Media (A2)
>2	Baja (A3)

Unidad de análisis

Tiempo de desplazamiento (horas).

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO INSTITUCIONALIDAD Y ASOCIATIVIDAD
Variable cercanía al ICA

Fuentes de información

Agencia Nacional de Infraestructura (2020). *Red vial concesionaria*. Agencia Nacional de Infraestructura (ANI).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020b). *Marco geoestadístico nacional: centros poblados*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2018). *Bosque no bosque V5 2010*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2021). *Mapa nacional de cobertura de la tierra: metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia, período 2018*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Modelo digital de elevación de 30 metros*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020). *Cartografía básica, vías escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Nacional de Vías (2020). *Red vial no concesionada*. Instituto Nacional de Vías (Invías).

Ministerio de Transporte (2014*). Mapa de tramos fluviales navegables*. Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Ministerio de Transporte (2020). *Red vial departamental y nacional*. Ministerio de Transporte (Mintransporte).

3.3.2. Variable *cercanía a las CAR*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: social		
Criterio asociado: *institucionalidad y asociatividad*		
Variable: *cercanía a las CAR*	Unidad de medida: tiempo de desplazamiento (horas)	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Facilidad con la que se puede alcanzar, desde otros puntos en el territorio, una oficina de la autoridad ambiental regional. El productor forestal debe contar con la concesión de agua, superficial o subterránea, y con las autorizaciones, que son competencia de las CAR de acuerdo con la Ley 99 de 1993.

Importancia de la variable

Incide en la percepción de los agentes económicos sobre la oferta institucional al facilitar la formalización de las plantaciones forestales existentes y el establecimiento de nuevos proyectos forestales bajo la norma que promueve el uso sostenible de los recursos naturales.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

El análisis de la variable no presentó límites que se calificaran como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

Aunque las CAR se encuentran en todo el país, el procesamiento de esta variable mediante isócronas refleja la cercanía de las plantaciones forestales a las sedes principales u oficinas en las que se llevan a cabo las solicitudes de las plantaciones ante las autoridades ambientales.

Metodología de procesamiento de la información

Precisión de la información

La metodología de isócronas empleada por la UPRA es una herramienta técnica a través de la cual se calculó el tiempo de desplazamiento sobre los ejes viales, como vías pavimentadas, carreteras con dos o más carriles, carreteras angostas, vías sin pavimentar, carreteras o senderos, cuyas pendientes fueron medidas por el método de elevación digital de 30 metros. Así mismo, se midió su influencia en la velocidad y los tramos navegables fluviales que existían para el año 2014. Los tipos de vías terrestres empleadas en el algoritmo de isócronas fueron los siguientes:

Tipo 1: pavimentada, carretera de dos o más carriles transitable todo el año.

Tipo 2: sin pavimentar, carretera de dos o más carriles transitable todo el año.

Tipo 3: pavimentada, carretera angosta transitable todo el año.

Tipo 4: sin pavimentar, carretera angosta transitable todo el año.

Tipo 5: sin pavimentar, transitable en tiempo seco.

Tipo 6: sin afirmado, transitable en tiempo seco.

Análisis de la consistencia y preparación de la información

Para el cálculo de las isócronas, se consideró la ubicación de las sedes de las CAR.

Clasificación por aptitud

Los puntos de corte para establecer los rangos de aptitud se definieron con base en los tiempos de desplazamiento a la sede de la CAR, considerando que a mayor distancia se reduce la posibilidad de acceder a la sede, así: con *aptitud alta* (A1), las sedes de las CAR cuyo desplazamiento toma menos de una hora; con *aptitud media* (A2), las sedes de las CAR cuyo desplazamiento toma entre una y dos horas; y con *aptitud baja* (A3), las sedes de las CAR cuyo desplazamiento toma más de dos horas.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

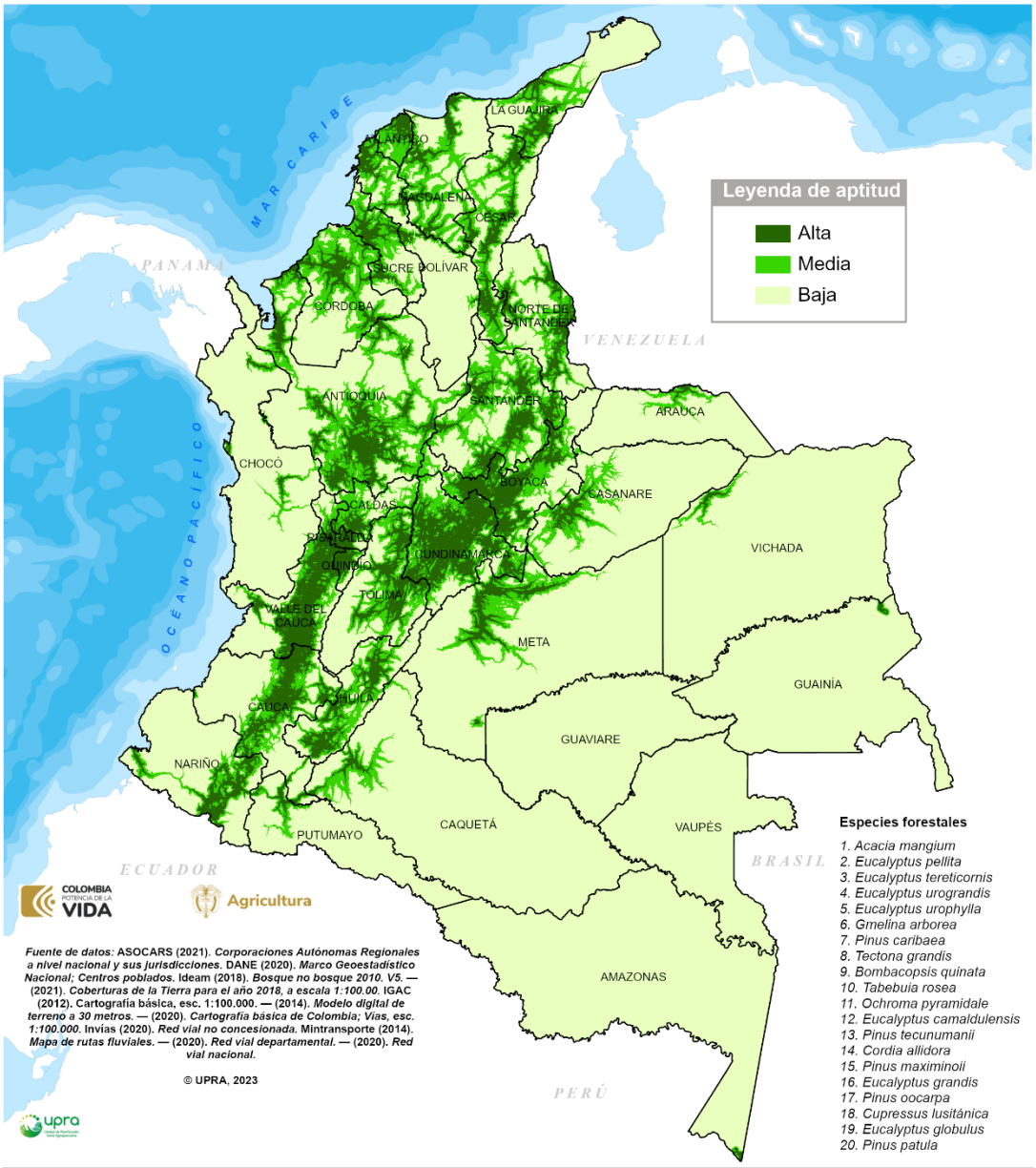
Los rangos para la espacialización de las variables se clasificaron de acuerdo con las categorías de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3), como se muestra a continuación:

Tiempo de desplazamiento (horas)	Aptitud
<1	Alta (A1)
1-2	Media (A2)
>2	Baja (A3)

Unidad de análisis

Tiempo de desplazamiento (horas).

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO INSTITUCIONALIDAD Y ASOCIATIVIDAD
Variable cercanía a las CAR

Fuentes de información

Agencia Nacional de Infraestructura (2020). *Red vial concesionaria*. Agencia Nacional de Infraestructura (ANI).

Asociación de Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible (2021). *Corporaciones autónomas regionales a nivel nacional y sus jurisdicciones*. Asociación de Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible (Asocars).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020b). *Marco geoestadístico nacional: centros poblados*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Instituto Colombiano Agropecuario (2020). *Ubicación sedes puntos de servicio al ganadero ICA*. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2018). *Bosque no bosque V5 2010*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2021). *Mapa nacional de cobertura de la tierra: metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia, período 2018*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Modelo digital de elevación de 30 metros*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020). *Cartografía básica, vías escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Nacional de Vías (2020). *Red vial no concesionada*. Instituto Nacional de Vías (Invías).

Ministerio de Transporte (2014*). Mapa de rutas fluviales*. Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Ministerio de Transporte (2020). *Red vial departamental y nacional*. Ministerio de Transporte (Mintransporte).

3.3.3. Variable *presencia del gremio*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: social		
Criterio asociado: *institucionalidad y asociatividad*		
Variable: *presencia del gremio*	Unidad de medida: distancia de predios al gremio	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Facilidad con la que se puede alcanzar, desde otros puntos del territorio, una sede de Fedemaderas y los puntos de atención en las zonas con plantaciones forestales. Es la presencia e influencia de organizaciones gremiales o de base del sector.

Importancia de la variable

Incide en la percepción de los agentes económicos respecto de la institucionalidad sectorial presente. Fedemaderas es el gremio de orden nacional que representa a los productores forestales del país, pues permite orientar el mejoramiento del nivel de vida de los productores que laboran en el sector forestal en el territorio colombiano para hacer competitiva y rentable la actividad, defender los intereses colectivos y contribuir al desarrollo tecnológico, social, comercial y ambiental del sector rural nacional.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

En el análisis de la variable, no se presentaron límites que se calificaran como no aptos (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

Fedemaderas no cuenta con presencia de sedes físicas en todo el territorio colombiano, por lo cual el análisis se presenta en torno al lugar donde se reporta la prestación del servicio de la agremiación.

Metodología de procesamiento de la información

Precisiones de la información

Se utilizó un *buffer* como herramienta espacial para realizar los geoprocesos en la entidad física o la presencia del gremio con los funcionarios que habitan en los municipios, lo que generó áreas de cobertura a una distancia específica de puntos de localización. Fedemaderas cuenta con dos sedes físicas ubicadas en Bogotá y Medellín, y con colaboradores que están en los municipios con plantaciones forestales, como muestra la siguiente tabla:

Departamento	Municipio
Atlántico	Barranquilla
Bolívar	Cartagena
Boyacá	Tunja
Caldas	Manizales
Casanare	Yopal
Cauca	Popayán
Cesar	Valledupar
Chocó	Quibdó
Córdoba	Montería
Huila	Neiva
Magdalena	Santa Marta
Meta	Villavicencio
Nariño	Pasto
Quindío	Armenia
Risaralda	Pereira
Santander	Bucaramanga
Sucre	Sincelejo
Tolima	Ibagué
Valle del Cauca	Cali
Vichada	Puerto Carreño

Análisis de la consistencia y preparación de la información

Para la construcción del *buffer*, se seleccionaron los predios forestales que se encuentran a una distancia que oscila entre 500 y 1000 metros a las vías que conducen a las cabeceras municipales donde se encuentran los funcionarios o las sedes de Fedemaderas. Luego, se establecieron los *buffers* en kilómetros de estas vías a las cabeceras municipales.

Clasificación de los municipios por aptitud competitiva

Al realizar el procedimiento para la variable, el resultado fueron tres agrupamientos, a los que se le asignó la calificación de aptitud, de modo que los rangos quedaron definidos de la siguiente manera: con *aptitud alta* (A1), los predios cercanos a las vías con *buffer* de 50 kilómetros; con *aptitud media* (A2), los predios cercanos a las vías entre 50 y 100 kilómetros; y con *aptitud baja* (A3), los predios cercanos a las vías entre 100 y 200 kilómetros.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

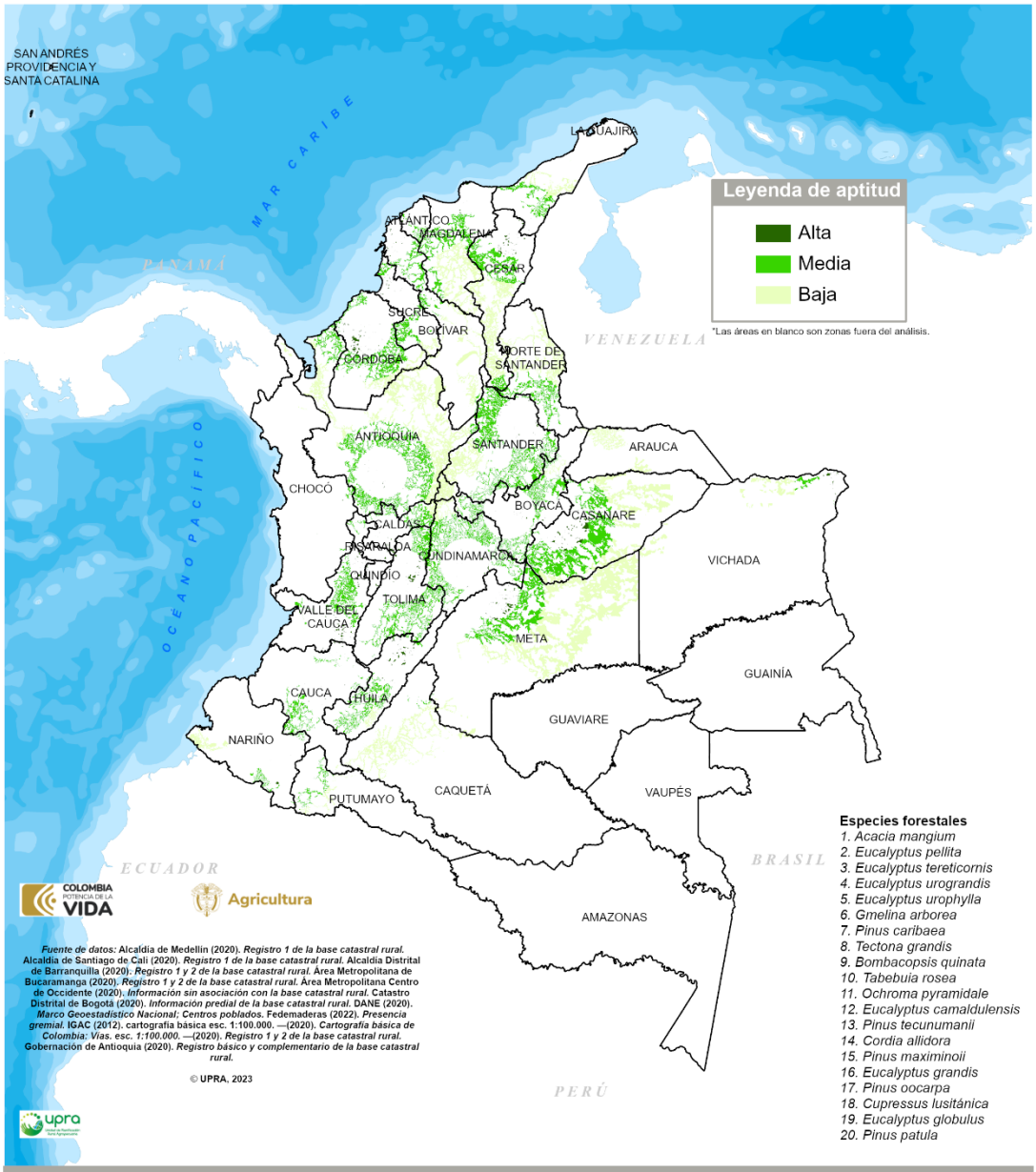
Los rangos para la espacialización de la variable se clasificaron de acuerdo con las categorías de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3), como se expone en la siguiente tabla:

Distancia desde los predios al gremio (km)	Aptitud
50	Alta (A1)
50-100	Media (A2)
100-200	Baja (A3)

Unidad de análisis

Distancia desde los predios al gremio.

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO INSTITUCIONALIDAD Y ASOCIATIVIDAD
Variable presencia del gremio

Fuentes de información

Alcaldía de Medellín (2020). *Registro 1 de la base catastral rural*. Alcaldía de Medellín.

Alcaldía de Santiago de Cali (2020). *Registro 1 de la base catastral rural*. Alcaldía de Santiago de Cali.

Alcaldía Distrital de Barranquilla (2020). *Registro 1 y 2 de la base catastral rural*. Alcaldía Distrital de Barranquilla.

Área Metropolitana Centro de Occidente (2020). *Información sin asociación con la base catastral rural*. Alcaldía de Pereira.

Área Metropolitana de Bucaramanga (2020). *Registro 1 y 2 base catastral rural*. Alcaldía de Bucaramanga.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020b). *Marco geoestadístico nacional: centros poblados*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Federación Nacional de Industriales de la Madera (2022). *Presencia gremial*. Federación Nacional de Industriales de la Madera (Fedemaderas).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020a). *Cartografía básica, vías escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020b). *Registros 1 y 2 de la base catastral rural*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Gobernación de Antioquia (2020). *Predial rural Antioquia*. Gobernación de Antioquia.

3.3.4. Variable *asociaciones de empresas privadas*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: social		
Criterio: *institucionalidad y asociatividad*		
Variable: *asociaciones de empresas privadas*	Unidad de medida: distancia de predio a las asociaciones (km)	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Mecanismo de vinculación de capital privado para llevar a cabo investigaciones en temas forestales, principalmente, fitosanitarios.

Importancia de la variable

Busca resolver necesidades de los reforestadores, generar una cultura fitosanitaria en el sector forestal y articular actores de la cadena forestal. Cuenta con las líneas estratégicas, como capacitaciones, asistencia técnica, investigación aplicada, sistemas de monitoreo, alertas tempranas, servicios de extensión y servicios de laboratorio de sanidad vegetal.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

En el análisis de la variable, no se presentaron límites que se calificaran como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

El inventario de las asociaciones de las empresas privadas pueden cambiar en el tiempo.

Metodología de procesamiento de la información

Precisiones de la información

Se utilizó un *buffer* como herramienta espacial para realizar geoprocesos en la entidad física o la presencia del gremio mediante los funcionarios que habitan en los municipios, lo que generan áreas que están dentro de los parámetros establecidos a una distancia específica de puntos de localización. Las siguientes empresas hacen parte del programa de protección forestal: Reforestadora El Guasimo SAS, Cipreses S.A., Agroindustrias Santa Inés SAS, Tablemac-Duratex, Forestal Río Grande, Smurfit Kappa, EPM, Universidad de Medellín y la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. La siguiente tabla presenta los núcleos forestales con su respectiva ubicación:

Departamento	Municipios
Antioquia	Caldas, Medellín (San Antonio de Prado), Santa Rosa de Osos, Yarumal, Angostura, Amalfi, Vegachí, Yolombó
Caldas	Pacora
Bolívar	San Juan de Nepomuceno, San Jacinto
Santander	Puerto Parra

Análisis de la consistencia y preparación de la información

Para la construcción del *buffer*, se seleccionaron los predios forestales que se encuentran a una distancia que oscila entre 500 y 1000 metros a las vías que conducen a las cabeceras municipales donde se encuentran los funcionarios o empresas. Luego, se establecieron los buffers en kilómetros de estas vías a las cabeceras municipales.

Clasificación por aptitud competitiva

Al realizar el procedimiento para la variable, el resultado fueron tres agrupamientos, a los que se les asignó la calificación de aptitud, de modo que los rangos quedaron definidos de la siguiente manera: con *aptitud alta* (A1), los predios cercanos a las vías con *buffer* de 50 kilómetros; con *aptitud media* (A2), los predios cercanos a las vías entre 50 y 100 kilómetros; y con *aptitud baja* (A3), los predios cercanos a las vías entre 100 y 200 kilómetros.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

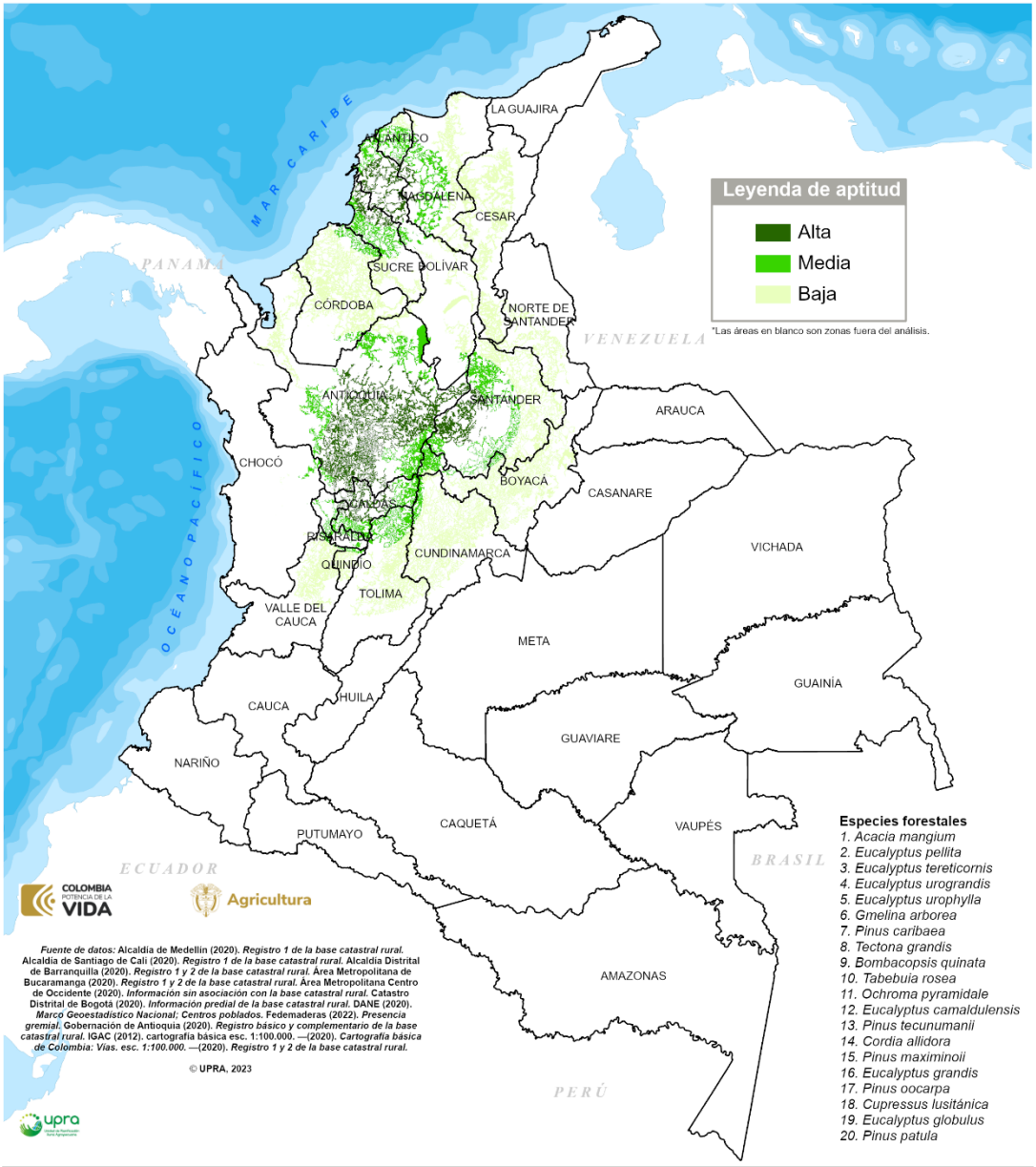
Los rangos para la espacialización de las variables se clasificaron de acuerdo con las categorías de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3), como se puede observar en la siguiente tabla:

Distancia del predio a la asociación (km)	Aptitud
50	Alta (A1)
50-100	Media (A2)
100-200	Baja (A3)

Unidad de análisis

Distancia de los predios a las asociaciones.

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO INSTITUCIONALIDAD Y ASOCIATIVIDAD
Variable asociación de empresas privadas

Fuentes de información

Alcaldía de Medellín (2020). *Registro 1 de la base catastral rural*. Alcaldía de Medellín.

Alcaldía de Santiago de Cali (2020). *Registro 1 de la base catastral rural*. Alcaldía de Santiago de Cali.

Alcaldía Distrital de Barranquilla (2020). *Registro 1 y 2 de la base catastral rural*. Alcaldía Distrital de Barranquilla.

Área Metropolitana de Bucaramanga (2020). *Registro 1 y 2 base catastral rural*. Alcaldía de Bucaramanga.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020b). *Marco geoestadístico nacional: centros poblados*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Forestal Maderero (2020). *Programa de protección forestal*. Forestal Maderero.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020a). *Cartografía básica, vías escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020b). *Registros 1 y 2 de la base catastral rural*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Gobernación de Antioquia (2020). *Predial rural Antioquia*. Gobernación de Antioquia.

3.3.5. Variable *cercanía a Agrosavia*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: social		
Criterio: *institucionalidad y asociatividad*		
Variable: *cercanía a Agrosavia*	Unidad de medida: tiempo de desplazamiento (horas)	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Facilidad con la que se puede alcanzar desde otros puntos en el terriorio un centro de Agrosavia. La función de esta entidad consiste en desarrollar y ejecutar actividades de investigación, tecnología y transferencia de procesos de innovación tecnológica agropecuaria.

Importancia de la variable

Incide en la percepción de los agentes económicos sobre la oferta institucional de innovación y transferencia de conocimiento y tecnologías para la competitividad de las plantaciones forestales. A mayor cercanía de una sede de Agrosavia, mayor probabilidad de brindar a los agentes económicos alternativas tecnológicas para los procesos productivos. Posibilita el acceso a conocimientos y tecnologia en investigaciones forestales y servicios de la corporación.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

El análisis de la variable no presentó límites que se calificaran como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

La cobertura de Agrosavia es nacional, por lo que los puntos de referencia de las sedes limitó el análisis de la variable.

Metodología de procesamiento de la información

Precisión de la información

La metodología de isócronas empleada por la UPRA es una herramienta técnica a través de la cual se calculó el tiempo de desplazamiento sobre los ejes viales, como vías pavimentadas, carreteras con dos o más carriles, carreteras angostas, vías sin pavimentar, carreteras o senderos, cuyas pendientes fueron medidas por el método de elevación digital de 30 metros. Así mismo, se midió su influencia en la velocidad y los tramos navegables fluviales que existían para el año 2014. Los tipos de vías terrestres empleadas en el algoritmo de isócronas fueron los siguientes:

Tipo 1: pavimentada, carretera de dos o más carriles transitable todo el año.

Tipo 2: sin pavimentar, carretera de dos o más carriles transitable todo el año.

Tipo 3: pavimentada, carretera angosta transitable todo el año.

Tipo 4: sin pavimentar, carretera angosta transitable todo el año.

Tipo 5: sin pavimentar, transitable en tiempo seco.

Tipo 6: sin afirmado, transitable en tiempo seco.

Análisis de la consistencia y preparación de la información

Para el cálculo de las isócronas, se consideró la ubicación de las sedes de Agrosavia.

Clasificación por aptitud

Los puntos de corte para establecer los rangos de aptitud se definieron con base en los tiempos de desplazamiento a las sedes de Agrosavia, considerando que a mayor distancia se reduce la posibilidad de acceder a una de ellas, así: con *aptitud alta* (A1), las sedes de Agrosavia cuyo desplazamiento toma menos de una hora; con aptitud media (A2), las sedes de Agrosavia cuyo desplazamiento toma entre una a dos horas; y con *aptitud baja* (A3), las sedes de Agrosavia cuyo desplazamiento toma más de dos horas.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

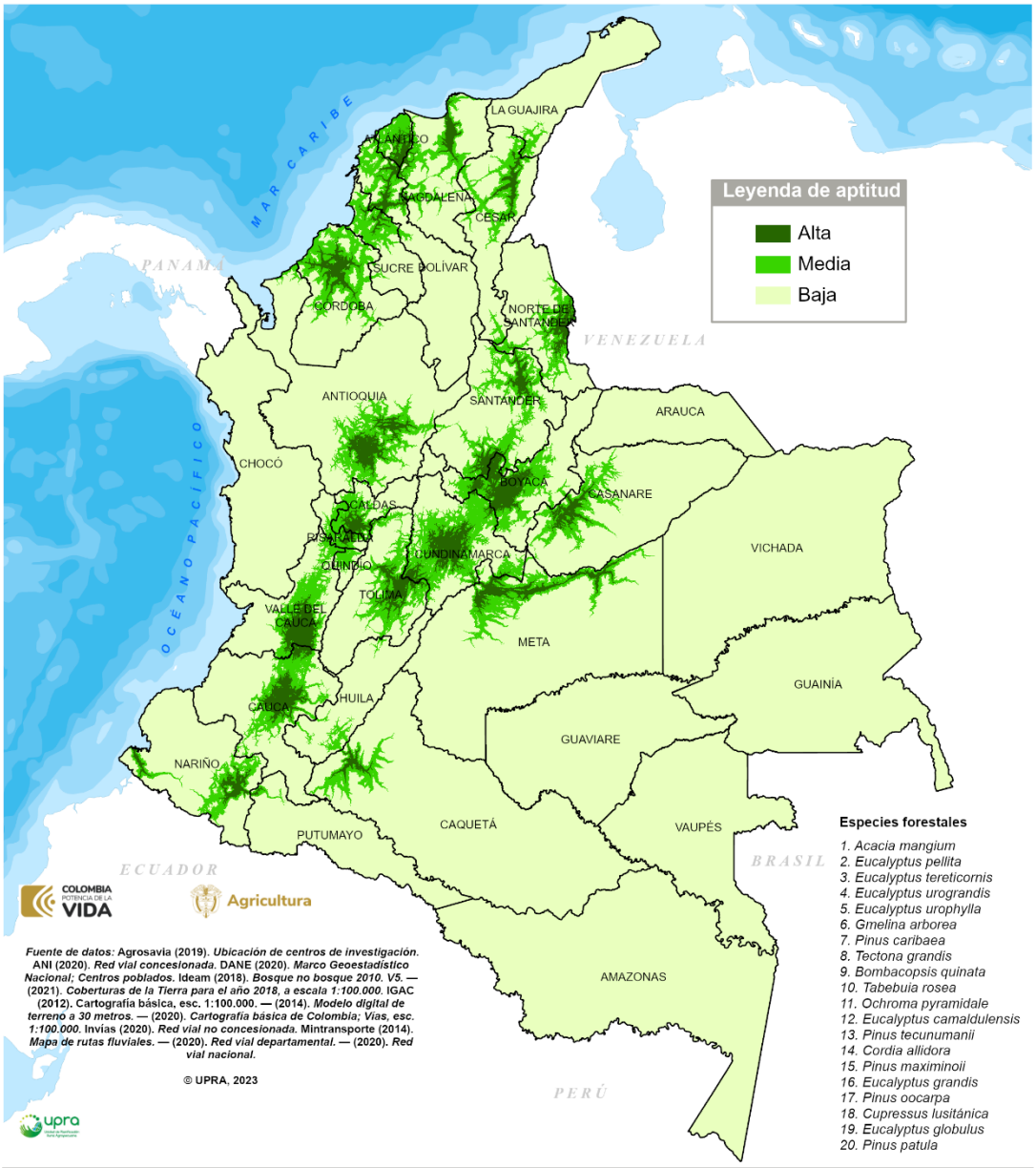
Los rangos para la espacialización de las variables se clasificaron de acuerdo con las categorías de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3), como se muestra a continuación:

Tiempo de desplazamiento (horas)	Aptitud
<1	Alta (A1)
1-2	Media (A2)
>2	Baja (A3)

Unidad de análisis

Tiempo de desplazamiento (horas).

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO INSTITUCIONALIDAD Y ASOCIATIVIDAD
Variable cercanía a Agrosavia

Fuentes de información

Agencia Nacional de Infraestructura (2020). *Red vial concesionaria*. Agencia Nacional de Infraestructura (ANI).

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (2019). *Centros Agrosavia*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020b). *Marco geoestadístico nacional: centros poblados*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2010). *Leyenda nacional de coberturas de la tierra: metodología CORINE Land Cover, adaptada para Colombia, escala 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). https://n9.cl/23v8d

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2018). *Bosque no bosque V5 2010*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Modelo digital de elevación de 30 metros*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Nacional de Vías (2020). *Red vial no concesionada*. Instituto Nacional de Vías (Invías).

Ministerio de Transporte (2014*). Mapa de rutas fluviales.* Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Ministerio de Transporte (2020). *Red vial departamental y nacional*. Ministerio de Transporte (Mintransporte).

3.4. Criterio *disponibilidad de mano de obra*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: social		
Criterio asociado: *disponibilidad de mano de obra*		
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Variables asociadas al criterio

Densidad de la población rural en edad de trabajar, expresada en número de habitantes rurales en edad de trabajar por kilómetro cuadrado.

Oferta educativa técnica y tecnológica, expresada en tiempo de desplazamiento (horas).

Oferta educativa universitaria, expresada en tiempo de desplazamiento (horas).

Definición

Condiciones que afectan la disponibilidad de mano de obra con base en la densidad poblacional a nivel municipal. Tiene en cuenta el nivel de cualificación y las posibilidades de acceso a programas de formación académica, de acuerdo con las necesidades de los productores forestales.

Importancia del criterio

Brinda información sobre la disponibilidad de mano de obra rural de un municipio en función del número de habitantes en edad productiva y sobre la capacidad de dotarlos de habilidades y transferirles conocimientos para desempeñarse en actividades del sector forestal con acceso a programas de formación académica. Esto permite que las unidades productivas forestales incrementen la productividad y la competitividad al implementar procesos técnicos sin estar limitados por la insuficiencia de personal idóneo. Además, permite a los agentes económicos prever y dimensionar el capital humano en un municipio y las posibilidades de especialización, lo cual determina la competitividad de la producción en los territorios.

Limitantes de la evaluación del criterio

La información disponible para determinar la población rural en edad de trabajar correspondió a las proyecciones de población del año 2021 construidas con base en el censo general de población y vivienda del DANE (2018), por distribución etárea y por ubicación entre áreas urbanas o rurales de los municipios. No obstyante, esto limita la capacidad de actualizarse sobre la dinámica demográfica más coyuntural.

La base del Sistema nacional de información de la educación superior (SNIES) proporciona datos sobre la ubicación geográfica no sólo de los programas académicos técnicos, tecnológicos y universitarios, sino también de las sedes autorizadas de impartir la formación. Sin embargo, con las nuevas metodologías de la información y la comunicación, la ubicación real de los estudiantes puede distanciarse de las cabeceras municipales donde están autorizados a funcionar.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

En el análisis de cada una de las variables, ninguna presentó límites que se calificaran como zonas no aptas (N1).

Metodología de procesamiento de la información

La ponderación del criterio se construyó a partir de la metodología AHP (Analytics Hierarchy Process), condensada en la matriz de comparaciones pareadas de tres variables, de acuerdo con la siguiente tabla:

Criterio	Variables	***Densidad de población rural en edad de trabajar***	***Oferta educativa técnica y tecnológica***	***Oferta educativa universitaria***
Disponibilidad de mano de obra	*Densidad de población rural en edad de trabajar*	1		
	Oferta educativa técnica y tecnológica	1/3	1	
	Oferta educativa universitaria	1/5	1/3	1

La escala de importancia dentro del proceso AHP consideró la valoración entre pares de variables, como se muestra en la tabla de abajo:

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Sumamente	Muy fuertemente	Fuertemente	Moderadamente	Igualmente	Moderadamente	Fuertemente	Muy fuertemente	Sumamente
Menos importante				**Igual en importancia**	**Más importante**			

Con el uso del programa PriEsT (Priority Estimation Tool), se calcularon las ponderaciones de cada variable dentro del criterio, de acuerdo con la calificación de los municipios y con las categorías de aptitud, para cada una de las cuales se asignó el valor de alta (A1), media (A2) y baja (A3), como se muestra a continuación:

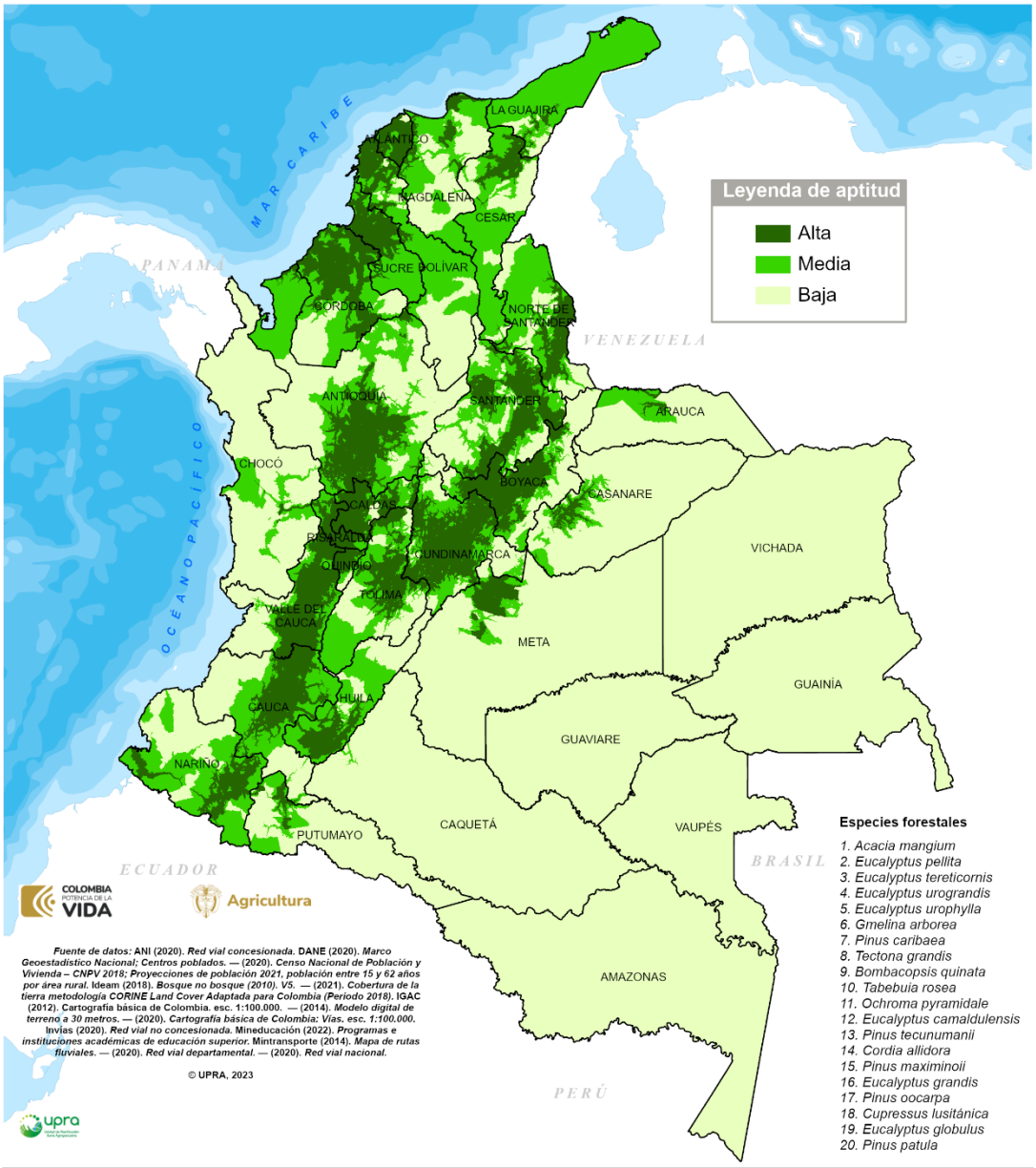
Criterio	Variable	Ponderación (%)
Disponibilidad de mano de obra	*Densidad de poblacional rural en edad de trabajar*	63,7
	Oferta educativa técnica y tecnológica	25,8
	Oferta educativa universitaria	10,5
Total de la ponderación		**100,0**

Rangos para la asignación de valores de aptitud

Para cada categoría se realizó una reclasificación numérica, que consistió en asignar un peso o valor a las categorías de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) para el criterio, como se registra en la tabla siguiente:

Variables	Unidad de medida	Aptitud		
		Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)
Densidad de población rural en edad de trabajar	Número de habitantes rurales en edad de trabajar	>7,07	3,39-7,07	<3,39
Oferta educativa técnica y tecnológica	Tiempo de desplazamiento (horas)	<1	1-2	>2
Oferta educativa universitaria	Tiempo de desplazamiento (horas)	<1	1-2	>2

Representación cartográfica del criterio



CRITERIO DISPONIBILIDAD DE MANO DE OBRA

Fuentes de información

Agencia Nacional de Infraestructura (2020). *Red vial concesionaria*. Agencia Nacional de Infraestructura (ANI).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020a). *Censo nacional de población y vivienda 2018: proyecciones 2021, población entre 15 y 62 años por área rural*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020b). *Marco geoestadístico nacional: centros poblados*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Departamento Nacional de Planeación (2020). *Sistema de Estadísticas Territoriales TerriData*. Departamento Nacional de Planeación (DNP). https://terridata.dnp.gov.co/#/

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2018). *Bosque no bosque V5 2010*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2021). *Leyenda nacional de coberturas de la tierra: metodología CORINE Land Cover, adaptada para Colombia, escala 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). https://n9.cl/23v8d

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Modelo digital de elevación de 30 metros*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020a). *Cartografía básica, vías escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Nacional de Vías (2020). *Red vial no concesionada*. Instituto Nacional de Vías (Invías).

Ministerio de Educación Nacional (2022). *Programas e instituciones académicas de educación superior*. Ministerio de Educación Nacional (Mineducación).

Ministerio de Transporte (2014*). Mapa de tramos fluviales navegables*. Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Ministerio de Transporte (2020). *Red vial departamental y nacional*. Ministerio de Transporte (Mintransporte).

3.4.1. Variable *densidad de la población en edad de trabajar*

Ficha metodológica de variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: social		
Criterio asociado: *disponibilidad de mano de obra*		
Variable: *densidad de la población en edad de trabajar*	Unidad de medida: número de habitantes rurales/km^2	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Número de personas de las zonas rurales de los municipios en edad de trabajar por kilómetro cuadrado frente a las necesidades técnicas del cultivo. Gracias a la disponibilidad de información por edad simple se define el rango etario 15-62 años para medir los habitantes que se consideran en capacidad de trabajar según las series de población proyectadas por el DANE (2021). Este valor se contrasta con las dimensiones físicas del municipio para aproximarse a la densidad poblacional rural en fase productiva de los municipios.

Importancia de la variable

Se estableció una relación directa entre el número de personas en edad de trabajar por kilómetro cuadrado en la zona rural y la aptitud productiva del municipio, puesto que con esta medición se hace una aproximación a la capacidad potencial del suministro de mano de obra ante posibles iniciativas productivas localizadas en el territorio. Los municipios con una mayor población rural en edad de trabajar en un área relativamente pequeña tendrán altos valores en esta variable, lo que permite a los productores y agentes económicos mejores opciones en la disponibilidad de mano de obra y oferta laboral que podrían ser aprovechadas para el desarrollo de las actividades forestales.

Por el contrario, los municipios que tienen bajos niveles de población rural en edad de trabajar y que tienen áreas relativamente grandes tendrán bajos valores en esta variable, lo que reducirá la posibilidad de que los agentes económicos accedan a la mano de obra necesaria para sus iniciativas productivas. Esto hace que los potenciales productores e inversionistas identifiquen las mejores opciones en la oferta laboral según el nivel de intensidad en el uso de este factor productivo por parte de la explotación forestal.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

El análisis de la variable no presentó límites que se calificaran como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

La población rural en edad de trabajar calculada puede diferir de la real, dado que en la información disponible no existe forma de considerar la población dedicada de tiempo completo a su educación o a trabajar en el hogar o que presentan condiciones que limiten la capacidad productiva. Aunque la población en edad de trabajar para las áreas rurales se define por convención estadística desde los 10 años, se decide establecer el rango etario desde los 15 años para excluir población infantil que puede ver vulnerados sus derechos al vincularse muy tempranamente al mercado laboral. Del mismo modo, se estableció como edad máxima los 62 años, edad de retiro para los hombres en el sistema provisional de prima media. Estos supuestos pueden distorsionar la realidad de la oferta laboral en los territorios cuyas poblaciones no contabilizadas desempeñen un papel importante para la producción forestal.

Además, no fue posible distinguir los individuos que no ofrecen su fuerza laboral por vivir de rentas o pertenecer a un régimen pensional que en su fase productiva les permita recibir ingresos sin ofrecer mano de obra. Más limitante resulta en la explotación forestal no poder establecer el nivel de interés real de los individuos de vincularse al sistema productivo como opción productiva de vida. La distinción urbana y rural de la población por residencia no excluye la posibilidad de que ofrezcan su capacidad productiva en la zona rural cuando viven en el casco urbano, o que, viviendo en la zona rural, se desplacen al casco urbano para trabajar (*conmutación*), incluso con la posibilidad de un desplazamiento a otro municipio cercano. Las áreas territoriales utilizadas para la estimación de la densidad espacial son muy sensibles a los territorios excluidos tanto de la frontera agrícola nacional como de otras limitaciones y condicionantes físicas y legales, por lo que, aunque se supone una distribución homogénea de la población rural en edad de trabajar dentro del territorio municipal, en la mayoría de los casos el supuesto no se cumple.

Metodología de procesamiento de la información

Precisiones de la Información

La fuente para estimar la población en edad de trabajar ($PET_{15\text{-}62}$) rural fueron las proyecciones de población municipal para el año 2021 por área, sexo y edad, con base en el censo nacional de población y vivienda del DANE (2018). La información consideró hombres y mujeres entre 15 y 62 años, habitantes de centros poblados y áreas rurales dispersas, lo cual se sumó para estimar la población municipal rural en edad de trabajar. Este resultado se dividió en el área territorial del municipio reportada por el DANE y consolidada por el DNP en el portal TerriData.

Análisis de la consistencia y preparación de la información

Se realizó un análisis de consistencia en la que se observó la disponibilidad de información para todos los municipios del país y se ordenó de mayor a menor para determinar el mejor método estadístico de agrupamiento. Siguiendo la metodología de evaluación de tierras, se evaluó la existencia de datos atípicos mediante el criterio de Tukey, que consiste en señalar como atípico el dato cuyo rango intercuartílico se encuentra 1,5 veces el por encima del tercer cuartil o por debajo del primer cuartil. Es decir, un dato es atípico si se encuentra por fuera del siguiente intervalo:

$$[Q_1 - 1{,}5 * RI, Q_3 + 1{,}5 * RI]$$

donde Q_1 y Q_3 son el primer y tercer cuartil de la distribución de los datos, respectivamente, y RI, el rango intercuartílico que corresponde a la diferencia $Q_3 - Q_1$. Dado que más del 5 % corresponde a datos atípicos, la decisión consistió en utilizar el método *k*-medias.

Clasificación de los municipios por aptitud competitiva

Para definir los rangos de aptitud se estableció un punto de corte inicial definido por el requerimiento de mano de obra por hectárea para las plantaciones forestales, en los que se evaluó la información agroeconómica de Finagro para la especie *Eucalyptus pellita* el 2020, cuyas referencias territoriales fueron Puerto Carreño, La primavera, Puerto López y Puerto Gaitán. En este documento se estimaron los costos anuales de mano de obra por hectárea en el año 1 ($1.872.000); año 2 ($540.000); año 3 ($396.000); años 4 y 5 ($180.000); año 6 ($468.000); años 7-11 ($180.000); y año 12 ($900.000). Estos valores se construyeron suponiendo un valor de jornal de $72.000, lo que indica unos jornales por hectárea para cada año mencionado. El mayor número de jornales implícitos fue para el año 1, en el que se asume $1.872.000/$72.000 = 26 jornales al año por hectárea forestal como máximo requerimiento anual de mano de obra. La relación de jornales día por hectárea sería de 26/365 = 0,07123, lo que implica un requerimiento de mano de obra de 7,123 personas por kilómetro cuadrado.

La información se tradujo a kilómetros cuadrados para estimar que la producción forestal demanda 7,123 personas por kilómetro cuadrado, lo que significa que genera un trabajo por cada 14,03 hectáreas, valor muy cercano a los obtenidos en entrevistas de productores forestales en las salidas de campo. Este punto de corte determinó los municipios con *aptitud alta* (A1) con mayor densidad y sobre ellos se esperan mejores condiciones de oferta de mano de obra rural. Para estimar los rangos con *aptitud media* (A2) y *aptitud baja* (A3), se utilizaron agrupamientos de las variables socioeconómicas para utilizar el método de *k*-medias.

El algoritmo *k*-medias, como otros métodos de agrupamiento, parte de una función de aprendizaje no supervisado en el que no existen clases predefinidas y cuyos resultados están fuertemente determinados por el conjunto de datos disponibles y las medidas de similitud o distancia utilizadas para comparar datos. Con ello, se busca minimizar la distancia intraclústeres y maximizar la distancia interclústeres, partiendo de la distancia como medida de similitud. Si *d* (*i, j*) es mayor a *d* (*i, k*) significa que el objeto *i* es más parecido a *k* que a *j*. El método *k*-medias, desarrollado por MacQueen en el año 1967, se basó en un único parámetro (número de grupos), definido, en este caso, en 2 para las aptitudes media (A2) y baja (A3). Por tratarse de un agrupamiento univariado, no estuvo sesgado por el orden de presentación inicial de los datos. Los pasos para la estimación del clúster *k*-medias fueron los siguientes:

a) Se ordenaron los datos de mayor a menor o de menor a mayor, según la incidencia del fenómeno socioeconómico en estudio y la supuesta relación con los niveles de aptitud para la cadena productiva.

b) El total de datos disponibles se dividió en dos grupos. Luego, se calculó el centroide —centro geométrico del clúster—, base para la construcción de la variable objetivo, que fue la distancia. El centroide que se propuso fue el promedio aritmético de cada agrupamiento.

c) Dado que el algoritmo *k*-medias busca minimizar la distancia interna —es decir, la suma de las distancias de los datos de su centroide—, se calculó para cada dato el cuadrado de las diferencias con los centroides de los clústeres inicialmente calculados (dos) y se sumaron los valores para todos los datos del clúster.

d) Se asignó cada elemento al clúster, cuyo dato fuera el mínimo de los dos posibles, y se recalcularon los centroides con los nuevos agrupamientos.

e) Iterativamente, se fueron actualizando los centroides en función de las asignaciones de puntos a clúster hasta que los centroides dejaron de cambiar.

Como parte del mismo proceso, el procedimiento *k*-medias considera una fase de validación, que consiste en evaluar la existencia de los clústeres que sólo están integrados por datos extremos (*outliers*); comparar dos conjuntos de clústeres alternativos evaluando la consistencia con los fenómenos socioeconómicos; y comparar los resultados de los agrupamientos con los derivados de otras técnicas de agrupamiento para determinar si los resultados están describiendo el fenómeno socioeconómico en estudio.

La validación se puede desarrollar por criterios tanto internos como externos que aporten información adicional, como los relacionados con la entropía y la pureza; o por criterios internos generados a partir de los propios datos, como la suma de los cuadrados de las distancias al interior y entre cada clúster (cohesión y separación). Así pues, al realizar el procedimiento para la variable *densidad de la población rural en edad de trabajar*, resultaron tres grupos, a los que se les asignó la calificación de aptitud y cuyos rangos quedaron definidos de la siguiente manera: con *aptitud alta* (A1), los municipios con más de 7,07 habitantes rurales en edad de trabajar por kilómetro cuadrado: con *aptitud media* (A2), los municipios con entre 3,39 y 7,07 habitantes rurales en edad de trabajar por kilómetro cuadrado; y con *aptitud baja* (A3), los municipios con menos de 3,39 habitantes rurales en edad de trabajar por kilómetro cuadrado.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

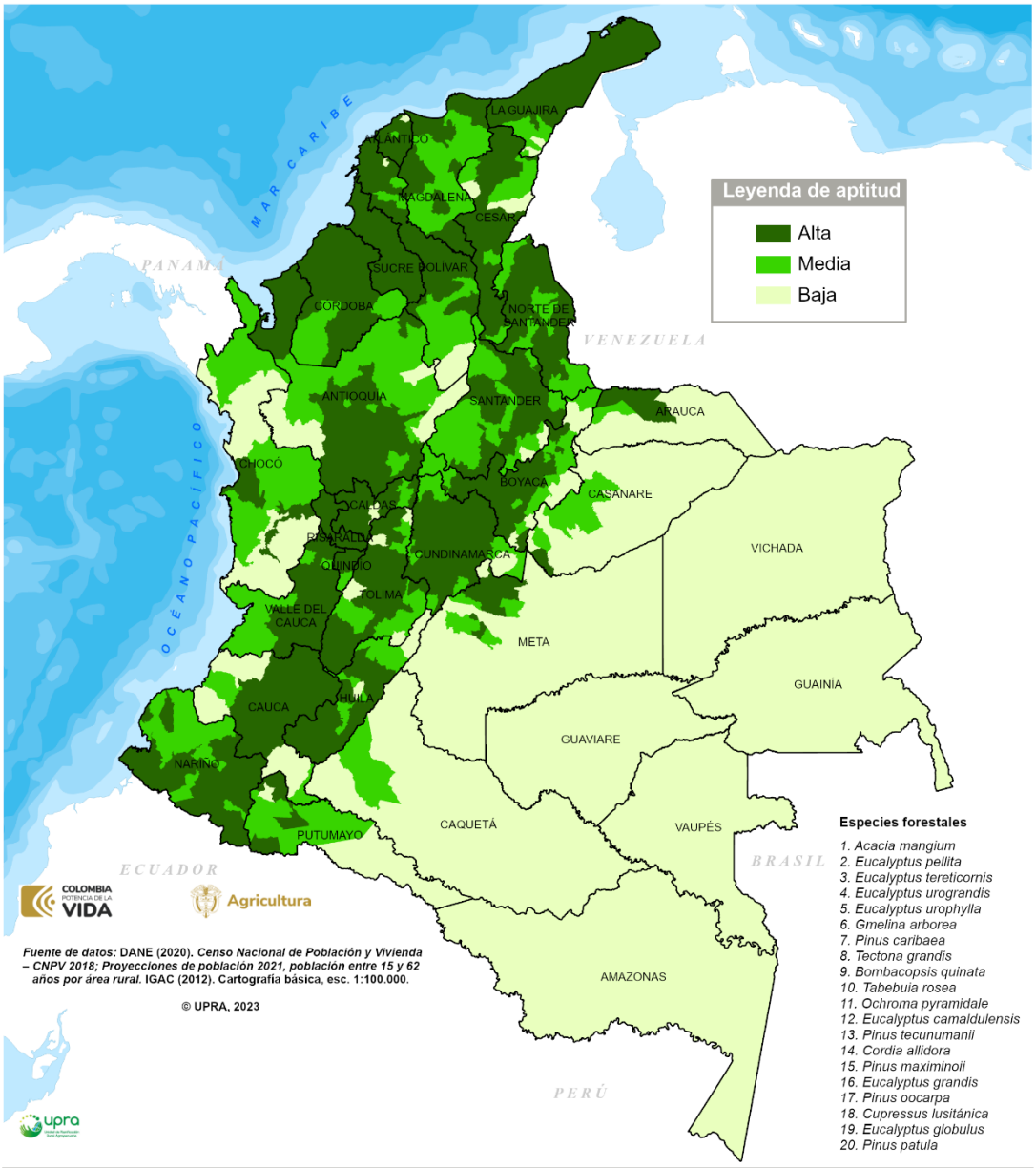
Los rangos para la espacialización de la variable se clasificaron de acuerdo con las categorías de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3). Los resultados de estos agrupamientos se registran en la siguiente tabla:

Número de habitantes rurales en edad de trabajar/km^2	Aptitud
>7,07	Alta (A1)
3,39-7,07	Media (A2)
<3,39	Baja (A3)

Unidad de análisis

Número de habitantes rurales en edad de trabajar/km^2.

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO DISPONIBILIDAD DE MANO DE OBRA
Variable densidad de población en edad de trabajar

Fuentes de información

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2022). *Proyecciones de población municipal 2021 por área, sexo y edad con base en el «Censo nacional de población y vivienda 2018»*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Departamento Nacional de Planeación (2022). *Sistema de Estadísticas Territoriales TerriData*. Departamento Nacional de Planeación (DNP). https://terridata.dnp.gov.co/#/

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

3.4.2. Variable *oferta educativa técnica y tecnológica*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: social		
Criterio asociado: *disponibilidad de mano de obra*		
Variable: *oferta educativa técnica y tecnológica*	Unidad de medida: tiempo de desplazamiento (horas)	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Cercanía a los programas de educación técnica y tecnológica relacionados con la producción agrícola y forestal.

Importancia de la variable

Permite a la población acceder a programas de formación técnica y tecnológica para elevar su competencia y productividad laboral. La educación es muy influyente en el desarrollo de los individuos y sociedades, en especial, por la capacitación y la formación para el trabajo técnico y tecnológico, una de cuyas expresiones brinda la posibilidad de actualizar competencias en el manejo de la información y los procesos de innovación propios de las labores forestales. Esta variable tiene especial importancia en la zonificación de aptitud, dado que eleva las condiciones y capacidades de la población rural trabajadora y les otorga a los futuros inversionistas la posibilidad de disponer de talento humano con conocimientos técnicos y tecnológicos, que pueden incrementar la productividad y mejorar la competitividad de la producción forestal.

Para la variable *oferta educativa técnica y tecnológica*, se consideraron los tipos de cobertura de los programas reportados en el SNIES; la sede principal donde se oferta el programa; los centros de tutoría; los centros regionales de educación superior (CERES); los convenios; los convenios en red; y los programas de extensión, que amplían los registros de la oferta educativa en las zonas rurales. La competitividad de los territorios es proporcional a la cobertura y a la facilidad de acceso a la oferta educativa técnica y tecnológica en áreas con actividad forestal.

Se incluyeron los programas relacionados con la seguridad y salud en el trabajo dado que las empresas forestales demandan personas con conocimientos y competencias para cumplir la normativa y obtener las certificaciones de calidad forestal. Los territorios con mayor posibilidad de acceder presencialmente a programas de formación académica son más aptos por poseer mayor potencial de cualificación de mano de obra en temas afines a la producción forestal, lo cual fortalece las condiciones de la oferta de mano de obra y la competitividad municipal.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

El análisis de la variable no presentó límites que se calificaran como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

El área de influencia de los programas académicos presenciales ofertados depende de la distancia y del tiempo de desplazamiento que los estudiantes deben recorrer para asistir a las actividades académicas. También dependen del número de programas, el tamaño, la capacidad de atención de los estudiantes y la calidad, prestigio y nivel de formación impartidos a sus estudiantes. Esto hace que los estudiantes no necesariamente acudan a los programas de educación superior que se encuentran más cerca, sino que responden a otras lógicas e intereses, dimensiones que no se miden con esta variable, dada la falta de disponibilidad de ls información actual.

Metodología de procesamiento de la información

Información

SNIES, 2022; lugar de oferta; coberturas por centros de tutoría; centros regionales de educación superior (CERES); convenios en red; y programas de extensión de programas técnicos y tecnológicos relacionados con la actividad forestal y con la seguridad y salud en el trabajo que se encuentran activos a la fecha de consulta.

Precisiones de la información

Los programas académicos ofertados relacionados con la actividad forestal y con la seguridad y salud en el trabajo por municipio son reportados en el SNIES del Ministerio de Educación Nacional. Se incluyeron los siguientes programas activos para el año 2022 al momento de la consulta:

Técnica Profesional en Manejo SilviculturaL.

Técnica Profesional en Producción Forestal por Ciclos Propedéuticos.

Técnica Profesional en Seguridad y Salud en el Trabajo.

Técnica Profesional en Procesos Agroforestales.

Técnica Profesional en Procesos de Seguridad y Salud en el Trabajo.

Tecnología Agroforestal.

Tecnología en Agroforestería.

Tecnología en Gestión de Empresas Agroforestales.

Tecnología en Gestión de la Producción Agroforestal.

Tecnología en Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo.

Tecnología en Gestión de Plantaciones Forestales.

Tecnología en Manejo y Aprovechamiento Forestal.

Tecnología en Manejo y Comercialización Agroforestal.

Tecnología en Protección y Recuperación de Ecosistemas Forestales.

Tecnología en Recursos Forestales.

Tecnología en Seguridad y Salud en el Trabajo.

Tecnología en Silvicultura y Aprovechamiento de Plantaciones Forestales.

Se construyó una base de datos en la que se identificaron los municipios donde al menos existe un programa activo o cualquiera de las otras formas de cobertura. Partiendo del casco urbano, se estimaron las isócronas según los rangos de distancia para definir los niveles de aptitud. La metodología de isócronas empleada por la UPRA es una herramienta técnica a través de la cual se calculó el tiempo de desplazamiento sobre los ejes viales, como vías pavimentadas, carreteras con dos o más carriles, carreteras angostas, vías sin pavimentar, carreteras o senderos, cuyas pendientes fueron medidas por el método de elevación digital de 30 metros. Así mismo, se midió su influencia en la velocidad y los tramos navegables fluviales que existían para el año 2014. Los tipos de vías terrestres empleadas en el algoritmo de isócronas fueron los siguientes:

Tipo 1: pavimentada, carretera de dos o más carriles transitable todo el año.

Tipo 2: sin pavimentar, carretera de dos o más carriles transitable todo el año.

Tipo 3: pavimentada, carretera angosta transitable todo el año.

Tipo 4: sin pavimentar, carretera angosta transitable todo el año.

Tipo 5: sin pavimentar, transitable en tiempo seco.

Tipo 6: sin afirmado, transitable en tiempo seco.

Análisis de la consistencia y preparación de la información

El SNIES permite establecer información sobre el territorio nacional y sus municipios en los que se determina la existencia o no de programas activos con registro formal de formación técnica o tecnológica relacionados con la actividad forestal y con la seguridad y salud en el trabajo sobre los que se construyeron las isócronas.

Clasificación por aptitud

Los puntos de corte para establecer los rangos de aptitud se definieron con base en los tiempos de desplazamiento a los centros educativos, considerando que a mayor distancia se reduce la posibilidad de acceder con regularidad a las actividades académicas presenciales exigidas para la obtención de títulos formales. Los rangos de aptitud definidos fueron los siguientes: con *aptitud alta* (A1), los desplazamientos que toman menos de una hora; con *aptitud media* (A2), los desplazamientos que toman entre una y dos horas; y con *aptitud baja* (A3), los desplazamientos que toman más de dos horas.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

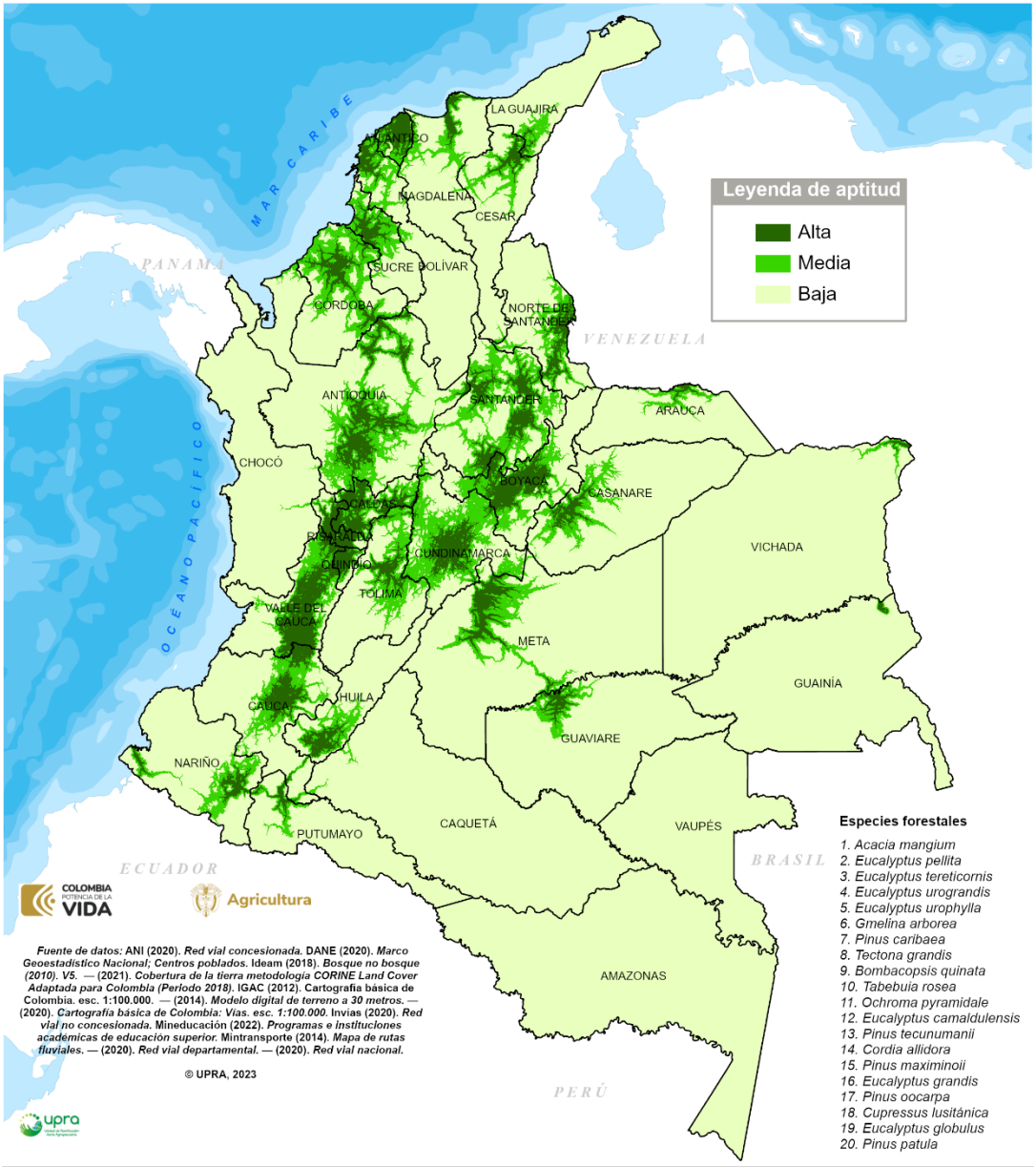
Los rangos para la representación cartográfica de la variable se clasificaron de acuerdo con las categorías de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3), como se muestra a continuación:

Tiempo de desplazamiento (horas)	Aptitud
<1	Alta (A1)
1-2	Media (A2)
>2	Baja (A3)

Unidad de análisis

Tiempo de desplazamiento (horas).

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO DISPONIBILIDAD DE MANO DE OBRA
Variable oferta educativa técnica y tecnológica

Fuentes de información

Agencia Nacional de Infraestructura (2020). *Red vial concesionaria*. Agencia Nacional de Infraestructura (ANI).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020b). *Marco geoestadístico nacional: centros poblados*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Departamento Nacional de Planeación (2020). *Sistema de Estadísticas Territoriales TerriData*. Departamento Nacional de Planeación (DNP). https://terridata.dnp.gov.co/#/

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2018). *Bosque no bosque V5 2010*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2021). *Leyenda nacional de coberturas de la tierra: metodología CORINE Land Cover, adaptada para Colombia, escala 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). https://n9.cl/23v8d

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Modelo digital de elevación de 30 metros*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020a). *Cartografía básica, vías escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Nacional de Vías (2020). *Red vial no concesionada*. Instituto Nacional de Vías (Invías).

Ministerio de Educación Nacional (2021). *SNIES: Sistema Nacional de Información de la Educación Superior*. Ministerio de Educación Nacional (Mineducación). https://snies.mineducacion.gov.co/portal/

Ministerio de Transporte (2014*). Mapa de tramos fluviales navegables*. Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Ministerio de Transporte (2020). *Red vial departamental y nacional*. Ministerio de Transporte (Mintransporte).

3.4.3. Variable *oferta educativa universitaria*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: social		
Criterio asociado: *disponibilidad de mano de obra*		
Variable: *oferta educativa universitaria*	Unidad de medida: tiempo de desplazamiento (horas)	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Cercanía a los programas de pregrado relacionados con la producción forestal.

Importancia de la variable

Permite a la población acceder a programas de formación universitaria para elevar las competencias y la productividad del sector. El proceso de educación es uno de los factores más influyentes en el desarrollo de los individuos y sociedades, en especial, la formación a nivel universitario. Se enfoca no sólo en la construcción de procesos, sino también en la sistematización de las experiencias, pues indaga y conceptualiza en aspectos teóricos y de investigación. Esta variable representa especial importancia en la zonificación de aptitud, dado que eleva las condiciones y las capacidades de la población rural trabajadora; además brinda a los futuros inversionistas la posibilidad de disponer del talento humano con destrezas y conocimientos para dirigir equipos de trabajo y resolver de problemas para incrementar la productividad y mejorar la competitividad de la producción forestal.

Para el caso de la variable de *oferta educativa universitaria*, se estimaron los tipos de cobertura de los programas reportados en el SNIES, de forma que se consideró no sólo la sede principal donde se oferta el programa, sino también otros tipos de cobertura; como centros de tutoría; centros regionales de educación superior (CERES); convenios en red; y programas de extensión, los cuales amplían los registros de la oferta educativa en las zonas rurales.

Así pues, la competitividad de los territorios es proporcional tanto a la cobertura como a la facilidad de acceso a la oferta educativa a nivel universitario de ingeniería forestal e ingeniería agroforestal. Los territorios donde existe mayor posibilidad de acceder presencialmente a estos programas de formación académica son más aptos por poseer mayor potencial de cualificación de mano de obra a nivel de dirección y planificación estratégica, lo cual potencia las condiciones de la oferta de mano de obra y la competitividad territorial.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

En el análisis de la variable, no se presentaron límites que se calificaran como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

El área de influencia de los programas académicos presenciales ofertados depende de la distancia y del tiempo de desplazamiento que los estudiantes deben recorrer para asistir a las actividades académicas. También dependen del número de programas, el tamaño, la capacidad de atención de estudiantes y la calidad, el prestigio y el nivel de formación impartidos a sus estudiantes. Esto hace que los estudiantes no necesariamente acudan a los programas de educación superior que se encuentran más cerca, sino que responden a otras lógicas e intereses, dimensiones que no miden con esta variable, dada la disponibilidad de información actual.

Metodología de procesamiento de la información

Información

La información para la elaboración de la variable se sutrajo del SNIES, 2022; lugar de oferta; coberturas por centros de tutoría; centros regionales de educación superior (CERES); convenios en red; y programas de extensión de programas universitarios relacionados con la actividad forestal y que se encuentran activos a la fecha de consulta.

Precisión de la información

Los programas académicos se ofertan a nivel universitario, se relacionan con la producción forestal por municipio y se reportan en el SNIES del Miniesterio de Educación Nacional. Se consideraron los programas universitarios Ingeniería Forestal e Ingeniería Agroforestal, para lo cual se filtraron los programas activos para el año 2022. Se estimaron los tipos de cobertura de los programas reportados en el SNIES, la sede principal donde se oferta el programa y otros tipos de cobertura, como centros de tutoría; centros regionales de educación superior (CERES); convenios en red; y programas de extensión. Finalmente, se construyó una base de datos en la que se identificaron los municipios donde al menos existe un programa activo; partiendo del casco urbano, se calcularon las isócronas según los rangos de distancia para definir los niveles de aptitud.

La metodología de isócronas empleada por la UPRA es una herramienta técnica a través de la cual se calculó el tiempo de desplazamiento sobre los ejes viales, como vías pavimentadas, carreteras con dos o más carriles, carreteras angostas, vías sin pavimentar, carreteras o senderos, cuyas pendientes fueron medidas por el método de elevación digital de 30 metros. Así mismo, se midió su influencia en la velocidad y los tramos navegables fluviales que existían para el año 2014. Los tipos de vías terrestres empleadas en el algoritmo de isócronas fueron los siguientes:

Tipo 1: pavimentada, carretera de dos o más carriles transitable todo el año.

Tipo 2: sin pavimentar, carretera de dos o más carriles transitable todo el año.

Tipo 3: pavimentada, carretera angosta transitable todo el año.

Tipo 4: sin pavimentar, carretera angosta transitable todo el año.

Tipo 5: sin pavimentar, transitable en tiempo seco.

Tipo 6: sin afirmado, transitable en tiempo seco.

Análisis de la consistencia y preparación de la información

El SNIES permite establecer información sobre la totalidad del territorio nacional y los municipios en los que se determina la existencia o no de programas activos con registro formal de formación universitaria vinculados a la actividad forestal, sobre los cuales se construyeron las isócronas.

Clasificación por aptitud

Los puntos de corte para establecer los rangos de aptitud se definieron con base en los tiempos de desplazamiento a los centros educativos, considerando que a mayor distancia se reduce la posibilidad de acceder con regularidad a las actividades académicas presenciales exigidas para la obtención de títulos formales. Los rangos de aptitud definidos fueron los siguientes: con *aptitud alta* (A1), los desplazamientos que toman menos de una hora; con *aptitud media* (A2), los desplazamientos que toman entre una y dos horas; y con *aptitud baja* (A3), los desplazamientos que toman más de dos horas.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

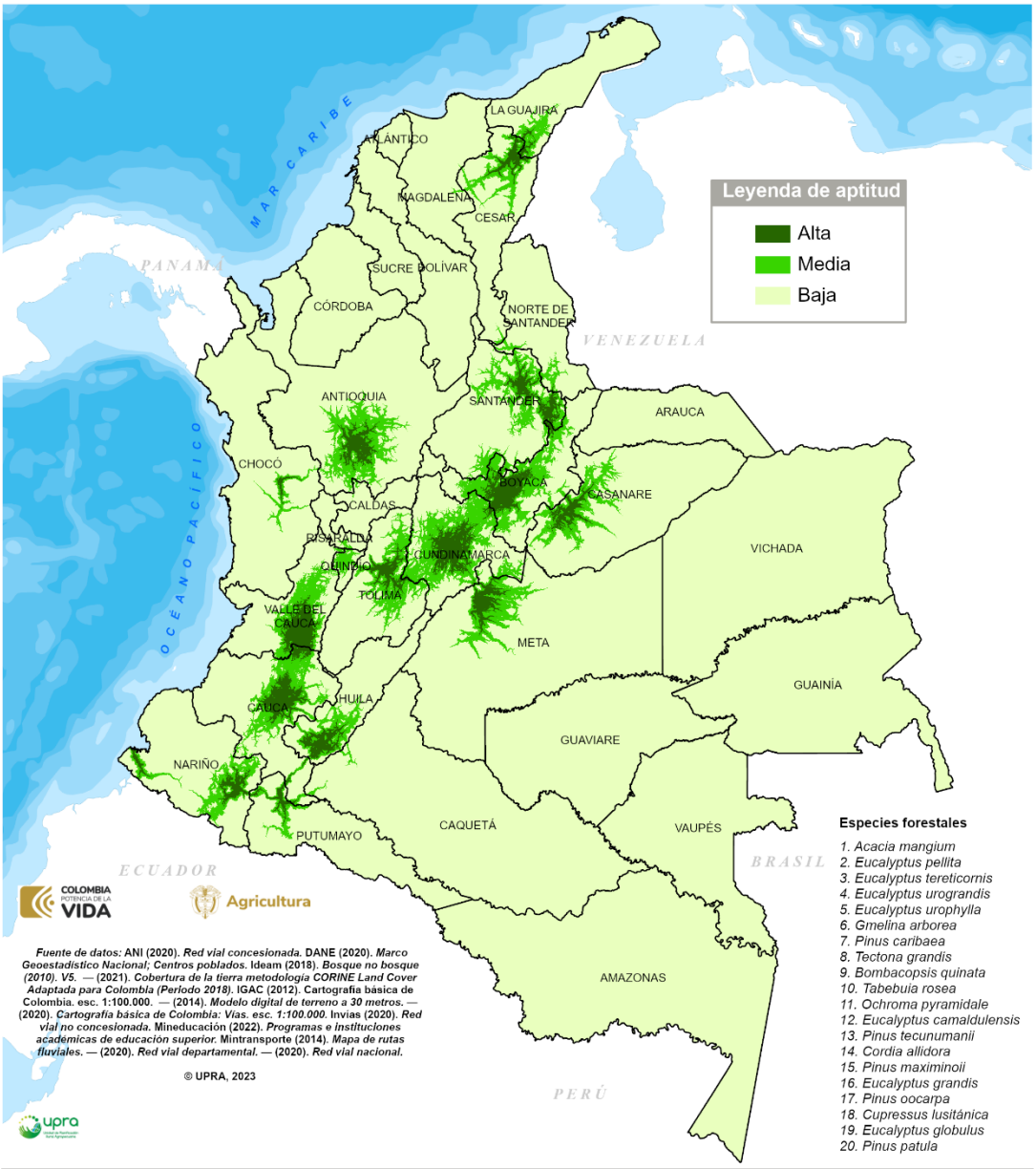
Los rangos para la espacialización de la variable se clasificaron de acuerdo con las categorías de aptitud competitiva alta (A1), media (A2) y baja (A3), como se muestra en la siguiente tabla:

Tiempo de desplazamiento (horas)	Aptitud
<1	Alta (A1)
1-2	Media (A2)
>2	Baja (A3)

Unidad de análisis

Tiempo de desplazamiento (horas).

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO DISPONIBILIDAD DE MANO DE OBRA
Variable oferta educativa universitaria

Fuentes de información

Agencia Nacional de Infraestructura (2020). *Red vial concesionaria*. Agencia Nacional de Infraestructura (ANI).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020b). *Marco geoestadístico nacional: centros poblados*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Departamento Nacional de Planeación (2020). *Sistema de Estadísticas Territoriales TerriData*. Departamento Nacional de Planeación (DNP). https://terridata.dnp.gov.co/#/

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2018). *Bosque no bosque V5 2010*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2021). *Leyenda nacional de coberturas de la tierra: metodología CORINE Land Cover, adaptada para Colombia, escala 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). https://n9.cl/23v8d

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Modelo digital de elevación de 30 metros*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020a). *Cartografía básica, vías escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Nacional de Vías (2020). *Red vial no concesionada*. Instituto Nacional de Vías (Invías).

Ministerio de Educación Nacional (2021). *SNIES: Sistema Nacional de Información de la Educación Superior*. Ministerio de Educación Nacional (Mineducación). https://snies.mineducacion.gov.co/portal/

Ministerio de Transporte (2014*). Mapa de tramos fluviales navegables*. Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Ministerio de Transporte (2020). *Red vial departamental y nacional*. Ministerio de Transporte (Mintransporte).

3.5. Criterio *indicadores económicos*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: económico		
Criterio asociado: *indicadores económicos*		
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Variables asociadas al criterio

Valor agregado forestal municipal, expresado en miles de millones de pesos.
Créditos otorgados, expresados en millones de pesos a nivel municipal.
Zonas más afectadas por el conflicto armado (ZOMAC), expresadas en municipios.
Programas de desarrollo con enfoque territorial (PDET), expresados en municipios.
Desempeño municipal, expresado en indicador MDM.

Definición

Grado de endeudamiento e incentivos tributarios de las zonas más afectadas por el conflicto armado y la contribución de este renglón tanto a la generación del valor agregado como al apalancamiento económico en los municipios.

Importancia del criterio

Indica a los agentes económicos la relevancia de la actividad productiva forestal en los territorios y los beneficios recibidos por parte del Estado mediante las exenciones tributarias y la focalización del gasto en programas de desarrollo con enfoque territorial y de la gestión pública municipal. Se consideran los beneficios recibidos de parte del sector financiero vía créditos para la producción forestal, lo que condiciona la toma de decisiones de inversión al favorecer la viabilidad financiera de los proyectos productivos, el flujo de caja y la capacidad de apalancamiento. Una aptitud alta en este criterio refleja condiciones creadas en el pasado para la actividad productiva por el desempeño de lo público como respuesta a estímulos privados del sector financiero que facilitan la proyección a futuro de la producción forestal.

Limitantes de la evaluación del criterio

En lo referente a los recursos de apalancamiento financiero del sector, se evidenció que los créditos otorgados son una aproximación a la totalidad de los montos que utiliza el sector, aunque no se incluyen los recursos que destina la banca comercial con recursos propios. Es posible que muchos de los recursos de financiamiento categorizados en el sector no se ejecuten en la región donde fueron solicitados y que algunos hayan sido destinados a otras actividades productivas. De tal modo, no se incluyeron todos los recursos desembolsados a agentes económicos con actividad productiva, sino los exclusivamante destinados a actividades forestales, así la actividad productiva principal del individuo fuese diferente. El nivel de discriminación de la información impidió distinguir el aporte de la producción de las especies forestales priorizadas para la zonificación dentro del total del valor agregado forestal municipal, aunque se presume que tiene una gran participación por tratarse de las principales especies comerciales de zonas productoras.

Finalmente, la información sobre programas de desarrollo con enfoque territorial y las zonas afectadas por el conflicto se incluyeron suponiendo una mayor oportunidad de aprovechamiento de beneficios tributarios y de priorización regional del gasto con proyectos que desde la actividad productiva forestal puedan potencializar la aptitud. Sin embargo, la existencia de una posibilidad normativa y de planificación no garantiza el direccionamiento de los recursos que respalden la ejecución de estos proyectos, puesto que dependen de decisiones y voluntades políticas que no se recogen con esta información.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

En el análisis de cada una de las variables, ninguna presentó límites que se calificaran como zonas no aptas (N1).

Metodología de procesamiento de la información

La ponderación del criterio se construyó a partir de la metodología AHP (Analytics Hierarchy Process) condensada en la matriz de comparaciones pareadas de cinco variables, de acuerdo con la siguiente tabla:

Criterio	Variables	*Valor agregado forestal municipal*	*Créditos otorgados*	*Programas de desarrollo con enfoque territorial (PDET)*	*Zonas más afectadas por el conflicto armado (ZOMAC)*	*Desempeño municipal*
Indicadores económicos	*Valor agregado forestal municipal*	1				
	Créditos otorgados	1/3	1			
	Programas de desarrollo con enfoque territorial (PDET)	1/3	1/3	1		
	Zonas más afectadas por el conflicto armado (ZOMAC)	1/5	1/3	1/3	1	
	Desempeño municipal	1/5	1/5	1/5	1/3	1

La escala de importancia dentro del proceso AHP consideró la valoración entre pares de variables, como se puede observar en la siguiente tabla:

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Sumamente	Muy fuertemente	Fuertemente	Moderadamente	Igualmente	Moderadamente	Fuertemente	Muy fuertemente	Sumamente
Menos importante				**Igual en importancia**	**Más importante**			

Con el uso del programa PriEsT, se calcularon las ponderaciones de cada variable dentro del criterio, según la calificación de los municipio y categorías de aptitud, para cada una de las cuales se asignó el valor de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3), como se ve en la tabla:

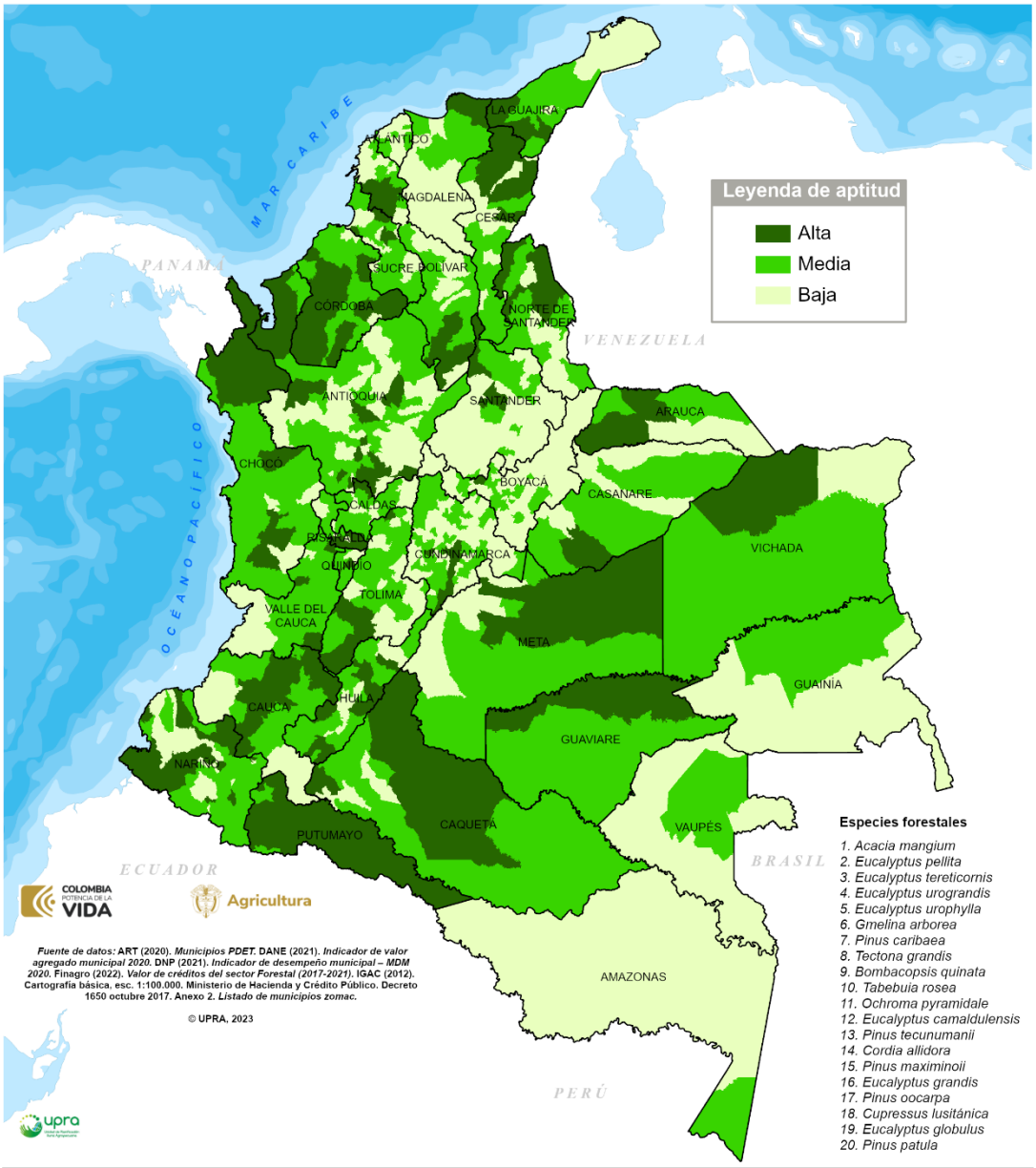
Criterio	Variable	Ponderación (%)
Indicadores económicos	*Valor agregado forestal municipal*	44,3
	Créditos otorgados	25,8
	Programas de desarrollo con enfoque territorial (PDET)	16,6
	Zonas más afectadas por el conflicto armado (ZOMAC)	8,7
	Desempeño municipal	4.6
Total de la ponderación		**100,0**

Rangos para la asignación de valores de aptitud

Se realizó una reclasificación numérica que consiste en asignar un peso o valor las categorías de aptitud alta (A1), media (A2) o baja (A3) para el criterio, como se muestra a continuación:

Variables	Unidad de medida	Aptitud		
		Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)
Valor agregado forestal municipal	Milles de millones de pesos	>1,78	0,77-1,78	<0,77
Créditos otorgados	Miles de millones de pesos	>2.280	<2.280	Sin créditos
Programas de desarrollo con enfoque territorial (PDET)	Municipios	Declarados PDET	Resto	—
Zonas más afectadas por el conflicto armado (ZOMAC)	Municipios	Declarados ZOMAC	Resto	—
Desempeño municipal	Puntaje	≥55	45-55	<45

Representación cartográfica del criterio



CRITERIO INDICADORES ECONÓMICOS

Fuentes de información

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020). *Cuentas nacionales: indicador valor agregado municipal actividad agrícola*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Departamento Nacional de Planeación (2019). *Resultados de la medición de desempeño municipal 2020-2018*. Departamento Nacional de Planeación (DNP).

Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario (2020). *Créditos otorgados a la actividad forestal 2017-2021*. Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario (Finagro).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Presidencia de la República de Colombia (2017). *Decreto 1650 de 2017, por el cual se adiciona un artículo a la Parte 1 del Libro 1; la Sección 1 al Capítulo 23 del Título 1 de la Parte 2 del Libro 1 y los Anexos No. 2 y 3, al Decreto 1625 de 2016, Único Reglamentario en Materia Tributaria, para reglamentar los artículos 236 y 237 de la Ley 1819 de 2016. Anexo 2*. Diario Oficial 50.381. Presidencia de la República de Colombia.

3.5.1. Variable *valor agregado forestal municipal*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: económico		
Criterio asociado: *indicadores económicos*		
Variable: *valor agregado forestal municipal*	Unidad de medida: miles de millones de pesos	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Aproximación al valor generado por actividades forestales en un municipio en función de la importancia relativa en el departamento.

Importancia de la variable

Indica a los agentes económicos los municipios con un mayor valor agregado forestal y con economías de escala sectoriales, de beneficios y de estímulos estatales privilegiados para el sector respecto del tratamiento económico. Incide en la percepción de los agentes económicos sobre el desempeño económico del municipio como un todo y en particular en el sector forestal. A mayor valor agregado forestal municipal, el municipio presenta mayor nivel de aptitud, pues el circuito económico local tendrá mayor dinamismo y encadenamiento sectorial. Aunque no es posible discriminar en los valores agregados sectoriales los niveles de participación de las especies forestales que se evalúan, la transversalidad sectorial refleja lo verdaderamente forestal que es un municipio. La participación y el valor agregado forestal se segrega de otras ramas de la actividad económica primaria, como la agricultura, la ganadería y la pesca.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

El análisis de la variable no presentó límites que se calificaran como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

Dado que se parte de mediciones sectoriales y territoriales de escala nacional y departamental, es posible que algunos municipios con gran generación de valor forestal se vean afectados por pertenecer a un contexto regional y departamental que no lo sea. Del mismo modo, existe la posibilidad de que un municipio sin mayor relevancia en la generación de valor forestal se sobredimensione por su ubicación regional en la que otros municipios aportan y suman gran producción departamental. En todo caso, son precisamente estos fenómenos regionales y secto-territoriales los que se pretenden capturar.

La incapacidad para discriminar el valor generado por una especie en particular, aunque resulta una limitante, también incorpora la transversalidad del análisis sectorial que beneficia a todos los productos del sector forestal. Los métodos de estimación del valor agregado por ramas de actividad económica consideran la transformación de las materias primas, en este caso, la madera, como agregación de valor, independientemente del nivel de complejidad. Por lo tanto, algunas cadenas productivas cuya transformación es requisito para e consumo o disfrute pueden ser contabilizadas no en una rama primaria, sino industrial, distorsionando la valoración productiva. Finalmente, las mediciones para un año específico, en este caso, el 2020, pueden haber incluido eventos esporádicos como inundaciones o condiciones climáticas adversas que llevan a tener un menor valor agregado forestal de manera transitoria en un municipio.

Metodología de procesamiento de la información

Precisiones de la información

Se consideró la información del DANE remitida, a solicitud de la UPRA, con el propósito de ser usada en esta zonificación. La participación y el valor agregado forestal son segregados de otras ramas de la actividad económica primaria en lo municipal, como la agricultura, la ganadería y la pesca.

Análisis de la consistencia y preparación de la información

Se utilizó el criterio asociado a la regla de Pareto (80/20) que indica que aproximadamente el 80 % de las consecuencias es explicada por el 20 % de las causas. En este caso, el 80 % del total del valor agregado forestal municipal fue explicado aproximadamente por el 20 % de los municipios. El procedimiento consistió en ordenar de mayor a menor los municipios por el valor agregado forestal que se le atribuye y en estimar las participaciones de cada municipio dentro del total nacional. Posteriormente, se elaboró una columna en la que se calculó el porcentaje acumulado del valor agregado forestal municipal y se estableció como punto de corte el punto en que el porcentaje acumulado fue igual a 80 %. Sobre los restantes municipios, se utilizó la metodología de agrupamientos de las variables socioeconómicas que en este caso indica la necesidad de utilizar el método de *k*-medias.

El algoritmo *k*-medias, como otros métodos de agrupamiento, parte de una función de aprendizaje no supervisado en el que no existen clases predefinidas y cuyos resultados están fuertemente determinados por el conjunto de datos disponibles y las medidas de similitud o distancia utilizadas para comparar datos. Con ello, se busca minimizar la distancia intraclústeres y maximizar la distancia interclústeres, partiendo de la distancia como medida de similitud. Si $d(i, j)$ es mayor a $d(i, k)$ significa que el objeto i es más parecido a k que a j. El método *k*-medias, desarrollado por MacQueen en el año 1967, se basó en un único parámetro (número de grupos), definido, en este caso, en 3 para las aptitudes alta (A1), media (A2) y baja (A3). Por tratarse de un agrupamiento univariado, no estuvo sesgado por el orden de presentación inicial de los datos. Los pasos para la estimación del clúster *k*-medias fueron los siguientes:

a) Se ordenaron los datos de mayor a menor o de menor a mayor, según la incidencia del fenómeno socioeconómico en estudio y la supuesta relación con los niveles de aptitud para la cadena productiva.

b) El total de datos disponibles se dividió en dos grupos. Luego, se calculó el centroide —centro geométrico del clúster—, base para la construcción de la variable objetivo, que fue la distancia. El centroide que se propuso fue el promedio aritmético de cada agrupamiento.

c) Dado que el algoritmo *k*-medias busca minimizar la distancia interna —es decir, la suma de las distancias de los datos de su centroide—, se calculó para cada dato el cuadrado de las diferencias con los centroides de los clústeres inicialmente calculados (tres) y se sumaron los valores para todos los datos del clúster.

d) Se asignó cada elemento al clúster, cuyo dato fuera el mínimo de los dos posibles, y se recalcularon los centroides con los nuevos agrupamientos.

e) Iterativamente, se fueron actualizando los centroides en función de las asignaciones de puntos a clúster hasta que los centroides dejaron de cambiar.

Como parte del mismo proceso, el procedimiento *k*-medias considera una fase de validación, que consiste en evaluar los clústeres que sólo están integrados por datos extremos (*outliers*); comparar dos conjuntos de clústeres alternativos evaluando la consistencia con los fenómenos socioeconómicos; y comparar los resultados de los agrupamientos con los derivados de otras técnicas de agrupamiento para determinar si los resultados están describiendo el fenómeno socioeconómico en estudio. La validación se puede desarrollar por criterios tanto internos como externos que aporten información adicional, como los relacionados con la entropía y la pureza; o por criterios internos generados a partir de los propios datos, como la suma de los cuadrados de las distancias al interior y entre cada clúster (cohesión y separación).

Clasificación de los municipios por aptitud

El resultado para la variable *valor agregado forestal municipal* arrojó tres grupos, cuyos rangos quedaron definidos así: con *aptitud alta* (A1), los municipios con más de 1,78 mil millones de VAFM; con *aptitud media* (A2), los municipios entre 0,77 y 1,78 mil millones de VAFM; y con *aptitud baja* (A3), los municipios con menos de 0,77 mil millones de VAFM.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

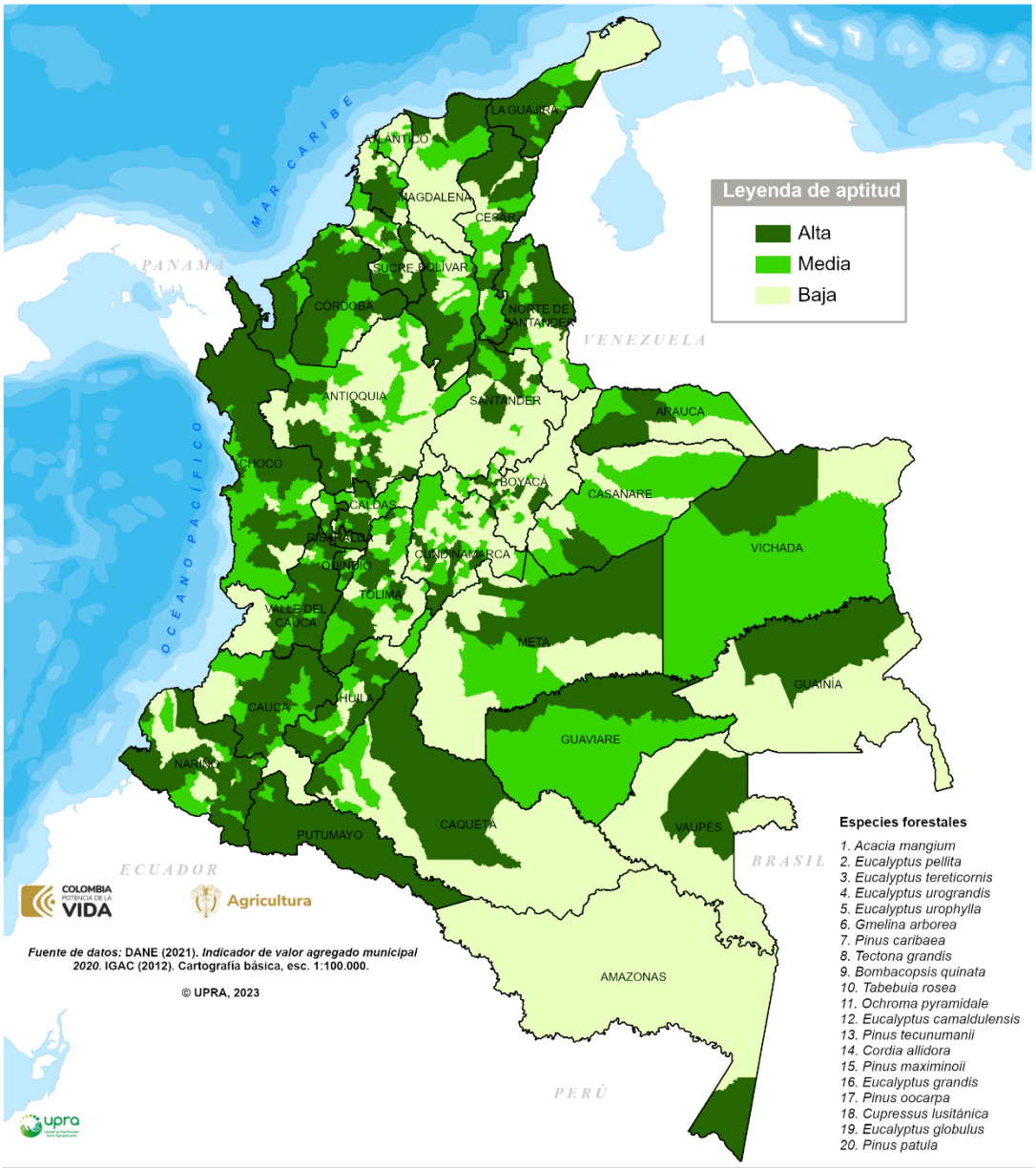
Los rangos para la espacialización de las variables se clasificaron de acuerdo con las categorías de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3, como se muestra a continuación:

Miles de millones de COP$	Aptitud
> 1,78	Alta (A1)
0,77-1,78	Media (A2)
<0,77	Baja (A3)

Unidad de medida

Miles de millones de pesos.

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO INDICADORES ECONÓMICOS
Variable valor agregado forestal municipal

Fuentes de información

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2021). *Cuentas nacionales: indicador valor agregado municipal, actividad forestal y de silvicultura*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

3.5.2. Variable *créditos otorgados*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: económico		
Criterio asociado: *indicadores económicos*		
Variable: *créditos otorgados*	Unidad de medida: miles de millones de pesos	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Valor, a precios de 2021, de los créditos otorgados desde el año 2017 a nivel municipal para el desarrollo y mejora de la producción forestal. Están dirigidos a personas naturales o jurídicas para construir o mejorar los procesos de producción o de comercialización, colocados en condiciones preferenciales por Finagro, a través de la banca comercial con presencia en los territorios. Se utilizan para apalancar el capital de trabajo y los proyectos de inversión. Las líneas especiales Finagro están subsidiadas en tasa de interés y respaldadas por el Fondo Agropecuario de Garantías (FAG).

Importancia de la variable

Orienta a los agentes económicos en sus decisiones de inversión sobre los lugares donde se están solicitando y aprobando un mayor monto de créditos preferenciales para la producción forestal, lo que indica una tendencia en la lógica y de preferencia territorial de los inversionistas. Busca darle mayor aptitud a las zonas del país que tienen un mayor nivel de financiamiento con recursos de fomento para la producción forestal, lo que permite dimensionar el apalancamiento financiero de una aglomeración productiva municipal relevante para los agentes económicos en la toma de decisiones sobre la inversión. Existe una relación directa entre los créditos otorgados y la aptitud del municipio. Los municipios con mayor valor de créditos otorgados en un periodo de tiempo determinado reflejan una mejor acreditación para el desarrollo de la actividad forestal, lo que permite que nuevos emprendimientos sean mejor entendidos y más ágilmente aceptados para recibir financiamiento.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

El análisis de la variable no presentó límites que se calificaran como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

La información de Finagro sólo tiene en cuenta los créditos otorgados a la cadena productiva de los recursos destinados para tal fin y canalizados por la banca pública (Banco Agrario) y por la banca privada (redescuento), pero no incluye los créditos otorgados con recursos de captación de la banca privada (créditos comerciales). La información sobre el lugar de colocación de créditos puede diferir del municipio donde finalmente se inviertan los recursos y la actividad que va a financiar, puesto que puede apalancar actividades conexas a las actividades forestales y financiar actividades de agentes económicos no especializados en la actividad.

Metodología de procesamiento de la información

Precisiones de la información

Las cifras de créditos otorgados corresponden a la suma del valor colocado entre los años 2017 y 2021 traídos a valores del 2021 para los municipios que reportan información en el periodo de análisis. Para llevar los valores a precios del año 2021, se utilizaron los valores oficiales reportados por el DANE de inflación enero-diciembre del año 2017 al 2020.

Análisis de la consistencia y preparación de la información

Se calculó la suma anual de créditos otorgados por municipio para actividades forestales en millones de pesos del año 2021 para el periodo 2017-2021.

Clasificación por categoría de aptitud

Para estimar los rangos de aptitud, se utilizó el criterio asociado a la regla de Pareto (80/20), que indica que aproximadamente el 80 % de las consecuencias es explicada por el 20 % de las causas. En este caso, el 80 % del total de crédito colocado fue explicado aproximadamente por el 20 % de los municipios con colocaciones de crédito. El procedimiento consistió en ordenar de mayor a menor los municipios que, a precios constantes, suman mayor valor de crédito colocado, luego de lo cual se estimaron las participaciones de cada municipio dentro del total del crédito evaluado. Acto seguido, se elaboró una columna en la que se calculó el porcentaje acumulado de la distribución del crédito dentro de los municipios hasta que la acumulación llegó al 80 % de participación. Finalmente, se verificó que el número de municipios que aportaron al 80 % del crédito representaran aproximadamente el 20 % del total de municipios.

De esta forma, se definieron tres agrupamientos: el primero, formado por los municipios que aportaron al 80 % del total del crédito; el segundo, por los municipios que aportaron el 20% restante del total el crédito; y el tercero, por los municipios que no tuvieron ninguna colocación de crédito para actividades forestales en el periodo 2017-2021. De estos grupos, se calificaron los puntos de corte de la siguiente manera: con *aptitud alta* (A1), los municipios con más de 2.280 miles de millones en créditos para actividades forestales; con *aptitud media* (A2), los municipios con menos de 2.280 miles de millones en créditos para actividades forestales; y con *aptitud baja* (A3), los municipios sin créditos para actividades forestales.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

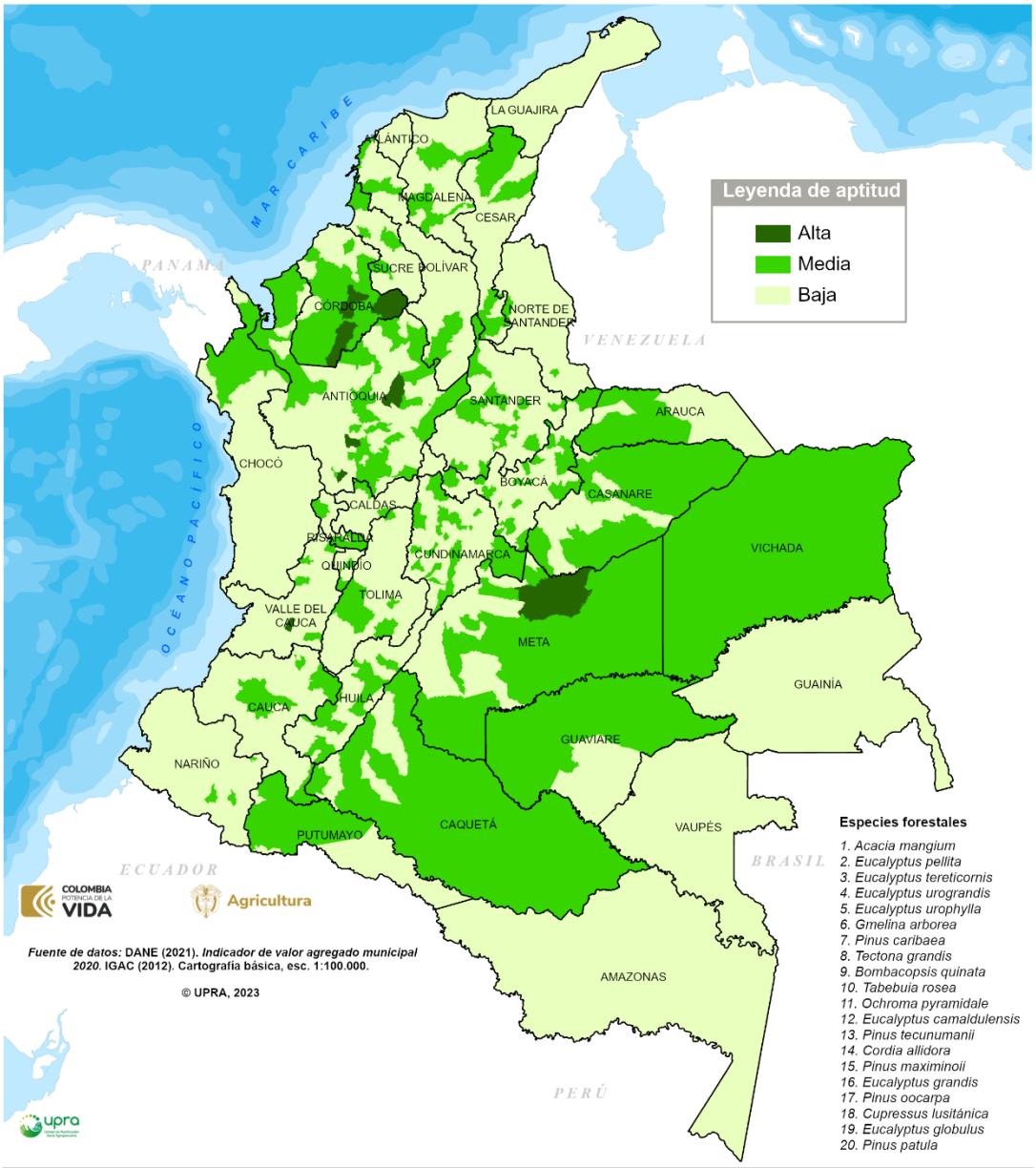
Los rangos para la espacialización de las variables se clasificaron de acuerdo con las categorías de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3), como se registra en la siguiente tabla:

Miles de millones de pesos	Aptitud
>2.280	Alta (A1)
<2.280	Media (A2)
Sin créditos	Baja (A3)

Unidad de análisis

Miles de millones de pesos.

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO INDICADORES ECONÓMICOS
Variable créditos otorgados

Fuentes de información

Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario (2020). *Créditos otorgados a la actividad forestal 2017-2021*. Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario (Finagro).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

3.5.3. Variable *programas de desarrollo con enfoque territorial (PDET)*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: económico		
Criterio asociado: *indicadores económicos*		
Variable: *programas de desarrollo con enfoque territorial (PDET)*	Unidad de medida: municipios	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Instrumento especial de planificación y gestión a 15 años, a partir del 2017, cuyo objetivo consiste en estabilizar y transformar territorios más afectados por la violencia, la pobreza, las economías ilícitas y la debilidad institucional para lograr el desarrollo rural que requieren los 170 municipios identificados.

Importancia de la variable

Resulta importante para los agentes económicos considerar este instrumento de planificación que proyecta una acción dirigida desde el gasto del Gobierno nacional con el sector privado, los gobiernos locales, las comunidades, los grupos étnicos y la cooperación internacional. Estos actores usarán las siguientes estrategias:

Obras PDET. Las comunidades son protagonistas en el proceso de construcción de sus obras.

Obras por impuestos. Mecanismo para que los contribuyentes ejecuten proyectos de impacto social.

OCAD Paz. Iniciativa que tiene como propósito destinar recursos de las regalías para ejecutar proyectos de inversión en los territorios PDET.

Proyectos productivos. De la mano de las comunidades y entidades locales, se adelantan proyectos para dinamizar la economía de los territorios PDET.

Estructuración de proyectos. La ART entrega a las alcaldías la estructuración de proyectos para que los entes territoriales puedan presentarlos a diferentes fuentes de financiación.

Plan maestro de estructuración. Iniciativa que busca identificar las estrategias y fuentes de financiación para estructurar los proyectos PDET.

Yo me subo a mi PDET. Comunidades y organizaciones que se involucran con los PDET mediante la ejecución directa de proyectos.

Proyectos integradores. Proyectos con enfoque territorial, los cuales contemplan la intervención articulada, planeada y focalizada.

Cofinanciación. De la mano con la cooperación internacional, avanza la implementación de los PDET.

Los municipios PDET se constituyen como un direccionador de paz del presupuesto general de la nación con el accionar de los OCAD Paz, el Fondo Colombia en Paz, la Agencia de Renovación del Territorio y el Fondo Colombia Sostenible. El sector privado y la cooperación internacional han identificado 77 proyectos sociales por $615 mil millones de pesos dentro de la estrategia de obras por impuestos; mientras que la cooperación internacional tiene estructuradas 250 iniciativas que responden a las necesidades de la población para convertir sus iniciativas en obras de infraestructura, soluciones de energía eléctrica, proyectos productivos, educación, salud y reconciliación.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

En el análisis de la variable, no se presentaron límites que se calificaran como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

Depende de la legislación y las decisiones de Gobierno, lo que implica que tanto los recursos como los estímulos económicos para estos territorios podrían ser ampliados o revocados partiendo de decisiones políticas. No existe forma en la que se pueda medir la manera en qué se aprovechan los incentivos y en qué actividades productivas se concentran.

Metodología de procesamiento de la información

Precisiones de la información

Listado de municipios declarados PDET.

Análisis de la consistencia y preparación de la información

Se contó con la información para todos los municipios del país respecto a si pertenecen o no a las PDET, lo que permite hacer un análisis nacional integral. Se constituyó como una base de información dicotómica.

Clasificación de los municipios por aptitud

Los puntos de corte para las categorías de aptitud se definieron así: con *aptitud alta* (A1), los municipios priorizados con PDET; y con aptitud media (A2), el resto de los municipios.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

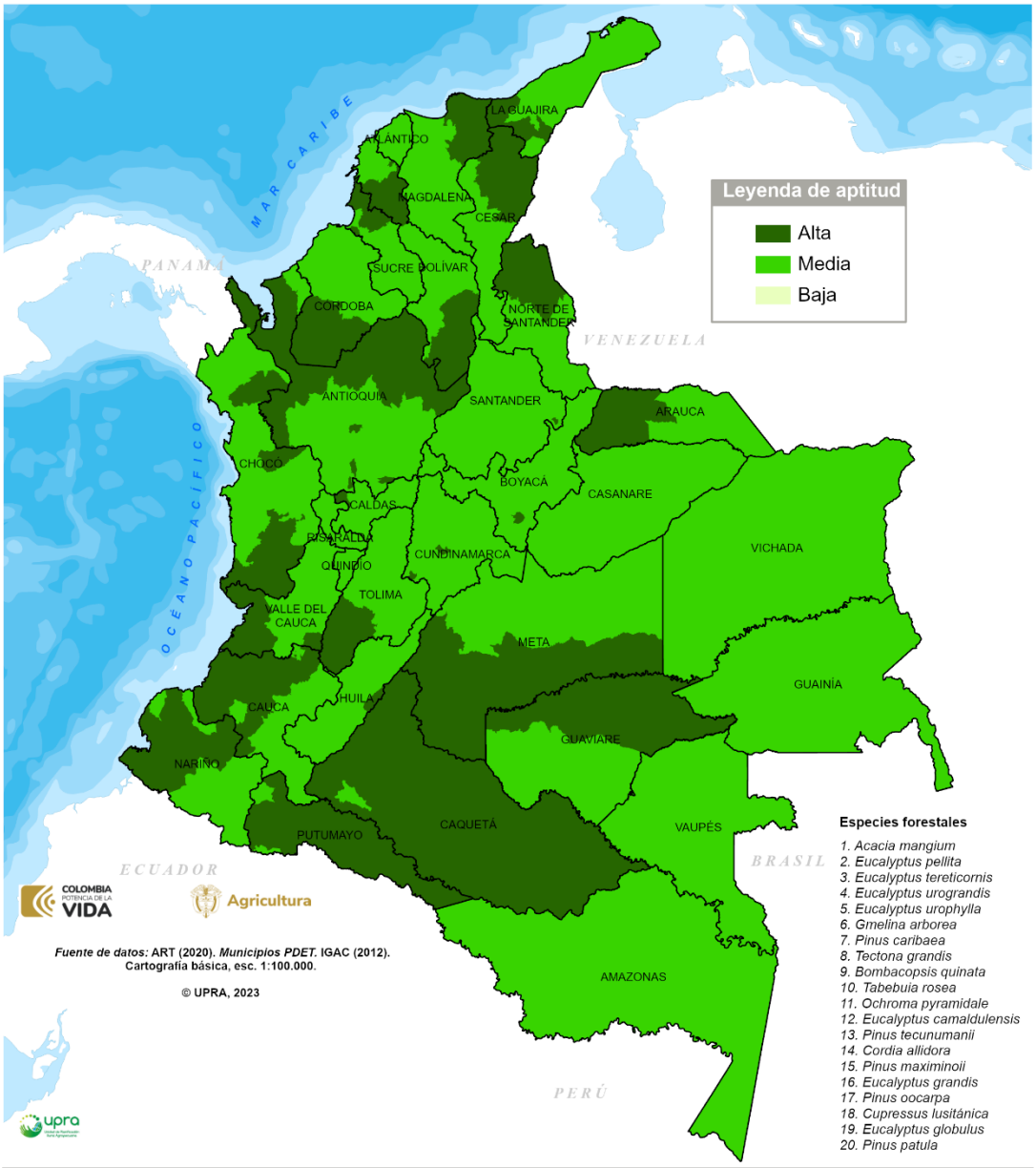
Los rangos para la espacialización de las variables se clasificaron de acuerdo con las categorías de aptitud alta (A1) y media (A2). Se excluyó la posibilidad de que esta variable tomara valores de aptitud baja (A3) por considerar que existen otras fuentes de financiación para municipios afectados (ver tabla siguiente).

Municipios	Aptitud
Declarados PDET	Alta (A1)
Resto	Media (A2)
—	Baja (A3)

Unidad de análisis

Municipios.

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO INDICADORES ECONÓMICOS
Variable planes de desarrollo con enfoque territorial (PDET)

Fuentes de información

Agencia de Renovación del Territorio (2022) *Municipios priorizados con programas de desarrollo con enfoque territorial*. Agencia de Renovación del Territorio (ART).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

3.5.4. Variable *zonas más afectadas por el conflicto armado (ZOMAC)*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: económico		
Criterio asociado: *indicadores económicos*		
Variable: *zonas más afectadas por el conflicto armado (ZOMAC)*	Unidad de medida: municipios	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Estímulo tributario que se aplica a las zonas más afectadas por el conflicto armado, las cuales están constituidas por 344 municipios considerados como los más afectados por la violencia.

Importancia de la variable

Busca el fortalecimiento de la productividad y la competitividad al acelerar el crecimiento y el desarrollo con la creación de empresa y la generación de empleo. Para ello, crea incentivos a los empresarios mediante una tarifa especial y progresiva del impuesto de renta para 10 años a partir del año 2017.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

En el análisis de la variable, no se presentaron límites que se calificaran como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

Depende de la legislación y las decisiones de gobierno, lo que implica que los beneficios y estímulos tributarios podrían ser ampliados o revocados a partir de decisiones políticas. Además, no existe forma en la que se pueda medir la manera en qué se aprovechan los incentivos y en qué actividades productivas se concentran.

Metodología de procesamiento de la información

Precisiones de la información

Listado de municipios declarados zonas más afectadas por el conflicto armado (ZOMAC).

Análisis de la consistencia y preparación de la información

Se contó con la información para todos los municipios del país respecto a si pertenecen o no a las ZOMAC, lo que permite realizar un análisis nacional integral. Se constituyó como una base de información dicotómica.

Clasificación de los municipios por aptitud

Los puntos de corte para las categorías de aptitud se definieron así: con *aptitud alta* (A1), los municipios declarados ZOMAC; y con *aptitud media* (A2), el resto de municipios.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

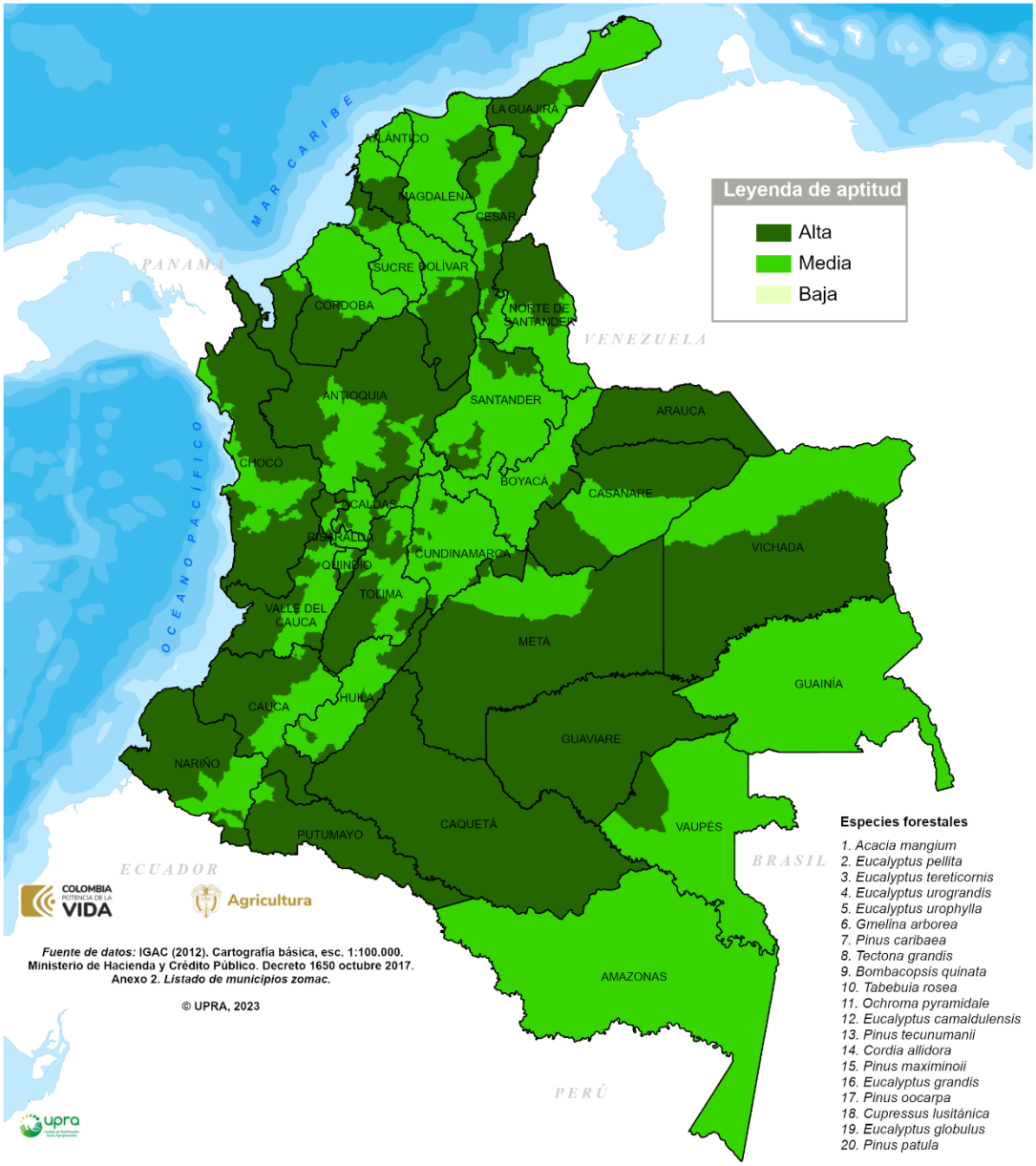
Los rangos para la espacialización de las variables se clasificaron de acuerdo con las categorías de aptitud: alta (A1) y media (A2). Se excluye la posibilidad de que esta variable tome valores (A3) por considerar que sería un castigo en términos de aptitud para los municipios que no sean beneficiados.

Municipios	Aptitud
Declarados ZOMAC	Alta (A1)
Resto	Media (A2)
—	Baja (A3)

Unidad de análisis

Municipios.

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO INDICADORES ECONÓMICOS
Variable zonas más afectadas por el conflicto armado (ZOMAC)

Fuentes de información

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Presidencia de la República de Colombia (2017). *Decreto 1650 de 2017, por el cual se adiciona un artículo a la Parte 1 del Libro 1; la Sección 1 al Capítulo 23 del Título 1 de la Parte 2 del Libro 1 y los Anexos No. 2 y 3, al Decreto 1625 de 2016, Único Reglamentario en Materia Tributaria, para reglamentar los artículos 236 y 237 de la Ley 1819 de 2016. Anexo 2*. Diario Oficial 50.381. Presidencia de la República de Colombia.

3.5.5. Variable *desempeño municipal*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: económico		
Criterio asociado: *indicadores económicos*		
Variable: *desempeño municipal*	Unidad de medida: indicador MDM	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Medición y comparación del desempeño municipal de las entidades territoriales. Se entiende como la capacidad de gestión y resultados de desarrollo —el aumento de la calidad de vida de la población— que considera las capacidades iniciales para incentivar una mejor gestión, la calidad del gasto y la inversión orientada a resultados.

Importancia de la variable

Confirma si se cuenta con administraciones locales robustas con capacidades institucionales adecuadas para cumplir los objetivos, lo cual es una condición necesaria para el desarrollo territorial. Esto toma importancia en escenarios como el actual, donde se busca un mayor fortalecimiento de la gestión descentralizada de las entidades regionales. En Colombia, los estudios del DNP han demostrado que un mejor desempeño municipal se asocia con mejores resultados en otras dimensiones, como la eficiencia en la provisión de servicios públicos, menores tasas de pobreza y mayor competitividad. Por ejemplo: el índice de ambiente regulatorio para creación de empresas (*doing business*), promovido por el Banco Mundial, tiene una correlación positiva con la nueva medición del desempeño municipal (DNP, 2017).

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

En el análisis de la variable, no se presentaron límites que se calificaran como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

Este indicador es global por municipio, lo que significa que no discrimina entre zonas urbanas y rurales, dado que evaluó la información por ente territorial. Adicionalmente, en el año 2021, para la medición del 2020, se obtuvo una actualización metodológica que limitó el nivel de comparabilidad en el tiempo.

Metodología de procesamiento de la información

Precisiones de la información

La variable se basó en la información de la nueva medición del desempeño municipal (MDM) que elaboró el DNP para evaluar la gestión y los resultados de los municipios a partir del estudio de un grupo de expertos en temas de desarrollo territorial, medición y descentralización. Con ello, se actualizaron los estándares de evaluación y se enfocó el desempeño municipal en la gestión pública orientada a resultados, que eran calculados mediante el índice de desempeño integral (IDI).

De acuerdo con el DNP (2018), el indicador MDM permite la comparación entre grupos de municipios más homogéneos, definidos según un componente de capacidades iniciales, como *rankings* al interior de los grupos. El grupo de capacidades iniciales se calcula cada cuatro años con nuevos gobiernos locales. La posición del municipio se calcula dentro de su grupo de capacidades iniciales, cuyo último puesto es máximo 218. Mide entre grupos de municipios con capacidades iniciales similares. Los indicadores de resultados se alinean con los planes de desarrollo territorial para rendición de cuentas. Permite hacer comparaciones al interior de grupos más homogéneos que parten de una misma situación con condiciones.

Análisis de la consistencia y preparación de la información

Esta variable cuenta con la información para todos los municipios del país. El DNP ofrece la consistencia interna a partir de la construcción metodológica de un MDM que está dividido en dos componentes y una categoría de agrupación, como se muestra en la siguiente tabla:

Gestión	Resultados
Movilización de recursos propios (25 %)	Educación (25 %)
Tributario + no tributario - recaudo por instrumentos de OT (per cápita)	Cobertura de educación media
Recaudo por instrumentos de OT (per cápita)	Pruebas Saber 11: Matemáticas y Lectura Crítica
Participación de los recursos propios en la inversión	Cobertura de transición
Ejecución de recursos (25 %)	Salud (25 %)
Ejecución del sistema general de participantes	Mortalidad infantil
Ejecución de recursos propios	Cobertura de vacunación pentavalente
Ejecución de otras fuentes	Cobertura de salud
Cumplimiento en el plazo inicial de los proyectos (SGR)	Servicios públicos (25 %)
Gobierno abierto y transparente (25 %)	Cobertura de energía rural

Organización de la información	Penetración de internet
Rendición de cuentas	Cobertura de acueducto y alcantarillado
Atención al ciudadano	Seguridad y convivencia (25 %)
Gestión de instrumentos de ordenamiento territorial (25 %)	Hurtos por cada 10.000 habitantes
Recaudo predial efectivo	Homicidios por cada 10.000 habitantes
Uso de instrumentos de recaudo de ordenamiento territorial	Casos de violencia intrafamiliar por cada 10.000 habitantes

Componentes

El primero, que se enfoca en la gestión, incluye acciones y decisiones que adelanta la administración local para transformar los recursos en un mayor bienestar de la población. En su interior, se subdivide en cuatro subcomponentes, todos con igual peso (25 %): movilización de recursos propios; ejecución de recursos; gobierno abierto y transparencia; uso y recaudo por instrumentos de ordenamiento territorial. Este componente reúne las siguientes 12 variables:

Movilización de recursos propios

Variable	Metodología	Fuente
Ingresos tributarios y no tributario sin recaudo por ordenamiento territorial per cápita	Ingresos tributarios y no tributario*/Recaudo por OT**/Población *1.1 Ingresos tributarios (código A1000-OEC) + 1.2 ingresos no tributarios (código A2000-OEC). **Predial (TI.A.1.3.1-FUT ingresos); delineación urbana (TI.A.1.8-FUT ingresos); valorización (TI.A.2.3.1.1-FUT ingresos) y plusvalía (TI.A.2.3.2.-FUT ingresos) correspondiente a la vigencia	Operaciones efectivas de caja (OEC) y DNP Formulario único territorial (FUT) y DANE
Recaudo por instrumentos de ordenamiento territorial (per cápita)	Recaudo total mediante cuatro instrumentos de ordenamiento territorial (predial, delineación urbana, valorización y plusvalía)*/Población. *Predial (TI.A.1.3.1-FUT ingresos); delineación urbana (TI.A.1.8-FUT ingresos); valorización (TI.A.2.3.1.1-FUT ingresos); y plusvalía (TI.A.2.3.2.-FUT ingresos) correspondiente a la vigencia.	Formulario único territorial (FUT) y DANE

Participación de los recursos propios en la inversión	Inversión financiada con recursos propios*/Inversión total del municipio** *"Ingresos corrientes de libre destinación, excepto el 42 % de libre destinación de propósito general" (fuente: 100-FUT inversión) + "Ingresos corrientes con destinación específica-Recursos propios" (fuente: 100-FUT inversión). El valor se toma de la columna *obligaciones* del formato *Gastos de inversión* del FUT. **Se toma el rublo "5. Gastos de capital (inversión)" de las OEC.	Formulario único territorial (FUT) y Operaciones efectivas de caja (OEC)

Ejecución de recursos

Variable	Metodología	Fuente
Ejecución del sistema general de participaciones	Recursos obligados en la vigencia de la fuente SGP*/Asignado total SGP para la vigencia** *Suma de las obligaciones con las fuentes descritas en la tabla *Fuentes SGP*, registradas en el formato *Gastos de inversión* del FUT. **Asignaciones de la vigencia SICODIS.	Formulario único territorial (FUT) y sistema de información y consulta de distribuciones (SICODIS)
Ejecución de recursos propios	Recursos obligados fuente propios*/Recursos presupuestados con fuente propias** *"Ingresos corrientes de libre destinación, excepto el 42 % de libre destinación de propósito general" (fuente: 100-FUT inversión) + "Ingresos corrientes de libre destinación con destinación específica/Recursos propios" (fuente 100-FUT inversión). Él valor se tomó de la columna *Obligaciones* del formato *Gastos de inversión* del FUT. **Presupuesto definitivo del formato gastos de inversión del FUT de las mismas fuentes (100 y 110).	Formulario único territorial (FUT)
Ejecución de otras fuentes	Recursos obligados otras fuentes/Recurso presupuestado con otras fuentes* *Se toman los valores de la columna Obligaciones y de la columna *Presupuesto definitivo* correspondiente a las fuentes con código referido en la tabla *Otras fuentes*, registradas en el formato de gastos de inversión del FUT.	Formulario único territorial (FUT)

Cumplimiento en el plazo inicial de los proyectos de regalías (SGR)	Cumplimiento de la programación inicial de los proyectos Promedio de los cuatro trimestres del año de la vigencia del componente 10 del índice de gestión de proyectos de regalías (IGR).	Sistema General de Regalias (SGR)

Gobierno abierto y transparencia

Variable	Metodología	Fuente
Organización de la información	«¿Su municipio cuenta con tablas de retención Documental (TRD) elaboradas y aprobadas?»	Pregunta 1: "Gestión documental" Gestión *web*
	«Para la gestión documental, ¿su municipio aplica las tablas de retención documental (TRD) aprobadas?»	Pregunta 2: "Gestión documental" Gestión *web*
	«¿Su municipio actualiza las tablas de retención documental (TRD)? ¿Cada cuántos meses?»	Pregunta 3: "Gestión documental" Gestión *web*
Rendición de cuentas	Promedio de calificación en los cuatro trimestres del año en el componente de transparencia del índice de gestión de proyectos de regalías (IGPR) Debe multiplicarse por 5 para que el indicador quede entre 0 y 100, pues la máxima puntuación que tiene es de 20 (sólo se mide en el caso de que el municipio tenga proyectos de regalías aprobadas).	Sistema General de Regalias (SGR) e índice de gestión de proyectos de regalías (IGPR)
	«¿En el plan de acción anual está incluida la estrategia de rendición de cuentas?»	Pregunta 1: "Rendición de Cuentas" Gestión *web*
	«¿La entidad publica los resultados de la consulta del proceso de rendición de cuentas identificando las prioridades establecidas por los ciudadanos?»	Pregunta 8: "Rendición de Cuentas" Gestión *web*
Atención al ciudadano	«¿La entidad cuenta con procesos o procedimientos de servicio al ciudadano documentados e implementados (peticiones, quejas, reclamos y denuncias, trámites y servicios)?»	Pregunta 11: "Servicio al ciudadano" Gestión *web*
	«¿Incluyó el componente del servicio al ciudadano en el plan anticorrupción y de atención al ciudadano?"	Pregunta 1, opción 2: "Anticorrupción" Gestión *web*

Uso y recaudo por instrumentos de ordenamiento territorial (OT)

Variable	Metodología	Fuente
Tasa efectiva de recaudo predial por mil pesos de avalúo	Recaudo predial*/Avalúo de los predios en la vigencia**) X 1000 *Se toma el concepto "Impuesto predial unificado vigencia actual" (TI.A.1.3.1 columna *total ingreso-ingresos FUT*). ** Avalúo catastral, reporte IGAC.	Formulario único territorial (FUT) e Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)
Uso de instrumentos de ordenamiento territorial	Número de instrumentos de ordenamiento territorial que usa la entidad territorial* *Predial (TI.A.1.3.1-FUT ingresos); delineación urbana (TI.A.1.8-FUT ingresos); valorización (TI.A.2.3.1-FUT ingresos); y plusvalía (TI.A.2.3.2-FUT ingresos) correspondientes a la vigencia. Si recaudó por estas fuentes, se considera que utilizó el instrumento (su puntuación es 1 para el instrumento). En tal sentido, el máximo valor será 4 y el menor, 0.	Formulario único territorial (FUT)

El segundo componente, de resultados, permite saber si las acciones realizadas en el período evaluado tuvieron incidencia en el bienestar para la comunidad y desarrollo territorial. Mide los cambios en las condiciones de vida en relación con el acceso ciudadano a educación, salud, servicios públicos, seguridad y convivencia familiar. Este componente reúne las siguientes 14 variables:

Educación

Variable	Metodología	Fuente
Cobertura en educación media neta	Estudiantes matriculados en educación media en el rango de edad aceptable/Población del municipio en tal rango de edad de la vigencia	Ministerio de Educación Nacional, disponible en TerriData
Cobertura en transición media neta	Estudiantes matriculados en transición en el rango de edad aceptable/Población del municipio en tal rango de edad de la vigencia	Ministerio de Educación Nacional, disponible en TerriData
Pruebas Saber 11 matemáticas y lectura crítica	Puntaje promedio estudiantes residentes del municipio en las secciones de Matemáticas y Lectura Crítica de las pruebas Saber 11 de la vigencia	Ministerio de Educación Nacional, disponible en TerriData

Salud

Variable	Metodología	Fuente
Mortalidad infantil de menores de un año	Fallecidos menores de un año por cada 1.000 nacidos vivos en la vigencia anterior (un año de rezago).	Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), disponible en TerriData
Cobertura en vacunación pentavalente	Menores de un año en un municipio con la tercera dosis aplicada de vacuna pentavalente/Población total menor de un año a vacunarse de la vigencia.	Ministerio de Educación Nacional, disponible en TerriData
Cobertura en salud	Número de afiliados registrados en la BDUA en los regímenes contributivo y subsidiado a diciembre/Proyección población DANE del municipio de la vigencia.	Ministerio de Educación Nacional, disponible en TerriData

Vivienda

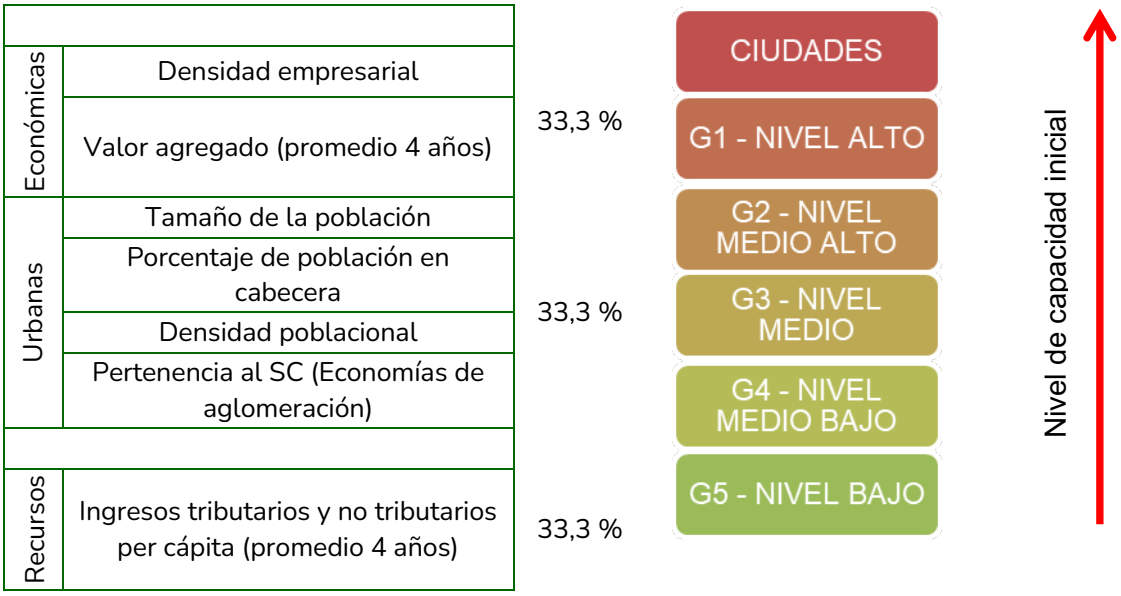
Variable	Metodología	Fuente
Cobertura energía de la zona *resto*	Viviendas con acceso a red interconectada sobre total viviendas de la vigencia anterior (un año de rezago).	Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), disponible en TerriData
Penetración de internet (banda ancha residencial)	Número de suscriptores con acceso dedicado a internet sobre la población total de la vigencia.	Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, disponible en TerriData
Cobertura de acueducto y alcantarillado	Relación entre los predios residenciales que tienen servicio y el total de los predios residenciales de la vigencia (promedio de los dos indicadores).	Reporte de Estratificación y Coberturas (REC), disponible en TerriData

Seguridad y convivencia

Variable	Metodología	Fuente
Hurtos por cada 10.000 habitantes	Casos de hurtos reportados por cada 10.000 habitantes.	Ministerio de Defensa, Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), disponible en TerriData
Homicidios por cada 10.000 habitantes	Casos de homicidios por cada 10.000 habitantes.	
Casos de violencia intrafamiliar por cada 10.000 habitantes	Casos de violencia intrafamiliar por cada 10.000 habitantes.	

Un factor diferencial de esta metodología es que categoriza los municipios en grupos comparables que comparten características definidas, como las capacidades (dotaciones) iniciales, lo que permite un análisis comparativo según las diferencias estructurales en las trayectorias de desarrollo territorial. Para ellos, se definieron tres dimensiones: *la actividad económica*; *las características demográficas y geográficas urbanas*; *los recursos propios del ingresos tributarios y no tributarios*, lo cual permite la conformación de seis grupos de municipios, como se muestra en la siguiente gráfica:

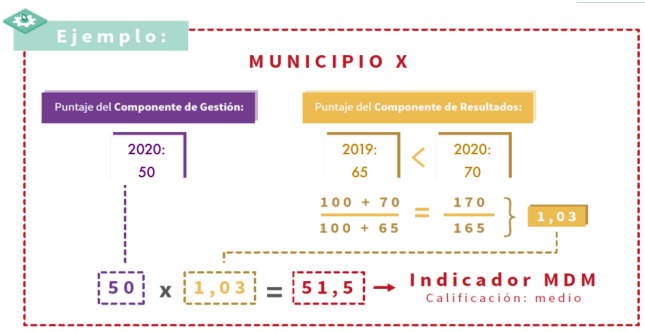
Grupos comparables por nivel de capacidad inicial



Para estimar las capacidades iniciales, se utilizó el promedio de las variables de los cuatro años del Gobierno saliente (2011-2015) y se estandarizaron los indicadores entre todos los municipios. Luego, se definió un índice de 0 a 1, donde 1 representa los municipios con mayor dinamismo económico (mayor valor agregado y mayor densidad empresarial) altamente urbanos y con los mayores recursos corrientes; y 0, las respectivas contrapartes. En el año 2021 la metodología de clasificación municipal fue ajustada para la medición del desempeño 2020 en donde se ajustó la temporalidad, puesto que la clasificación anterior se construyó con información del 2015 o del 2012-2015; mientras que la actualización tomó la del 2019 o 2016-2019. Esta nueva clasificación estará vigente del 2020 al 2023.

Clasificación de los municipios por aptitud

Para determinar los rangos de aptitud para el ejercicio de evaluación de tierras, se asumió la calificación del indicador de desempeño municipal (MDM) que elaboró el DNP a partir de los puntajes por municipio para cada uno de los componentes de gestión y resultados de dos años comparados. Se calculó el cambio del año con respecto al anterior para el componente de resultados (que muestra el bienestar de la población). EL cambio en el componente de resultados entre un año y otro se multiplicó por el componente de gestión. Es decir: si no hubo cambios en el componente de resultados, no hubo cambios en el indicador; mientras que, si hubo un cambio positivo, entonces se validó que la gestión fue orientada a resultados.



En el componente de resultados, no se comparó al municipio con sus pares, sino con los resultados de otros años. Finalmente, con el valor del indicador MDM se clasificaron los rangos de aptitud, así: con *aptitud alta* (A1), los municipios con un puntaje mayor a 55 puntos; con *aptitud media* (A2), los municipios con un puntaje de entre 45 y 55 puntos; y con *aptitud baja* (A3), los municipios con un puntaje menor a 45 puntos.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

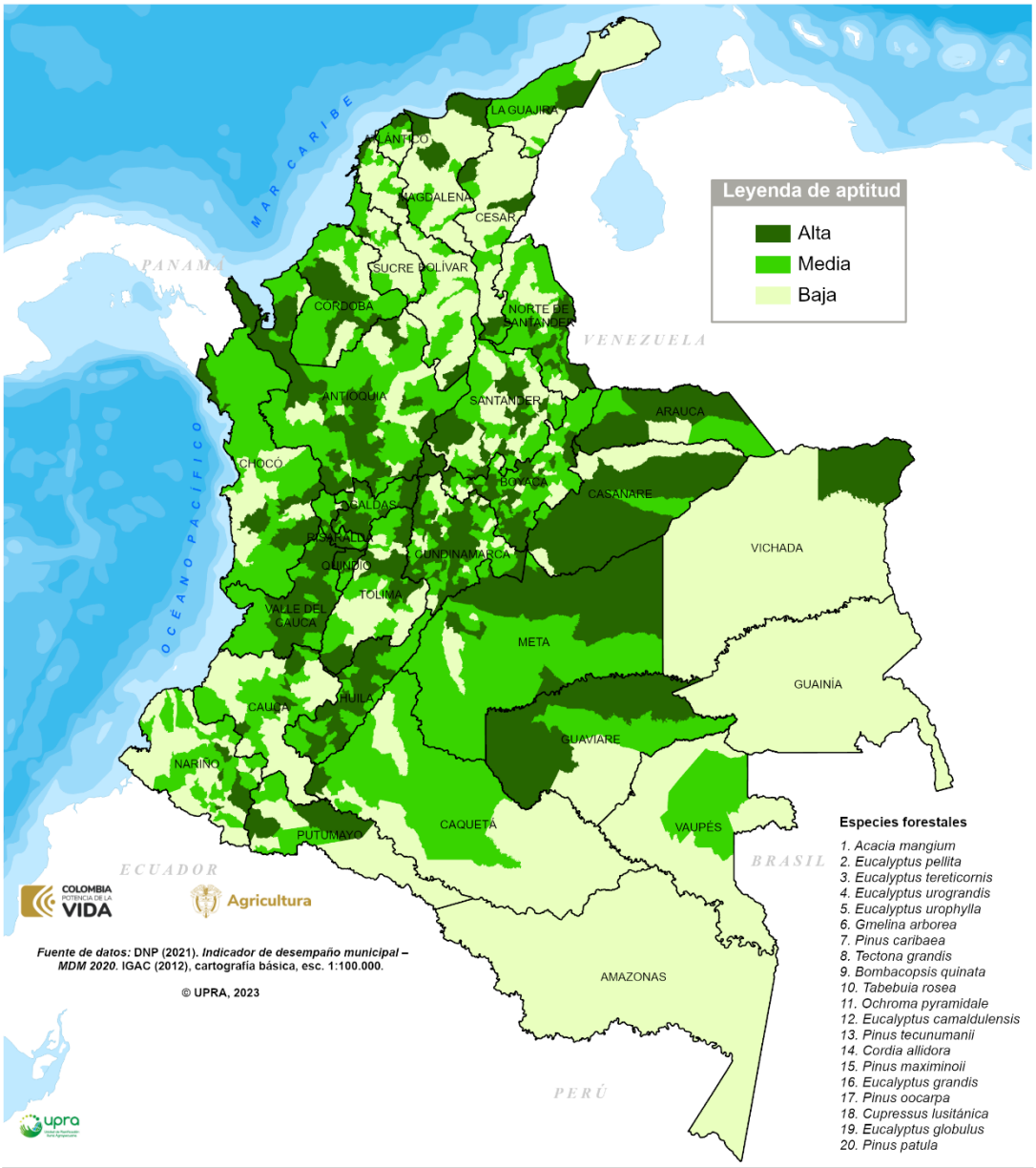
Los rangos para la espacialización de la variable se clasificaron de acuerdo con las categorías de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3), según los resultados de la medición de desempeño municipal (MDM) del DNP para el año 2019, como se puestra en al siguiente tabla:

Indicador MDM (puntos)	Aptitud
≥55	Alta (A1)
45-55	Media (A2)
<45	Baja (A3)

Unidad de análisis

Indicador de la medición del desempeño municipal (MDM).

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO INDICADORES ECONÓMICOS
Variable desempeño municipal

Fuentes de información

Departamento Nacional de Planeación (2020). *Medición del desempeño municipal MDM. Informe de resultados: MDM 2019*. Departamento Nacional de Planeación (DNP). https://n9.cl/i4m22n

Departamento Nacional de Planeación (2019). *Resultados nueva medición de desempeño municipal 2018*. Departamento Nacional de Planeación (DNP). https://n9.cl/bzgi1

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

3.6. Criterio *seguridad ciudadana*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: social		
Criterio: *seguridad ciudadana*		
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Variables asociadas al criterio

Extorsiones rurales, expresadas en tasa de extorsiones rurales por cada 1000 habitantes.

Hurtos rurales, expresados en tasa de hurtos rurales por cada 1000 habitantes.

Secuestros rurales, expresados en tasa de secuestros rurales por cada 1000 habitantes.

Homicidios rurales, expresados en tasa de homicidios rurales por cada 1000 habitantes.

Decomisos de madera comercial, expresado metros cúbicos de madera decomisada por municipio.

Definición

Busca mostrar dónde las personas pueden vivir libres de la violencia y el delito; dónde ocurre el peligro o las afectaciones a la integridad física; y dónde hay riesgo del pérdida de la libertad y del patrimonio por acciones fuera de la ley.

Importancia del criterio

Refleja información de municipios donde se presentan y repiten hechos delictivos que están asociados a la presencia de grupos armados ilegales y delincuencia común, lo cual podría incidir negativamente en la dinámica de la producción. Ya que las condiciones de seguridad adversas en el área rural han sido limitantes para la inversión en proyectos productivos, una caracterización de la seguridad ciudadana municipal es relevante para orientar a los inversionistas privados y las políticas públicas del sector agropecuario. En las zonas donde han existido fenómenos delictivos de manera reiterada, se ven afectadas la productividad, la seguridad y la integridad física, psicológica, vida, honra y bienes de las poblaciones asentadas, que soportan acciones ligadas al secuestro, extorsiones, hurtos u homicidios. Estas acciones delictivas generan un ambiente de desconfianza y una ausencia de inversión en proyectos productivos que mejorarían la calidad de vida, el empleo y las oportunidades de los pobladores rurales.

Para las actividades forestales también se presentan fenómenos ilícitos, como la explotación ilegal de madera, que será tratada dentro de este criterio a través del reporte de decomisos de madera comercial que reflejan una acción irregular en el proceso de aprovechamiento de la madera y puede ser un buen indicador de que en municipios del país se deben procurar mejores prácticas.

El propósito consiste en cumplir con el pacto intersectorial por la madera legal, iniciativa de entidades públicas y privadas que busca asegurar que la madera extraída, transportada, comercializada y utilizada provenga exclusivamente de fuentes legales. En consecuencia, cuanta más frecuente sea la presentación de estos flagelos y situaciones irregulares, tanto menor será la aptitud de la zona.

Limitantes de la evaluación del criterio

En las bases de datos entregadas por la Policía Nacional, para los delitos de secuestro, extorsión, hurtos y homicidios se encontraron algunos municipios sin información. En cuanto a la información de decomisos de madera, fue compilada y clasificada por el Ideam para poder separarla por especie y determinar cuál es madera nativa y cuál comercial, por lo que siempre se dependerá de este proceso posterior a la información que entrega la Policía Nacional.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

En el análisis de cada una de las variables, ninguna presentó límites que se calificaran como zonas no aptas (N1).

Metodología de procesamiento de la información

La ponderación del criterio se construyó a partir de la metodología AHP (Analytics Hierarchy Process) condensada en la matriz de comparaciones pareadas de cinco variables, de acuerdo con la siguiente tabla:

Criterio	Variables	*Extorsiones rurales*	*Hurtos rurales*	*Secuestros rurales*	*Homicidios rurales*	*Decomisos de madera comercial*
Seguridad ciudadana	*Extorsiones rurales*	1				
	Hurtos rurales	1/3	1			
	Secuestros rurales	1/3	1/3	1		
	Homicidios rurales	1/3	1/3	1/3	1	
	Decomisos de madera comercial	1/5	1/5	1/5	1/3	1

La escala de importancia dentro del proceso AHP consideró la valoración entre pares de variables, como se se registra en la siguiente tabla:

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Sumamente	Muy fuertemente	Fuertemente	Moderadamente	Igualmente	Moderadamente	Fuertemente	Muy fuertemente	Sumamente
Menos importante				**Igual en importancia**	**Más importante**			

Con el uso del programa PriEsT (Priority Estimation Tool), se calcularon las ponderaciones de cada variable dentro del criterio, de acuerdo con la calificación de los municipios y las categorías de aptitud, para cada una de las cuales se asignó el valor de alta (A1), media (A2) y baja (A3), como se muestra a continuación:

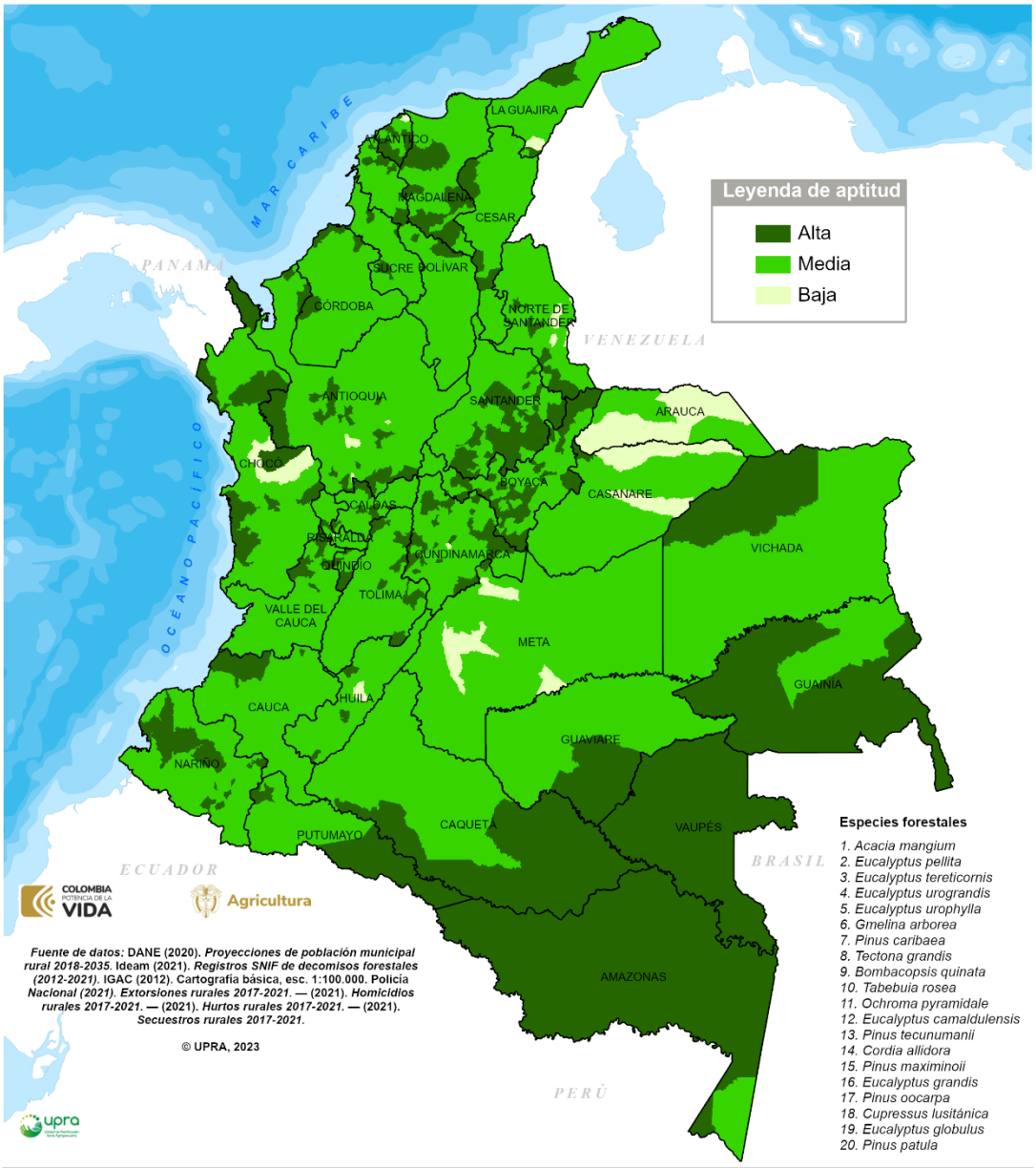
Criterio	Variable	Ponderación (%)
Seguridad ciudadana	*Extorsiones rurales*	41,4
	Hurtos rurales	26,7
	Secuestros rurales	17,2
	Homicidios rurales	10,0
	Decomisos de madera comercial	4,7
Total de la ponderación		**100,0**

Rangos para la asignación de valores de aptitud

Para cada categoría se hizo una reclasificación numérica, que consiste en asignar un valor al criterio con las categorías de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3), como se registra en la siguiente tabla:

Variables	Unidad de medida	Aptitud		
		Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)
Extorsiones rurales	Tasa de extorsiones rurales por cada 1.000 habitantes	Sin ocurrencia del delito	≤0,2245	>0,2245
Hurtos rurales	Tasa de hurtos rurales por cada 1.000 habitantes	Sin ocurrencia del delito	≤7,3112	>7,3112
Secuestros rurales	Tasa de secuestros rurales por cada 1.000 habitantes	Sin ocurrencia del delito	≤0,0550	>0,0550
Homicidios rurales	Tasa de homicidios rurales por cada 1.000 habitantes	Sin ocurrencia del delito	≤0,6281	>0,6281
Decomisos de madera comercial	Decomiso por municipio (m^3)	Sin reporte de decomiso	≤15.2	> 15.2

Representación cartográfica del criterio



CRITERIO SEGURIDAD CIUDADANA

Fuentes de información

Comisión Interamericana de Derechos Humanos (2009). *Informe sobre seguridad ciudadana y derechos humanos*. Organización de los Estados Americanos (OEA). https://n9.cl/tn8bg

Congreso de la República de Colombia (2000). *Ley 599 de 2000, por la cual se expide el Código Penal*. Diario Oficial 44097. Congreso de la República de Colombia.

Congreso de la República de Colombia (2004). *Ley 906 de 2004, por la cual se expide el Código de Procedimiento Penal*. Diario Oficial 45.658. Congreso de la República de Colombia.

Congreso de la República de Colombia (2016). *Ley 1801 de 2016, por la cual se expide el Código Nacional de Seguridad y Convivencia Ciudadana*. Diario Oficial 49.949 Congreso de la República de Colombia.

Congreso de la República de Colombia (2018). *Ley 1944 de 2018, por medio del cual se modifica la Ley 599 de 2000 y se crean los tipos penales de abigeato y abigeato agravado*. Diario Oficial 50.820. Congreso de la República de Colombia.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2018). *Censo nacional de población y vivienda 2018: población centro poblado y rural disperso*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2021). *Registros SNIF de decomisos forestales. (2012-2021)*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (2014). *Comportamiento del homicidio, Colombia, 2013*. Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (INMLCF). https://n9.cl/qivwkx

Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (2018). *Homicidio: Colombia 2018*. Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (INMLCF). https://n9.cl/b7x65

MacQueen, J. (1967). Some methods for classification and analysis of multivariate observations. En Le Cam, L.M. & Neyman, J. *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Volume 1: statistics* (pp. 281-297). Statistical Laboratory of the University of California. https://n9.cl/84in9x

Policía Nacional de Colombia (2020). *Estadística delictiva*. Policía Nacional de Colombia, Grupo Información de Criminalidad (GICRI), DIJIN. www.policia.gov.co/grupo-información-criminalidad/estadistica-delictiva

3.6.1. Variable *extorsiones rurales*

Ficha metodológica de variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: social		
Criterio: *seguridad ciudadana*		
Variable: *extorsiones rurales*	Unidad de medida: tasa de extorsiones rurales por cada 1000 habitantes	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Consiste en obligar a una persona, con el uso de violencia o intimidación, a realizar u omitir un acto o negocio jurídicos con ánimo de lucro y con la intención de producir un perjuicio patrimonial. La persona que realiza estas actividades delictivas está definida en el Código Penal como «El que constriña a otro a hacer, tolerar u omitir alguna cosa, con el propósito de obtener provecho o cualquier utilidad o beneficio ilícito, para sí o para un tercero».

Importancia de la variable

Muestra la ocurrencia de la actividad extorsiva en un periodo de tiempo específico, en los municipios del país; de ahí que su importancia está en que constituye una herramienta para el sector, los productores y potenciales inversores, al permitir proyectar el comportamiento del delito a nivel municipal. Contribuye a la formulación de lineamientos de políticas desde el sector productor forestal para tomar las medidas de mitigación respectivas por parte de los productores o posibles inversores.

Limitantes de la evaluación de la variable

Las fuentes de información consultadas para la variable extorsiones rurales, no cuentan con registros para algunos municipios, por lo que, bajo el principio de precaución, estos se asimilaron al registro cero y, en consecuencia, se clasificaron en el rango de aptitud alta (A1).

Metodología de procesamiento de la información

Precisiones de la información

Se analizó el número de extorsiones ocurridas en las zonas rurales de cada municipio, a partir de los registros de la Policía Nacional.

Análisis de consistencia y preparación de la información

En la construcción de esta variable, se relativizó la información del número de extorsiones en zona rural respecto a la población rural de cada municipio, para lo cual se calculó el "índice de extorsiones rurales por cada 1000 habitantes rurales" y se realizó la sumatoria de cinco años a partir de las series históricas del número de extorsiones registradas en la zona rural para el período 2017-2021. Luego, con base en las series de proyección de población municipal del DANE (2018), de los Microdatos del Censo CNPV -2018, para el país, se tomó la población por municipio proyectada para el año 2021, la cual se encuentra discriminada entre cabecera y resto, y se extrajo la información del ámbito geográfico denominado resto, asociándola a la población rural para este año. Resultado de los dos cálculos anteriores, se efectuó la relación de la sumatoria del número de extorsiones rurales sobre el número promedio de habitantes en zona rural y se proyectó como índice por cada 1000 habitantes.

Clasificación por aptitud

Para clasificar la variable luego de la construcción del índice, se dividió la serie en dos grupos: el primero, con los municipios que no registraron extorsiones; el segundo, con los municipios que tenían uno o más casos de extorsiones registrados durante este período de análisis. A continuación, al primer grupo de municipios donde no ocurrió el delito se les asignó aptitud alta (A1); para el segundo grupo, se aplicó el método estadístico *k*-medias, que permite realizar agrupamiento de datos con el objetivo que sean muy similares entre los individuos del grupo y lo más disímiles posibles entre otros grupos. Para la clasificación por aptitud de este grupo de municipios se calcularon dos clústeres ($k = 2$).

El algoritmo *k*-medias, como otros métodos de agrupamiento, parte de una función de aprendizaje no supervisado en el que no existen clases predefinidas y cuyos resultados están fuertemente determinados por el conjunto de datos disponibles y las medidas de similitud o distancia utilizadas para comparar datos. Con ello, se busca minimizar la distancia intraclústeres y maximizar la distancia interclústeres, partiendo de la distancia como medida de similitud. Si $d(i, j)$ es mayor a $d(i, k)$ significa que el objeto i es más parecido a k que a j. El método *k*-medias, desarrollado por MacQueen en el año 1967, se basó en un único parámetro (número de grupos), definido, en este caso, en 2 para las aptitudes media (A2) y baja (A3). Por tratarse de un agrupamiento univariado, no estuvo sesgado por el orden de presentación inicial de los datos. Los pasos para la estimación del clúster *k*-medias fueron los siguientes:

a) Se ordenaron los datos de mayor a menor o de menor a mayor, según la incidencia del fenómeno socioeconómico en estudio y la supuesta relación con los niveles de aptitud para la cadena productiva.

b) El total de datos disponibles se dividió en dos grupos. Luego, se calculó el centroide —centro geométrico del clúster—, base para la construcción de la variable objetivo, que fue la distancia. El centroide que se propuso fue el promedio aritmético de cada agrupamiento.

c) Dado que el algoritmo *k*-medias busca minimizar la distancia interna —es decir, la suma de las distancias de los datos de su centroide—, se calculó para cada dato el cuadrado de las diferencias con los centroides de los clústeres inicialmente calculados (dos) y se sumaron los valores para todos los datos del clúster.

d) Se asignó cada elemento al clúster, cuyo dato fuera el mínimo de los dos posibles, y se recalcularon los centroides con los nuevos agrupamientos.

e) Iterativamente, se fueron actualizando los centroides en función de las asignaciones de puntos a clúster hasta que los centroides dejaron de cambiar.

Como parte del mismo proceso, el procedimiento *k*-medias considera una fase de validación, que consiste en evaluar la existencia de los clústeres que sólo están integrados por datos extremos (*outliers*); comparar dos conjuntos de clústeres alternativos evaluando la consistencia con los fenómenos socioeconómicos; y comparar los resultados de los agrupamientos con los derivados de otras técnicas de agrupamiento para determinar si los resultados están describiendo el fenómeno socioeconómico en estudio.

Al realizar la clasificación de esta última serie en dos agrupaciones, se le asignó la calificación de aptitud media (A2) al grupo de municipios con el menor número de extorsiones rurales por cada 1.000 habitantes rurales y al grupo restante, con el mayor número de delitos por habitantes, se le asignó un rango de aptitud baja (A3). Los rangos de aptitud fueron: con *aptitud alta* (A1), los municipios donde no se ha reportado el delito (0); con *aptitud media* (A2), los municipios del resultado del primer clúster, donde se han reportado hasta 0,2245 casos de extorsiones rurales por cada 1000 habitantes rurales; y con *aptitud baja* (A3), los municipios del resultado del segundo clúster, donde se han reportado más de 0,2245 casos de extorsiones rurales por cada 1000 habitantes rurales.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

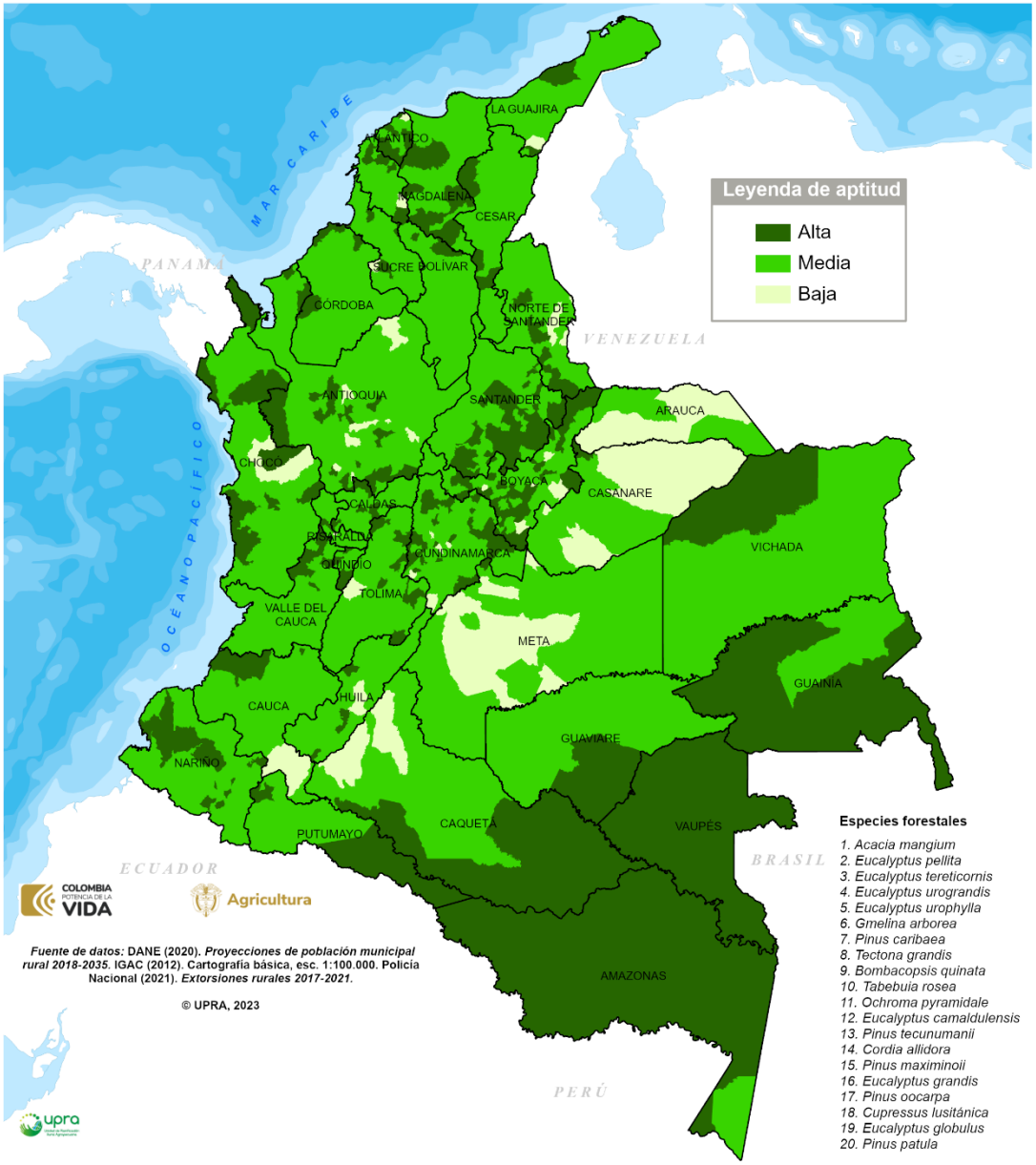
Los rangos para la espacialización de la variable se clasificaron de acuerdo con las categorías de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3), como se muestra a continuación:

Tasa de extorsiones rurales por cada 1000 habitantes	Aptitud
Sin ocurrencia del delito	Alta (A1)
≤0,2245	Media (A2)
>0,2245	Baja (A3)

Unidad de análisis

Tasa de extorsiones rurales por cada 1000 habitantes.

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO SEGURIDAD CIUDADANA
Variable extorsiones rurales

Fuentes de información

Congreso de la República de Colombia (2004). *Ley 906 de 2004, por la cual se expide el Código de Procedimiento Penal*. Diario Oficial 45.658. Congreso de la República de Colombia.

Congreso de la República de Colombia (2000). *Ley 599 de 2000, por la cual se expide el Código Penal*. Diario Oficial 44097. Congreso de la República de Colombia.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

MacQueen, J. (1967). Some methods for classification and analysis of multivariate observations. En Le Cam, L.M. & Neyman, J. *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Volume 1: statistics* (pp. 281-297). Statistical Laboratory of the University of California. https://n9.cl/84in9x

Policía Nacional de Colombia (2020). *Estadística delictiva*. Policía Nacional de Colombia, Grupo Información de Criminalidad (GICRI), DIJIN. www.policia.gov.co/grupo-información-criminalidad/estadistica-delictiva

3.6.2. Variable *hurtos rurales*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: social		
Criterio: *seguridad ciudadana*		
Variable: *hurtos rurales*	Unidad de medida: Tasa de hurtos rurales por cada 1000 habitantes	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Consiste en apoderarse de una cosa mueble ajena con el propósito de obtener provecho para sí o para otro. Se estima que existe hurto calificado en la medida en que se realice con violencia sobre las cosas; dejando la víctima en condiciones de indefensión o inferioridad; o aprovechándose de estas condiciones. Es hurto rural si se comete a través de la penetración o permanencia arbitraria, engañosa o clandestina en un lugar habitado o en las dependencias inmediatas, aunque no se encuentren los moradores; o con escalamiento, con llave sustraída o falsa, ganzúa o cualquier otro instrumento similar; o al violar o superar la seguridad electrónica o semejantes.

Importancia de la variable

La producción en el sector rural se ha visto afectada por la delincuencia común, que ha traído consigo toda clase de hurtos contra los bienes muebles de las personas, entre ellos, el hurto a motocicletas, comercio, personas, residencia y automotores. Por esta razón, la variable merece especial importancia, pues indica la vulnerabilidad o posible riesgo de los bienes muebles tanto de los pobladores como de los potenciales inversores ubicados en las zonas de alta posibilidad de amenaza de hurto. Esto atenta contra la seguridad y la integridad de los bienes muebles de la población y las dinámicas productivas establecidas.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

El análisis de la variable no presentó límites que se calificaran como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

En las fuentes de información consultadas para la variable hurto rural, se encontraron municipios sin registros. Estos municipios, bajo el principio de precaución, se asimilaron al registro cero y se clasificaron en el rango de aptitud alta (A1).

Metodología de procesamiento de la información

Precisiones de la información

Se analizó el número de hurtos a motocicletas, comercio, personas, residencia y automotores en zona rural ocurridos en cada municipio a partir de los registros de la Policía Nacional.

Análisis de consistencia y preparación de la información

En la construcción de esta variable se relativizó la información del número de hurtos a motocicletas, comercio, personas, residencia y automotores en zona rural respecto a la población rural de cada municipio. Para ello, se construyó el índice de hurtos rurales por cada 1000 habitantes rurales, A partir de las series históricas del número de hurtos registrados en la zona rural para el período 2017-2021 remitidas por la Policía Nacional, se realizó la sumatoria de los cinco años. Luego, con base en las series de proyección de población municipal del DANE (2020), de los microdatos del censo nacional de población y vivienda (CNPV) 2018, se tomó la población por municipio proyectada para el año 2021, la cual se encuentra discriminada entre cabecera y resto, y se extrajo la información del ámbito geográfico denominado *resto*, asociándola a la población rural para este año. Resultado de anterior, se efectuó la relación de la sumatoria del número de hurtos rurales sobre el número promedio de habitantes en zona rural y se proyectó como índice por cada 1000 habitantes.

Clasificación por aptitud

Para clasificar la variable luego de la construcción del índice de hurtos por cada 1000 habitantes que combina la información para los cinco años de la serie, ésta se dividió en dos grupos: con los municipios que no registraron hurtos; y con los municipios que tenían uno o más casos de hurtos registrados. A continuación, al primer grupo de municipios que no contaban con casos registrados se les asignó *aptitud alta* (A1) para la presente zonificación de aptitud y, para el segundo grupo, se aplicó el método estadístico *k*-medias, que permite realizar agrupamiento de datos con el objetivo que sean muy similares entre los individuos del grupo y lo más disímiles posibles entre otros grupos, para la clasificación por aptitud de este grupo de municipios se calcularon dos clústeres ($k = 2$).

El algoritmo *k*-medias, como otros métodos de agrupamiento, parte de una función de aprendizaje no supervisado en el que no existen clases predefinidas y cuyos resultados están fuertemente determinados por el conjunto de datos disponibles y las medidas de similitud o distancia utilizadas para comparar datos. Con ello, se busca minimizar la distancia intraclústeres y maximizar la distancia interclústeres, partiendo de la distancia como medida de similitud. Si $d(i, j)$ es mayor a $d(i, k)$ significa que el objeto i es más parecido a k que a j. El método *k*-medias, desarrollado por MacQueen en el año 1967, se basó en un único parámetro (número de grupos), definido, en este caso, en 2 para las aptitudes media (A2) y baja (A3). Por tratarse de un agrupamiento univariado, no estuvo sesgado por el orden de presentación inicial de los datos. Los pasos para la estimación del clúster *k*-medias fueron los siguientes:

a) Se ordenaron los datos de mayor a menor o viceversa, según la incidencia del fenómeno socioeconómicoo y la supuesta relación con los niveles de aptitud para la cadena productiva.

b) El total de datos disponibles se dividió en dos grupos. Luego, se calculó el centroide —centro geométrico del clúster—, base para la construcción de la variable objetivo, que fue la distancia. El centroide que se propuso fue el promedio aritmético de cada agrupamiento.

c) Dado que el algoritmo *k*-medias busca minimizar la distancia interna —es decir, la suma de las distancias de los datos de su centroide—, se calculó para cada dato el cuadrado de las diferencias con los centroides de los clústeres inicialmente calculados (dos) y se sumaron los valores para todos los datos del clúster.

d) Se asignó cada elemento al clúster, cuyo dato fuera el mínimo de los dos posibles, y se recalcularon los centroides con los nuevos agrupamientos.

e) Iterativamente, se fueron actualizando los centroides en función de las asignaciones de puntos a clúster hasta que los centroides dejaron de cambiar.

Como parte del mismo proceso, el procedimiento *k*-medias considera una fase de validación, que consiste en evaluar la existencia de los clústeres que sólo están integrados por datos extremos (*outliers*); comparar dos conjuntos de clústeres alternativos evaluando la consistencia con los fenómenos socioeconómicos; y comparar los resultados de los agrupamientos con los derivados de otras técnicas de agrupamiento para determinar si los resultados están describiendo el fenómeno socioeconómico en estudio.

Se le asignó la calificación de aptitud media (A2) a los municipios con el menor número de hurtos rurales por cada 1000 habitantes y al grupo con más delitos por habitantes se le asignó el rango de aptitud baja (A3). Los rangos de aptitud fueron los siguientes: con *aptitud alta* (A1), los municipios donde no se ha reportado el delito (0); con *aptitud media* (A2), los municipios del resultado del primer clúster, donde se reportaron 7,3112 casos de hurto rural por cada 1000 habitantes; y con *aptitud baja* (A3), los municipios del resultado del segundo clúster, donde se reportaron más de 7,3112 casos de hurto rural por cada 1000 habitantes.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

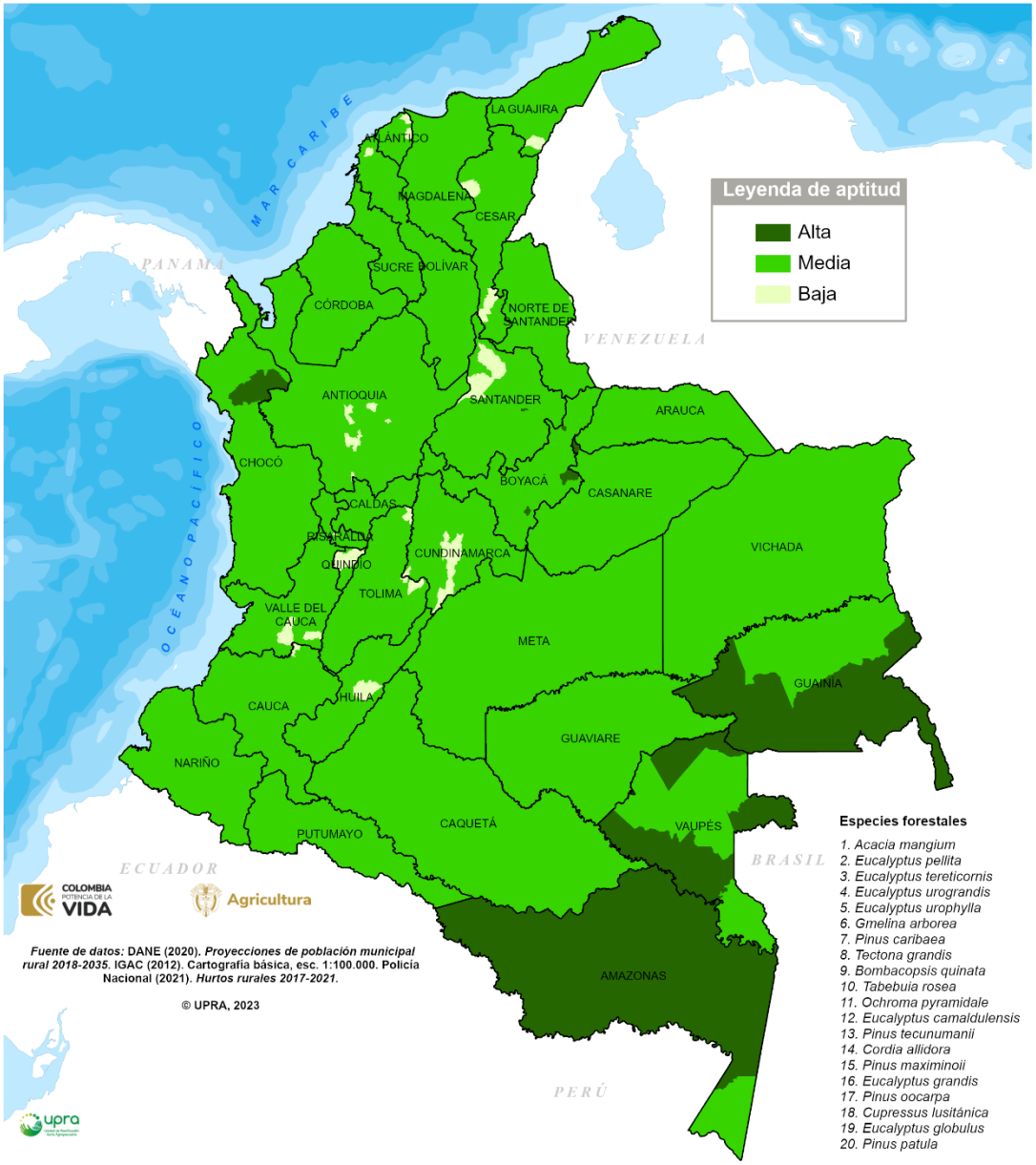
Los rangos para la espacialización de la variable se clasificaron de acuerdo con las categorías de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3), como se muestra a continuación:

Tasa de hurtos rurales por cada 1000 habitantes	Aptitud
Sin ocurrencia del delito	Alta (A1)
≤7,3112	Media (A2)
>7,3112	Baja (A3)

Unidad de análisis

Tasa de hurtos rurales por cada 1000 habitantes.

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO SEGURIDAD CIUDADANA
Variable hurtos rurales

Fuentes de información

Congreso de la República de Colombia (2000). *Ley 599 de 2000, por la cual se expide el Código Penal*. Diario Oficial 44097. Congreso de la República de Colombia.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2018). *Censo nacional de población y vivienda 2018: población centro poblado y rural disperso*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

MacQueen, J. (1967). Some methods for classification and analysis of multivariate observations. En Le Cam, L.M. & Neyman, J. *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Volume 1: statistics* (pp. 281-297). Statistical Laboratory of the University of California. https://n9.cl/84in9x0

Policía Nacional de Colombia (2020). *Estadística delictiva*. Bogotá, Colombia: Policía Nacional de Colombia, Grupo Información de Criminalidad (GICRI), DIJIN. Recuperado de www.policia.gov.co/grupo-información-criminalidad/estadistica-delictiva

3.6.3 Variable *secuestros rurales*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: social		
Criterio: *seguridad ciudadana*		
Variable: *secuestros rurales*	Unidad de medida: tasa de secuestros rurales por cada 1000 habitantes	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Consiste en detener ilegalmente a una o más personas en contra de su voluntad, mediante el empleo de la fuerza, las amenazas, el engaño o el incentivo con el propósito de exigir una ganancia ilícita o económica a cambio de la liberación de la persona secuestrada; o para obligar a alguien a hacer o a no hacer algo (Ley 599 de 2000).

Importancia de la variable

La producción en el sector rural se ha visto afectada por el conflicto interno, que ha traído consigo toda clase de delitos contra los derechos humanos, entre ellos, el secuestro. Por esta razón, la variable merece especial importancia, pues indica la vulnerabilidad o posible riesgo tanto de la población como de los potenciales inversores ubicados en las zonas de alta posibilidad de amenaza de secuestro. Esto atenta contra la seguridad y la integridad de la población y la interrupción de las redes sociales y las dinámicas productivas establecidas.

Limitantes de la evaluación de la variable

Las fuentes de información consultadas para la variable secuestros rurales no cuentan con registros para algunos municipios. Estos municipios, bajo el principio de precaución, se asimilaron al registro cero y se clasificaron en el rango de aptitud alta (A1).

Metodología de procesamiento de la información

Precisiones de la información

Se analizó el número de secuestros en zona rural ocurridos en cada municipio a partir de los registros de la Policía Nacional.

Análisis de consistencia y preparación de la información

En la construcción de esta variable se relativizó la información del número de secuestros en zona rural respecto a la población rural de cada municipio, para lo cual se calculó el índice de secuestros rurales por cada 1000 habitantes rurales a partir de las series históricas del número de secuestros registrados en la zona rural para el período 2017-2021 con la sumatoria de los cinco años. Luego, con base en las series de proyección de población municipal del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2018) de los microdatos del censo nacional de población y vivienda (CNPV) 2018, se tomó la población por municipio proyectada para el año 2021, la cual se encuentra discriminada entre cabecera y resto, y se extrajo la información del ámbito geográfico denominado resto, asociándola a la población rural para este año. Resultado de los dos cálculos anteriores, se efectuó la relación de la sumatoria del número de secuestros rurales sobre el número promedio de habitantes en zona rural y se proyectó como índice por cada 1000 habitantes.

Clasificación por aptitud

Para clasificar la variable luego de la construcción del índice, se dividió la serie en dos grupos: el primero, con los municipios que no registraron secuestros; el segundo, con los municipios que tenían uno o más casos de secuestros registrados. A continuación, al primer grupo de municipios que no contaban con casos registrados se les asignó *aptitud alta* (A1) para la presente zonificación de aptitud; para el segundo grupo, se aplicó el método estadístico *k*-medias, que permite realizar agrupamiento de datos con el objetivo que sean muy similares entre los individuos del grupo y lo más disímiles posibles entre otros grupos. Para la clasificación por aptitud de este grupo de municipios se calcularon dos clústeres ($k = 2$).

El algoritmo *k*-medias, como otros métodos de agrupamiento, parte de una función de aprendizaje no supervisado en el que no existen clases predefinidas y cuyos resultados están fuertemente determinados por el conjunto de datos disponibles y las medidas de similitud o distancia utilizadas para comparar datos. Con ello, se busca minimizar la distancia intraclústeres y maximizar la distancia interclústeres, partiendo de la distancia como medida de similitud. Si $d(i, j)$ es mayor a $d(i, k)$ significa que el objeto i es más parecido a k que a j. El método *k*-medias, desarrollado por MacQueen en el año 1967, se basó en un único parámetro (número de grupos), definido, en este caso, en 2 para las aptitudes media (A2) y baja (A3). Por tratarse de un agrupamiento univariado, no estuvo sesgado por el orden de presentación inicial de los datos. Los pasos para la estimación del clúster *k*-medias fueron los siguientes:

a) Se ordenaron los datos de mayor a menor o de menor a mayor, según la incidencia del fenómeno socioeconómico en estudio y la supuesta relación con los niveles de aptitud para la cadena productiva.

b) El total de datos disponibles se dividió en dos grupos. Luego, se calculó el centroide —centro geométrico del clúster—, base para la construcción de la variable objetivo, que fue la distancia. El centroide que se propuso fue el promedio aritmético de cada agrupamiento.

c) Dado que el algoritmo *k*-medias busca minimizar la distancia interna —es decir, la suma de las distancias de los datos de su centroide—, se calculó para cada dato el cuadrado de las diferencias con los centroides de los clústeres inicialmente calculados (dos) y se sumaron los valores para todos los datos del clúster.

d) Se asignó cada elemento al clúster, cuyo dato fuera el mínimo de los dos posibles, y se recalcularon los centroides con los nuevos agrupamientos.

e) Iterativamente, se fueron actualizando los centroides en función de las asignaciones de puntos a clúster hasta que los centroides dejaron de cambiar.

Como parte del mismo proceso, el procedimiento *k*-medias considera una fase de validación, que consiste en evaluar la existencia de los clústeres que sólo están integrados por datos extremos (*outliers*); comparar dos conjuntos de clústeres alternativos evaluando la consistencia con los fenómenos socioeconómicos; y comparar los resultados de los agrupamientos con los derivados de otras técnicas de agrupamiento para determinar si los resultados están describiendo el fenómeno socioeconómico en estudio.

Al realizar la clasificación de esta última serie en dos agrupaciones, se le asignó la calificación de aptitud media (A2) al grupo de municipios con el menor número de secuestros rurales por cada 1000 habitantes rurales y al grupo restante con el mayor número de delitos por habitantes, se le asignó un rango de aptitud baja (A3). Los rangos de aptitud fueron: con *aptitud alta* (A1), los municipios donde no se ha reportado el delito (0), con *aptitud media* (A2), los municipios del resultado del primer clúster, donde se han reportado hasta 0,0550 casos de secuestros rurales por cada 1000 habitantes rurales, con *aptitud baja* (A3), los municipios del resultado del segundo clúster, donde se han reportado más de 0,0550 casos de secuestros rurales por cada 1000 habitantes rurales.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

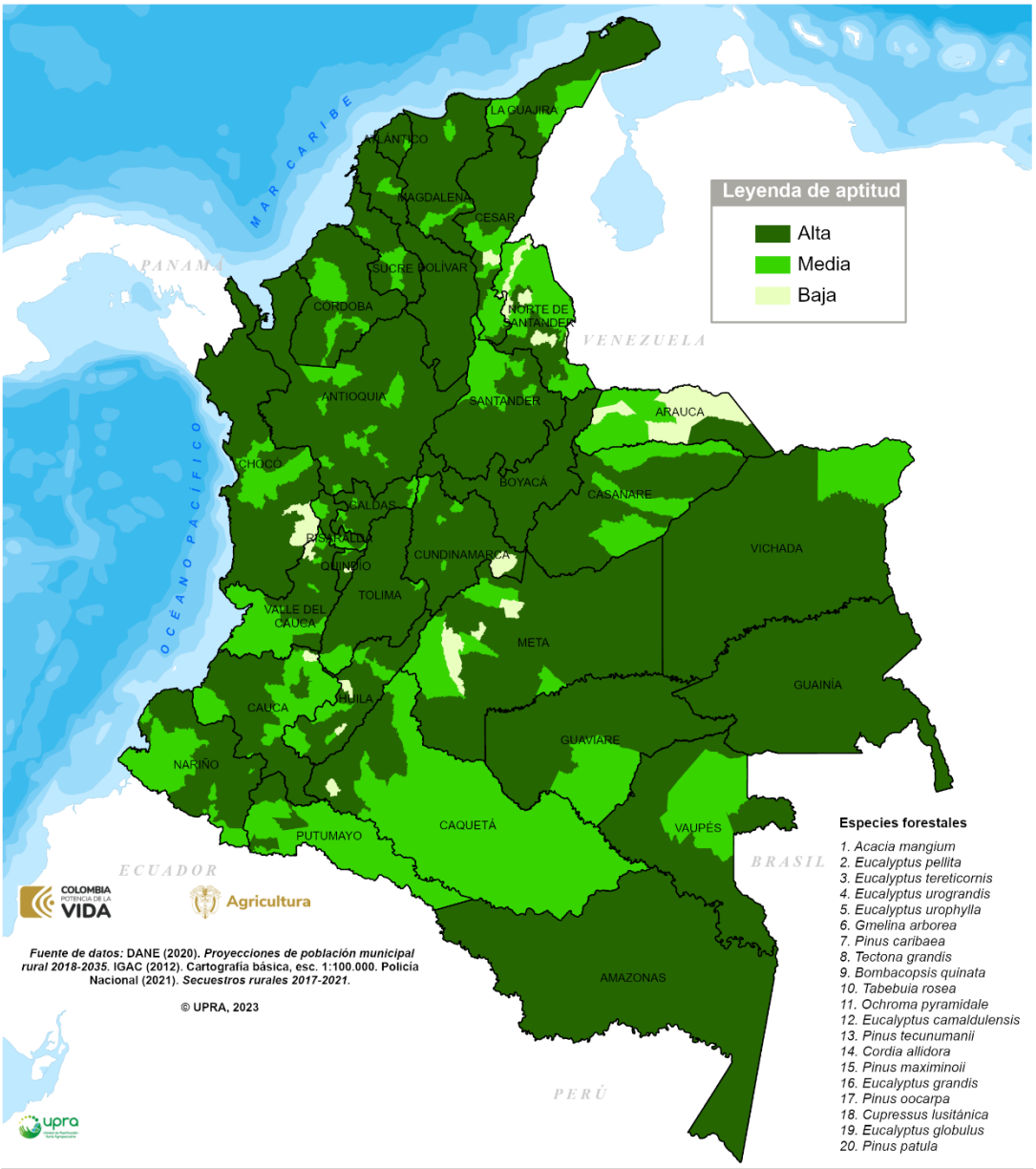
Los rangos para la espacialización de la variable se clasificaron de acuerdo con las categorías de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3), como se muestra a continuación:

Tasa de secuestros rurales por cada 1000 habitantes	Aptitud
Sin ocurrencia del delito	Alta (A1)
≤0,0550	Media (A2)
>0,0550	Baja (A3)

Unidad de análisis

Tasa de secuestros rurales por cada 1000 habitantes.

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO SEGURIDAD CIUDADANA
Variable secuestros rurales

Fuentes de información

Congreso de la República de Colombia (2000). *Ley 599 de 2000, por la cual se expide el Código Penal*. Diario Oficial 44097. Congreso de la República de Colombia.

Congreso de la República de Colombia (2005). *Ley 986 de 2005, por medio de la cual se adoptan medidas de protección a las víctimas del secuestro y sus familias, y se dictan otras disposiciones*. Congreso de la República de Colombia. Diario Oficial 46.015.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2018). *Censo nacional de población y vivienda 2018: población centro poblado y rural disperso*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

MacQueen, J. (1967). Some methods for classification and analysis of multivariate observations. En Le Cam, L.M. & Neyman, J. *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Volume 1: statistics* (pp. 281-297). Statistical Laboratory of the University of California. https://n9.cl/84in9x

Policía Nacional de Colombia (2020). *Estadística delictiva*. Policía Nacional de Colombia, Grupo Información de Criminalidad (GICRI), DIJIN. www.policia.gov.co/grupo-información-criminalidad/estadistica-delictiva

3.6.4. Variable *homicidios rurales*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. subcomponente: social		
Criterio: *seguridad ciudadana*		
Variable: *homicidios rurales*	Unidad de medida: tasa de homicidios rurales por cada 1000 habitantes	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

La palabra *homicidio* deriva del vocablo latino *homicidium*, y que refiere a la muerte de un ser humano causada por otra persona. El término, por lo tanto, puede utilizarse como sinónimo de asesinato o crimen. El homicidio se define como «supresión por conducta del agente (agresor), de una vida humana (tipicidad), sin justificación jurídicamente atendible (antijuridicidad), en forma intencional o dolosa, o con culpa o preterintencional (culpabilidad)».

Importancia de la variable

Muestra la ocurrencia de esta actividad violenta en un periodo de tiempo específico en los municipios del país. De ahí su importancia, pues constituye una herramienta para el sector, los productores y potenciales inversionistas para tratar de proyectar el comportamiento del delito a nivel municipal. Contribuye a la formulación de lineamientos de políticas desde el sector productivo forestal para tomar las medidas de mitigación respectivas desde los productores o posibles inversionistas.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

El análisis de la variable no presentó límites que se calificaran como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

Las fuentes de información consultadas para la variable *homicidios rurales* no cuenta con registros para algunos municipios. Estos municipios, bajo el principio de precaución, se asimilaron al registro cero y se clasificaron en el rango de aptitud alta (A1).

Metodología de procesamiento de la información

Precisiones de la información

Se analizó el número de homicidios en zona rural ocurridos en cada municipio a partir de los registros de la Policía Nacional.

Análisis de consistencia y preparación de la información

En la construcción de esta variable se relativizó la información del número de homicidios en zona rural respecto a la población rural de cada municipio, para lo cual se calculó el índice de homicidios rurales por cada 1000 habitantes rurales a partir de las series históricas del número de homicidios registrados en la zona rural para el período 2016-2020 y se realizó la sumatoria de los cinco años. Luego, con base en las series de proyección de población municipal del DANE (2018) de los microdatos del censo nacional de población y vivienda (CNPV) 2018, se tomó la población por municipio proyectada para el año 2021, la cual se encuentra discriminada entre *cabecera y resto*, y se extrajo la información del ámbito geográfico denominado *resto*, asociándola a la población rural para este año. Resultado de lo anterior, se efectuó la relación de la sumatoria del número de homicidios rurales sobre el número promedio de habitantes en zona rural y se proyectó como índice por cada 1000 habitantes.

Clasificación por aptitud

Para clasificar la variable luego de la construcción del índice de homicidios por cada 1000 habitantes, se dividió la serie en dos grupos: el primero, con los municipios que no registraron homicidio; el segundo, con los municipios que tenían uno o más casos de homicidios registrados. A continuación, al primer grupo de municipios se les asignó *aptitud alta* (A1) para la presente zonificación de aptitud; al segundo se aplicó el método estadístico *k*-medias, que permite realizar un agrupamiento de datos para que sean muy similares entre los individuos del grupo y lo más disímiles posibles entre otros grupos. Para la clasificación por aptitud de este grupo de municipios, se calcularon dos clústeres ($k = 2$).

El algoritmo *k*-medias, como otros métodos de agrupamiento, parte de una función de aprendizaje no supervisado en el que no existen clases predefinidas y cuyos resultados están fuertemente determinados por el conjunto de datos disponibles y las medidas de similitud o distancia utilizadas para comparar datos. Con ello, se busca minimizar la distancia intraclústeres y maximizar la distancia interclústeres, partiendo de la distancia como medida de similitud. Si $d(i, j)$ es mayor a $d(i, k)$ significa que el objeto i es más parecido a k que a j. El método *k*-medias, desarrollado por MacQueen en el año 1967, se basó en un único parámetro (número de grupos), definido, en este caso, en 2 para las aptitudes media (A2) y baja (A3). Por tratarse de un agrupamiento univariado, no estuvo sesgado por el orden de presentación inicial de los datos. Los pasos para la estimación del clúster *k*-medias fueron los siguientes:

a) Se ordenaron los datos de mayor a menor o de menor a mayor, según la incidencia del fenómeno socioeconómico en estudio y la supuesta relación con los niveles de aptitud para la cadena productiva.

b) El total de datos disponibles se dividió en dos grupos. Luego, se calculó el centroide —centro geométrico del clúster—, base para la construcción de la variable objetivo, que fue la distancia. El centroide que se propuso fue el promedio aritmético de cada agrupamiento.

c) Dado que el algoritmo *k*-medias busca minimizar la distancia interna —es decir, la suma de las distancias de los datos de su centroide—, se calculó para cada dato el cuadrado de las diferencias con los centroides de los clústeres inicialmente calculados (dos) y se sumaron los valores para todos los datos del clúster.

d) Se asignó cada elemento al clúster, cuyo dato fuera el mínimo de los dos posibles, y se recalcularon los centroides con los nuevos agrupamientos.

e) Iterativamente, se fueron actualizando los centroides en función de las asignaciones de puntos a clúster hasta que los centroides dejaron de cambiar.

Como parte del mismo proceso, el procedimiento *k*-medias considera una fase de validación, que consiste en evaluar la existencia de los clústeres que sólo están integrados por datos extremos (*outliers*); comparar dos conjuntos de clústeres alternativos evaluando la consistencia con los fenómenos socioeconómicos; y comparar los resultados de los agrupamientos con los derivados de otras técnicas de agrupamiento para determinar si los resultados están describiendo el fenómeno socioeconómico en estudio.

Al realizar la clasificación de esta última serie en dos agrupaciones, se le asignó la calificación de aptitud media (A2) al grupo de municipios con el menor número de homicidios rurales por cada 1000 habitantes rurales; al grupo restante con el mayor número de delitos por habitantes, se le asignó un rango de aptitud baja (A3). Los rangos de aptitud fueron: con *aptitud alta* (A1), los municipios donde no se ha reportado el delito (0); con *aptitud media* (A2), los municipios del resultado del primer clúster, donde se han reportado hasta 0,6281 casos de homicidios rurales por cada mil habitantes rurales; y con *aptitud baja* (A3), los municipios del resultado del segundo clúster, donde se han reportado más de 0,6281 casos de homicidios rurales por cada 1000 habitantes rurales.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

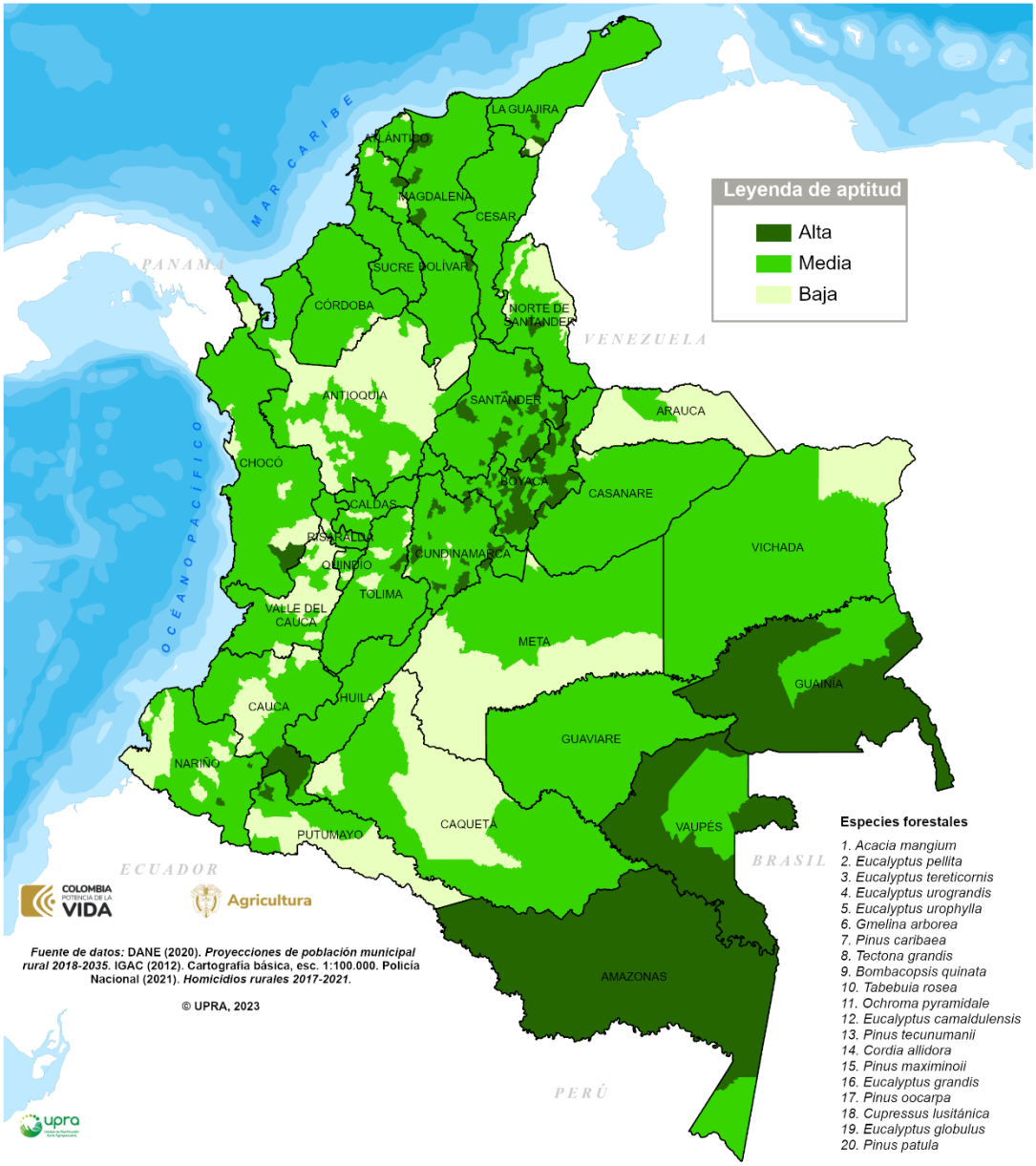
Los rangos para la espacialización de la variable se clasificaron de acuerdo con las categorías de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3), como se registra en la siguiente tabla:

Tasa de homicidios rurales por cada 1000 habitantes	Aptitud
Sin ocurrencia del delito	Alta (A1)
≤0,6281	Media (A2)
>0,6281	Baja (A3)

Unidad de análisis

Tasa de homicidios rurales por cada 1000 habitantes.

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO SEGURIDAD CIUDADANA
Variable homicidios rurales

Fuentes de información

Congreso de la República de Colombia (2000). *Ley 599 de 2000, por la cual se expide el Código Penal*. Diario Oficial 44097. Congreso de la República de Colombia.

Congreso de la República de Colombia (2004). *Ley 906 de 2004, por la cual se expide el Código de Procedimiento Penal*. Diario Oficial 45.658. Congreso de la República de Colombia.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2018). *Censo nacional de población y vivienda 2018: población centro poblado y rural disperso*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (2014). *Comportamiento del homicidio, Colombia, 2013*. Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (INMLCF). https://n9.cl/qivwkx

Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (2018). *Homicidio: Colombia 2018*. Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (INMLCF). https://n9.cl/b7x65

MacQueen, J. (1967). Some methods for classification and analysis of multivariate observations. En Le Cam, L.M. & Neyman, J. *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Volume 1: statistics* (pp. 281-297). Statistical Laboratory of the University of California. https://n9.cl/84in9x0

Policía Nacional de Colombia (2020). *Estadística delictiva*. Policía Nacional de Colombia, Grupo Información de Criminalidad (GICRI), DIJIN. Recuperado de www.policia.gov.co/grupo-información-criminalidad/estadistica-delictiva

3.6.5 Variable *decomisos de madera comercial*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: social		
Criterio: *seguridad ciudadana*		
Variable: *decomisos de madera comercial*	Unidad de medida: madera decomisada por municipio (m^3)	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Privación de manera definitiva de la tenencia o la propiedad de bienes muebles no sujetos a registro, utilizados por una persona en comportamientos contrarios a las normas de convivencia mediante acto motivado (Ley 1801 de 2016). Los bienes decomisados podrán ser donados o rematados de conformidad con la reglamentación legal.

Importancia de la variable

Evidencia en el territorio dónde se están presentando situaciones que están en contra de lo reglamentado por las normas de convivencia entre pobladores de una región. Pueden llegar a impactar el normal desarrollo de la producción forestal en el sector rural y afectar la actividad al evidenciar posibles malas prácticas o desconocimiento de la normativa para el desarrollo de la actividad forestal. Además, pueden impedir el desarrollo de políticas públicas, como las de explotación y comercialización de maderas legales en el país en la que están convocados actores tanto públicos como privados para optimar la actividad productiva.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

El análisis de la variable no presentó límites que se calificaran como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

En la fuente de la información no se cuenta con la discriminación por especie, por lo que la información necesitó de un proceso adicional que desarrolla el Ideam, por lo no se contaría con la temporalidad anual que se requiere para el procesamiento de la variable.

Metodología de procesamiento de la información

Precisiones de la información

Se analizó la base de datos de decomisos de 2017 a 2021 y se filtró únicamente las veinte especies trabajadas en esta zonificación e incluidas en el CIF. Una vez depurada la base, se procedió a determinar el volumen en metros cúbicos incautados por municipio.

Análisis de consistencia y preparación de la información

En la construcción de esta variable, se depuró la información del número de decomisos realizados en el país por la Policía Nacional entre los años 2017 y 2021, cuya base fue trabajada por el Ideam para realizar una clasificación de las especies, lo que permitió discriminar entre los decomisos realizados por especies nativas y comerciales. Una vez definidas las especies objeto de estudio de las series históricas del número de decomisos registrados en la zona rural para el período 2017-2021, se realizó la sumatoria de los cinco años.

Clasificación por aptitud

El economista italiano Wilfredo Pareto (1938) formuló una serie de principios que se han denominado *óptimo de Pareto*. Pareto señala que «cualquier cambio de situación afectaría a una economía sin perjudicar a otra. Es decir, las situaciones son eficientes, si al haber un cambio de esa situación, se beneficia a alguno, sin perjudicar a otro». En resumen, el criterio de Pareto es un criterio de clasificación para distinguir las situaciones óptimas y las subóptimas. En una situación óptima es imposible mejorar el bienestar de alguien sin que disminuya el de otros; en una situación subóptima, estos cambios son posibles. El principio de Pareto también se conoce como la *regla del 80/20* (o 20/80) y establece que aproximadamente el 80% de las consecuencias proviene del 20% de las causas.

De acuerdo con lo anterior, se calificaron con *aptitud alta* (A1) los municipios cuyo porcentaje de decomisos no superara el 80% del total nacional; *con aptitud media* (A2), los municipios del restante porcentaje que reportaran un número menor a 15,2 metros cúbicos decomisados de madera por municipio; y con *aptitud baja* (A3), los municipios que reportaran más de 15,2 metros cúbicos decomisados de madera. Los rangos de aptitud identificados fueron los siguientes: con *aptitud alta* (A1), los municipios donde no se ha reportado decomiso (0); con *aptitud media* (A2), los municipios con menos de 15,2 metros cúbicos de madera decomisada en zona rural, y con *aptitud baja* (A3), los municipios con más de 15,2 metros cúbicos de madera decomisada en zona rural.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

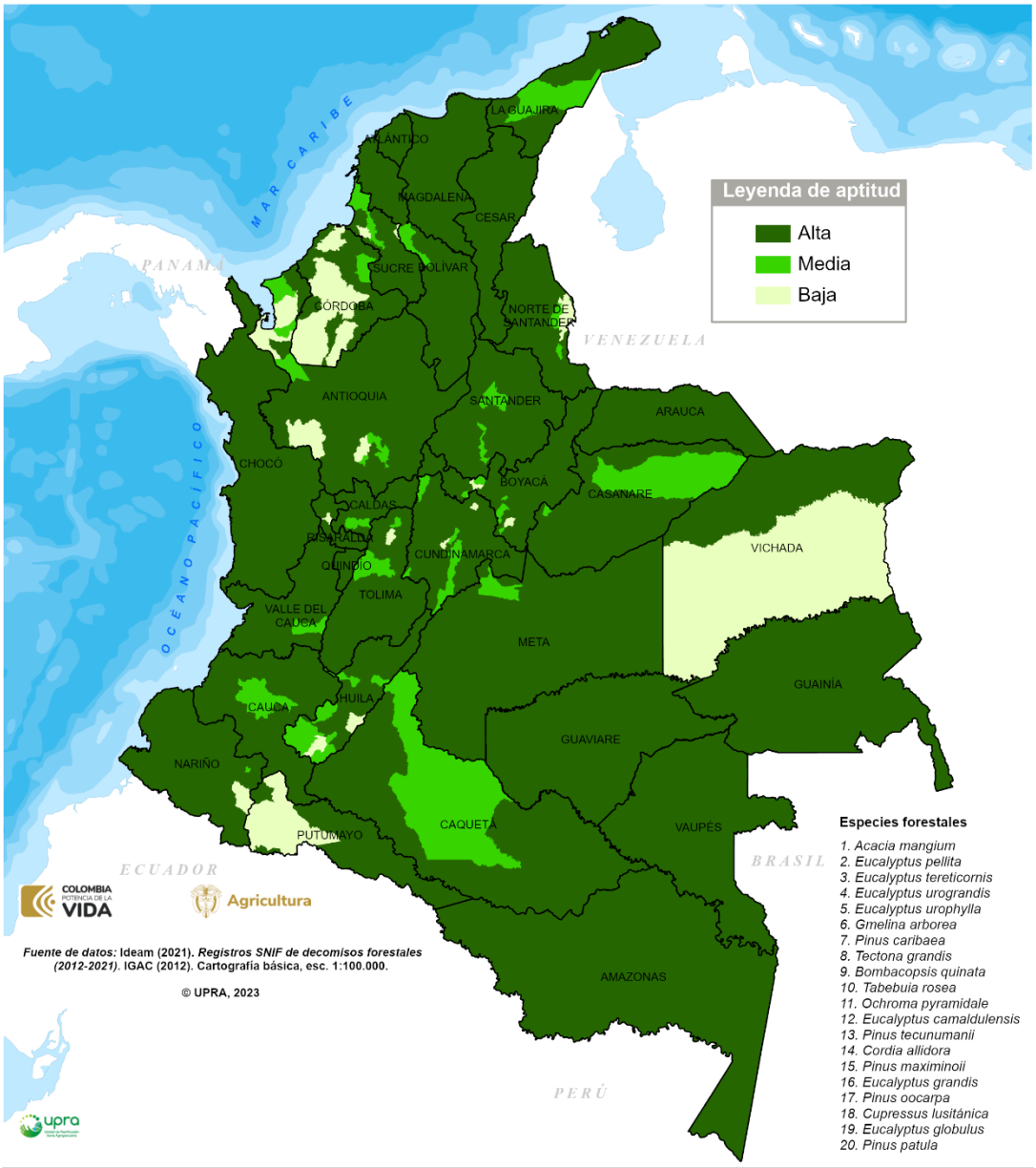
Los rangos para la espacialización de la variable se clasificaron de acuerdo con las categorías de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3), como se pude observar en la siguiente tabla:

Madera decomisada (m^3)	Aptitud
Sin decomisos	Alta (A1)
≤15,2	Media (A2)
>15,2	Baja (A3)

Unidad de análisis

Metros cúbicos de decomisos de madera por municipio.

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO SEGURIDAD CIUDADANA
Variable decomisos de madera comercial

Fuentes de información

Congreso de la República de Colombia (2016). *Ley 1801 de 2016, por la cual se expide el Código Nacional de Seguridad y Convivencia Ciudadana*. Diario Oficial 49.949 Congreso de la República de Colombia.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2021). *Registros SNIF de decomisos forestales*. (2012-2021). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam)

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Miller, R. y Meiners, R. (1989). *Microeconomía* (3ª Ed). Mc Graw Hill.

Policía Nacional de Colombia (2020). *Estadística delictiva*. Policía Nacional de Colombia, Grupo Información de Criminalidad (GICRI), DIJIN. www.policia.gov.co/grupo-información-criminalidad/estadistica-delictiva

3.7. *Criterio condiciones de vida*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: social		
Criterio: *condiciones de vida*		
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Variables asociadas al criterio

Trabajo, expresado en porcentaje de hogares con privaciones.

Salud, expresada en porcentaje de hogares con privaciones.

Condiciones educativas del hogar, expresadas en porcentaje de hogares con privaciones.

Condiciones de vivienda y acceso a servicios públicos, expresadas en porcentaje de hogares con privaciones.

Condiciones de la niñez y de la juventud, expresadas en porcentaje de hogares con privaciones.

Definición

Grado de privación de los hogares rurales en las dimensiones que abarcan la medición de la pobreza multidimensional. Usa indicadores a nivel municipal que permiten determinar la naturaleza de la privación, su intensidad y profundidad. Este índice permite observar patrones de privaciones distintos a los medidos por la pobreza monetaria (DNP, 2014). Se considera que el hogar es pobre multidimensionalmente si presenta privaciones en al menos el 33 % de las diez variables.

Importancia del criterio

Muestra las capacidades de la población para integrarse a un proceso productivo y la probabilidad de los productores de acceder a certificaciones de buenas prácticas. Los municipios con menos hogares en situación de privación en cada variable cuentan con poblaciones más aptas para participar en las dinámicas socioeconómicas y requieren de una menor inversión social para potenciar sus capacidades productivas y acceder a certificaciones para mayor competitividad. La calidad de vida de la población rural influye en el desarrollo de las capacidades y en la posibilidad de integrarse a un proceso productivo. Los municipios con menos hogares en situación de privación en cada dimensión analizadas cuentan con poblaciones más aptas para participar funcionalmente en las dinámicas productivas y precisan de una menor inversión social para potenciar sus capacidades.

La cantidad de hogares en situación de privación multidimensional es inversa a la aptitud del municipio. Los municipios con más hogares en situación de privación multidimensional, a saber: las condiciones educativas del hogar, las condiciones de la niñez y la juventud, la salud, el trabajo, el acceso a servicios públicos domiciliarios y las condiciones de la vivienda, reflejan una menor competitividad socioeconómica para la ubicación de nuevos procesos productivos.

Limitantes de la evaluación del criterio

No se evaluó la pobreza multidimensional rural, sino las tasas de privación por cada dimensión con fuente censalal año 2018. Esta estimación aproximada utilizó fuentes instrumentales para dos de los 15 indicadores utilizados. En el indicador *empleo informal* se utilizó información del registro de la PILA, dado que el censo nacional de población y vivienda no contó con información de afiliación a pensiones. En el indicador *sin aseguramiento en salud* se utilizó la información de registros administrativos de la base unida de afiliados y el DEX para entidades del régimen de excepción y especial. La mayor limitación de la información fue el nivel de actualización, dado que se basó en el censo nacional de población y vivienda 2018 y no en una encuesta regular que permita evaluar los cambios en las condiciones de vida que se generan por la dinámica de los fenómenos socioeconómicos.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado

En el análisis de la variable, no se presenta ningún límite que calificara una zona como no apta (N1).

Metodología de procesamiento de la información

Información

Se utilizó la información de datos entregada por el DANE en los anexos de la *Medida de pobreza multidimensional municipal con información censal*, que permite avanzar en la medición de la pobreza municipal mediante un índice evolucionado y complementario a las necesidades básicas insatisfechas (NBI). Este insumo se aproxima al estado de la pobreza municipal y sus múltiples dimensiones por medio de comparaciones entre municipios. La principal virtud de esta información en el contexto de la zonificación es que se construyó usando la información del CNPV 2018, por lo que fue posible hacer desagregaciones geográficas de cabeceras y centros poblados y rural disperso.

Precisiones de la información

Colombia tiene dos medidas oficiales de pobreza complementarias: la pobreza monetaria y la pobreza multidimensional. La metodología para estimar cada una se encuentra oficializada en el Conpes 150 de 2012, en donde se determinó que la publicación se debe realizar anualmente según la disponibilidad de la gran encuesta integrada de hogares (GEIH), para la pobreza monetaria, y la encuesta de calidad de vida (ECV) para la pobreza multidimensional. Sin embargo, estas encuestas sólo permiten niveles de desagregación geográfica departamental (pobreza multidimensional), 23 ciudades capitales y 23 departamentos (pobreza monetaria). Con la información del CNPV 2018, fueron posibles las desagregaciones geográficas de cabeceras y centros poblados y rural disperso dentro de cada municipio.

La metodología usada por el DANE es una aproximación a la construcción del índice de pobreza multidimensional oficial para Colombia, que sigue la metodología de Alkire y Foster desarrollada por Oxford Poverty and Human Development Iniciative. En ese sentido, la medida de pobreza multidimensional con fuente censal no es comparable ni sustituye el índice oficial de pobreza multidimensional oficial del DANE. En los ejercicios de zonificación no se usa la información sobre pobreza, sino los indicadores de privación a nivel municipal. Los 15 indicadores utilizados en la estimación de las variables del criterio fueron: *bajo logro educativo*, *analfabetismo*, *inasistencia escolar*, *rezago escolar*, *barreras de acceso a servicios para el cuidado de la primera infancia*, *trabajo infantil*, *tasa de dependencia económica*, *empleo informal*, *sin aseguramiento en salud*, *barreras de acceso a servicio de salud*, *sin acceso a fuente de agua mejorada*, *inadecuada eliminación de excretas*, *pisos inadecuados*, *paredes exteriores inadecuadas* y *hacinamiento crítico*.

Análisis de consistencia y preparación de la información

Se separó la información de privaciones a nivel municipal y se seleccionó lo referente al área de centros poblados y rural disperso. Se agruparon los indicadores por las cinco dimensiones a las que pertenecen. Se calcularon los agrupamientos multivariados entre los indicadores de cada dimensión de análisis agrupadas en cada variable que pertenecen al criterio.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

La ponderación del criterio se construyó a partir de la metodología AHP (Analytics Hierarchy Process) condensada en la matriz de comparaciones pareadas de cinco variables, de acuerdo con la siguiente tabla:

Criterio	Variables	*Trabajo*	*Salud*	*Condiciones educativas del hogar*	*Condiciones de vivienda y acceso a servicios públicos*	*Condiciones de la niñez y de la juventud*
Condiciones de vida	*Trabajo*	1				
	Salud	1/3	1			
	Condiciones educativas del hogar	1/3	1/3	1		
	Condiciones de vivienda y acceso a servicios públicos	1/5	1/3	1/3	1	
	Condiciones de la niñez y de la juventud	1/5	1/5	1/3	1/3	1

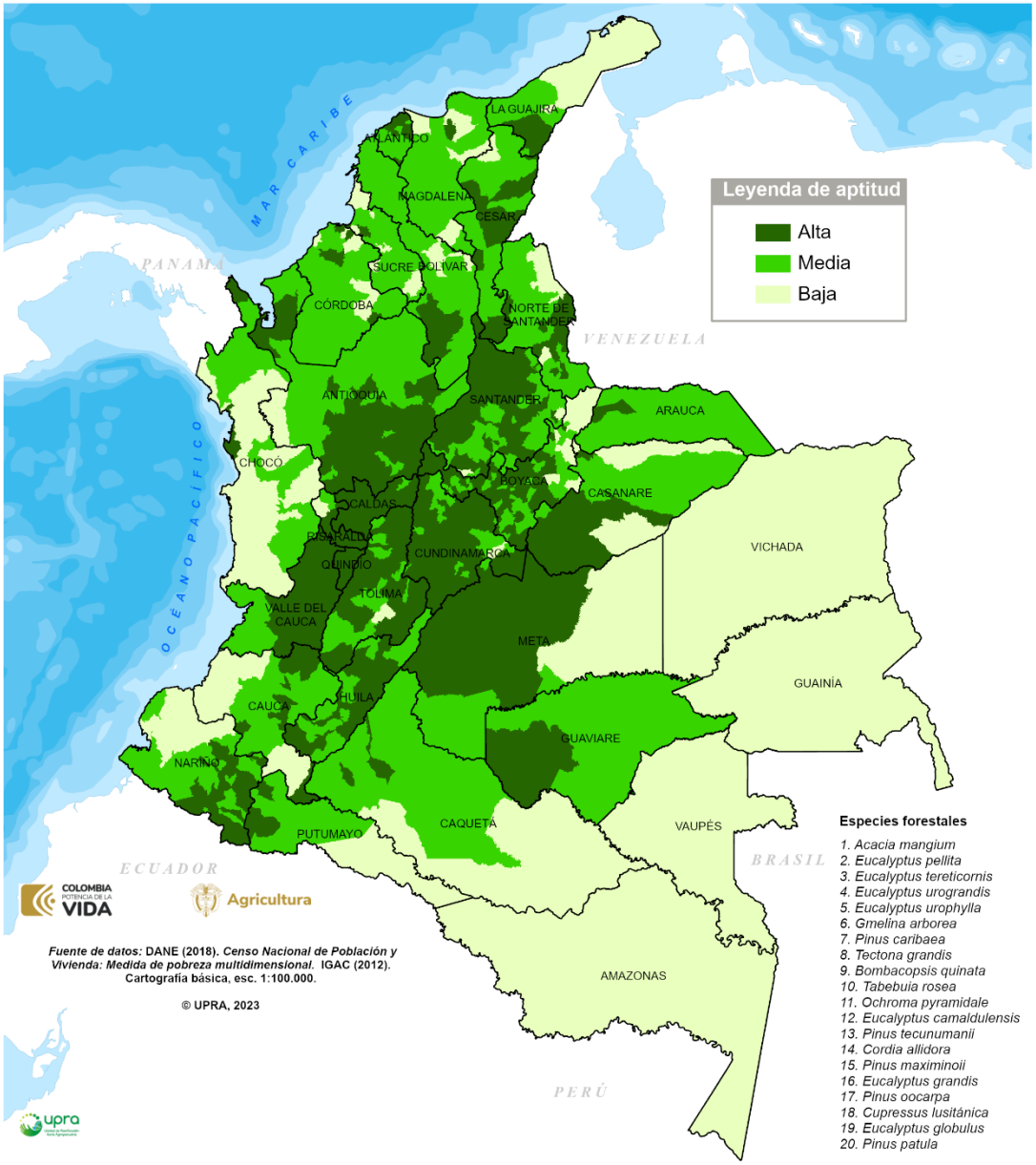
La escala de importancia dentro del proceso AHP cosideró la valoración entre pares de variables, como se establece en la siguiente tabla:

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Sumamente	Muy fuertemente	Fuertemente	Moderadamente	Igualmente	Moderadamente	Fuertemente	Muy fuertemente	Sumamente
Menos importante				Igual en importancia	Más importante			

Con el usdo del programa PriEsT (Priority Estimation Tool), se calcularon las ponderaciones de cada variable dentro del criterio, de acuerdo con la calificación de los municipios y con las categorías de aptitud, para cada una de las cuales se asignó un valor de alta (A1), media (A2) y baja (A3), como se puede observar en al tabla de abajo:

Criterio	Variable	Ponderación (%)
Condiciones de vida	*Trabajo*	44,8
	Salud	26,1
	Condiciones educativas del hogar	15,2
	Condiciones de vivienda y acceso a servicios púbicos	8,8
	Condiciones de la niñez y de la juventud	5,1
Total de la ponderación		**100,0**

Representación cartográfica del criterio



CRITERIO CONDICIONES DE VIDA

Fuentes de información

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020a). *Boletín técnico: medida de pobreza multidimensional municipal CNPV 2018*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). https://n9.cl/3u6j

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020b). *Medida de pobreza multidimensional municipal de fuente censal 2018*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). https://n9.cl/a90ts

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

3.7.1. Variable *trabajo*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: social		
Criterio: *condiciones de vida*		
Variable: *trabajo*	Unidad de medida: porcentaje de hogares con privaciones	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Promedio de los porcentajes de hogares de los centros poblados y rurales dispersos de municipios con privaciones combinadas en los indicadores *trabajo informal* y *tasa de dependencia*.

Importancia de la variable

Permite identificar los territorios rurales cuya incidencia de privaciones en cuanto al trabajo de los hogares es menos generalizada y se espera que la población tenga una mayor posibilidad de desarrollo de las capacidades humanas para aportar a un proceso productivo. Los municipios con menor porcentaje de hogares en situación de privación en sus condiciones de trabajo que reflejan mejores tasas de dependencia y empleo informal cuentan con poblaciones más aptas para participar en las dinámicas socioeconómicas, por lo que requieren una menor inversión social para potenciar las capacidades. De este modo, los productores incrementan no sólo la probabilidad de acceder a certificaciones de buenas prácticas, sino también su competitividad. Los municipios con mayor porcentaje de hogares en situación de privación en cuanto al trabajo condicionan una menor competitividad de los procesos productivos.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

El análisis de la variable no presentó límites que se calificaran como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

Los indicadores de privación en el trabajo se expresaron en porcentaje de hogares y no a nivel de personas, lo que limitó el análisis en términos individuales y en número total de privaciones en el territorio.

Metodología de procesamiento de la información

Información

Se utilizó la información de datos entregada por el DANE en los anexos de la *Medida de pobreza multidimensional municipal con información censal* que se construyó usando la información del CNPV 2018, por lo que fue posible realizar desagregaciones geográficas de cabeceras, centros poblados y rural disperso. Se tomaron los indicadores de empleo informal y la tasa de dependencia para los 1122 municipios y corregimientos no municipalizados, de los que se reportó información sin un orden específico, puesto que no necesariamente los municipios que tienen un alto nivel de privación por empleo informal corresponden a municipios con altos niveles de privación por tasa de dependencia.

Precisiones de la información

Colombia tiene dos medidas oficiales de pobreza complementarias: la pobreza monetaria y la pobreza multidimensional. La metodología para estimar cada una se encuentra oficializada en el Conpes 150 de 28 de mayo de 2012, en donde se determinó que la publicación se debe realizar anualmente según la disponibilidad de la gran encuesta integrada de hogares (GEIH), para la pobreza monetaria, y la encuesta de calidad de vida (ECV), para la pobreza multidimensional. Sin embargo, estas encuestas sólo permiten llegar a niveles de desagregación geográfica departamental (pobreza multidimensional) a 23 ciudades capitales y a 23 departamentos (pobreza monetaria). Con la información del CNPV 2018, fue posible obtener desagregaciones geográficas de cabeceras, centros poblados y rural disperso dentro de cada municipio.

La metodología usada por el DANE es una aproximación a la construcción del índice de pobreza multidimensional oficial para Colombia, que sigue la metodología de Alkire y Foster desarrollada por Oxford Poverty and Human Development Iniciative. En ese sentido, la medida de pobreza multidimensional con fuente censal no es comparable ni sustituye el índice oficial de pobreza multidimensional oficial del DANE. En los ejercicios de zonificación no se usó la información sobre pobreza, sino los indicadores de privación a nivel municipal.

Análisis de consistencia y preparación de la información

La información se presentó consistente al estar expresada en valores que oscilan entre 61,4 y 100 %, para el empleo informal, y entre 13,3 y 97,7 %, para tasa de dependencia, con información disponible para los municipios y corregimientos no municipalizados del país. Se realizó un análisis de consistencia en la que se observó la disponibilidad de información para los municipios y se determinó el mejor método estadístico de agrupamiento. Siguiendo la metodología de evaluación de tierras, se evaluó la existencia de datos atípicos mediante el criterio de Tukey, que consiste en señalar como atípico dato cuyo rango intercuartílico se encuentra 1,5 veces el por encima del tercer cuartil o por debajo del primer cuartil. Es decir: un dato es atípico si se encuentra por fuera del siguiente intervalo:

$$[Q_1 - 1{,}5 * RI, Q_3 + 1{,}5 * RI]$$

donde Q_1 y Q_3 son el primer y tercer cuartil de la distribución de los datos, respectivamente, y RI, el rango intercuartílico que corresponde a la diferencia $Q_3 - Q_1$. Dado que se presentó más del 5 % de datos atípicos, se decidió utilizar el método de *k*-medias. El resultado fue el método multivariado *k*-medias.

Clasificación por aptitud

El algoritmo *k*-medias, como otros métodos de agrupamiento, parte de una función de aprendizaje no supervisado en el que no existen clases predefinidas y cuyos resultados están fuertemente determinados por el conjunto de datos disponibles y las medidas de similitud o distancia utilizadas para comparar datos. Con ello, se busca minimizar la distancia intraclústeres y maximizar la distancia interclústeres, partiendo de la distancia como medida de similitud. Si *d* (*i, j*) es mayor a *d* (*i, k*) significa que el objeto *i* es más parecido a *k* que a *j*. El método *k*-medias, desarrollado por MacQueen en el año 1967, se basó en un único parámetro (número de grupos), definido, en este caso, en 3 para las aptitudes alta (A1), media (A2) y baja (A3). Por tratarse de un agrupamiento univariado, no estuvo sesgado por el orden de presentación inicial de los datos. Los pasos para la estimación del clúster *k*-medias fueron los siguientes:

a) Se ordenaron los datos de mayor a menor o de menor a mayor, según la incidencia del fenómeno socioeconómico en estudio y la supuesta relación con los niveles de aptitud para la cadena productiva.

b) El total de datos disponibles se dividió en dos grupos. Luego, se calculó el centroide —centro geométrico del clúster—, base para la construcción de la variable objetivo, que fue la distancia. El centroide que se propuso fue el promedio aritmético de cada agrupamiento.

c) Dado que el algoritmo *k*-medias busca minimizar la distancia interna —es decir, la suma de las distancias de los datos de su centroide—, se calculó para cada dato el cuadrado de las diferencias con los centroides de los clústeres inicialmente calculados (tres) y se sumaron los valores para todos los datos del clúster.

d) Se asignó cada elemento al clúster, cuyo dato fuera el mínimo de los dos posibles, y se recalcularon los centroides con los nuevos agrupamientos.

e) Iterativamente, se fueron actualizando los centroides en función de las asignaciones de puntos a clúster hasta que los centroides dejaron de cambiar.

Como parte del mismo proceso, el procedimiento *k*-medias considera una fase de validación, que consiste en evaluar la existencia de los clústeres que sólo están integrados por datos extremos (*outliers*); comparar dos conjuntos de clústeres alternativos evaluando la consistencia con los fenómenos socioeconómicos; y comparar los resultados de los agrupamientos con los derivados de otras técnicas de agrupamiento para determinar si los resultados están describiendo el fenómeno socioeconómico en estudio.

La validación se puede desarrollar por criterios tanto internos como externos que aporten información adicional, como los relacionados con la entropía y la pureza; o por criterios internos generados a partir de los propios datos, como la suma de los cuadrados de las distancias al interior y entre cada clúster (cohesión y separación).

Rangos para la asignación de valores de aptitud

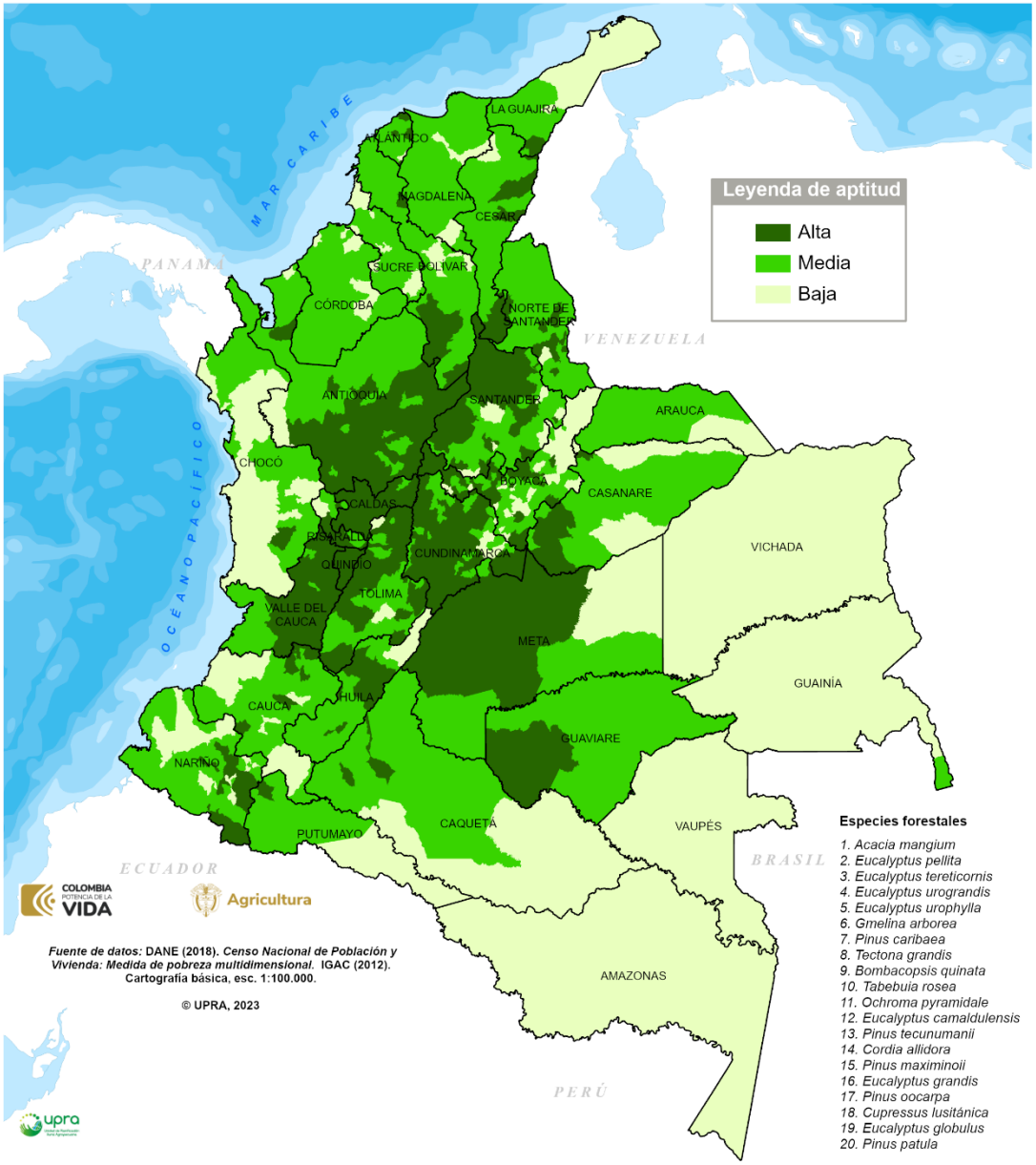
Los rangos para la espacialización de las variables se clasificaron de acuerdo con las categorías de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3). A continuación, se describe cada agrupamiento a partir de los centroides dados por el valor promedio de cada indicador para los municipios en cada nivel de aptitud expresado en porcentaje de hogares con privaciones:

Aptitud	Trabajo informal	Tasa de dependencia
Alta	85,3	30,3
Media	92,6	45,3
Baja	94,7	69,1

Unidad de análisis

Porcentaje de hogares con privaciones.

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO CONDICIONES DE VIDA
Variable trabajo

Fuentes de información

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020a). *Boletín técnico: medida de pobreza multidimensional municipal CNPV 2018*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). https://n9.cl/3u6j

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020b). *Medida de pobreza multidimensional municipal de fuente censal 2018*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). https://n9.cl/a90ts

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

3.7.2. Variable *salud*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: social		
Criterio: *condiciones de vida*		
Variable: *salud*	Unidad de medida: porcentaje de hogares con privaciones	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Limitaciones de salud en las zonas rurales manifestadas en las barreras de acceso a este servicio y a las zonas sin aseguramiento en salud.

Importancia de la variable

Permite identificar los territorios rurales cuya incidencia de privaciones en cuanto a la salud de los hogares es menos generalizada y en donde se espera que la población tenga una mayor posibilidad de desarrollo de las capacidades humanas y aportar a un proceso productivo. Los municipios con menor porcentaje de hogares en situación de privación en su salud, que reflejan mejores tasas de aseguramiento en salud y barreras de acceso a servicios, cuentan con poblaciones más aptas para participar en las dinámicas socioeconómicas y requieren de una menor inversión social para potenciar las capacidades. Con ello, se incrementa no sólo la probabilidad de acceder a certificaciones de buenas prácticas por parte de los productores, sino también su competitividad. Los municipios con mayores niveles de porcentaje de hogares en situación de privación en los servicios de salud condicionan una menor competitividad de los procesos productivos desarrollados en los territorios.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

El análisis de la variable no presentó límites que se calificaran como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

Los indicadores de privación en salud se expresaron en porcentaje de hogares y no a nivel de personas, lo cual limita el análisis en términos individuales y en número total de privaciones en el territorio.

Metodología de procesamiento de la información

Información

Se utilizó la información de datos entregada por el DANE en los anexos de la *Medida de pobreza multidimensional municipal con información censal* que se construyó usando la información del CNPV 2018, por lo que fue posible realizar desagregaciones geográficas de cabecera, centros poblados y rural disperso. Se tomaron los indicadores *aseguramiento en salud* y *barreras de acceso a servicios de salud* para los 1122 municipios y corregimientos no municipalizados, de los que se reportó información sin un orden específico, puesto que no necesariamente los municipios que tienen una alta privación en aseguramiento en salud corresponden a municipios con altos niveles de barreras de acceso a los servicios de salud.

Precisiones de la información

Colombia tiene dos medidas oficiales de pobreza complementarias: la pobreza monetaria y la pobreza multidimensional. La metodología para estimar cada una se encuentra oficializada en el Conpes 150 de 28 de mayo de 2012, en donde se determinó que la publicación se debe realizar anualmente según la disponibilidad de la gran encuesta integrada de hogares (GEIH), para la pobreza monetaria, y la encuesta de calidad de vida (ECV), para la pobreza multidimensional. Sin embargo, estas encuestas sólo permiten llegar a niveles de desagregación geográfica departamental (pobreza multidimensional) a 23 ciudades capitales y a 23 departamentos (pobreza monetaria). Con la información del CNPV 2018, fue posible una desagregación geográfica de cabeceras, centros poblados y rural disperso dentro de cada municipio.

La metodología usada por el DANE es una aproximación a la construcción del índice de pobreza multidimensional oficial para Colombia, que sigue la metodología de Alkire y Foster desarrollada por Oxford Poverty and Human Development Iniciative. En ese sentido, la medida de pobreza multidimensional con fuente censal no es comparable ni sustituye el índice oficial de pobreza multidimensional oficial del DANE. En los ejercicios de zonificación, no se usó la información sobre la pobreza, sino los indicadores de privación a nivel municipal.

Análisis de consistencia y preparación de la información

La información se presentó consistente al estar expresada en valores que oscilaron entre el 0,1 y el 44,2 %, para *barreras de acceso a servicios de salud*, y entre 3,4 y 68,7 % para *sin aseguramiento en salud*, con información disponible para los municipios y corregimientos no municipalizados del país. Se realizó un análisis de consistencia en la que se observó la disponibilidad de información para los municipios y se determinó el mejor método estadístico de agrupamiento. Siguiendo la metodología de evaluación de tierras, se evaluó la existencia de datos atípicos mediante el criterio de Tukey, que consiste en señalar como atípico el dato cuyo rango intercuartílico se encuentra 1,5 veces por encima del tercer cuartil o por debajo del primer cuartil. Es decir: un dato es atípico si se encuentra por fuera del siguiente intervalo:

$$[Q_1 - 1{,}5 * RI, Q_3 + 1{,}5 * RI]$$

donde Q_1 y Q_3 son el primer y tercer cuartil de la distribución de los datos respectivamente, y RI, el rango intercuartílico que corresponde a la diferencia $Q_1 - Q_3$. Dado que se presentó más del 5 % de datos atípicos, se decidió utilizar el método de *k*-medias. El resultado fue el método multivariado de *k*-medias.

Clasificación por aptitud

El algoritmo *k*-medias, como otros métodos de agrupamiento, parte de una función de aprendizaje no supervisado en el que no existen clases predefinidas y cuyos resultados están fuertemente determinados por el conjunto de datos disponibles y las medidas de similitud o distancia utilizadas para comparar datos. Con ello, se busca minimizar la distancia intraclústeres y maximizar la distancia interclústeres, partiendo de la distancia como medida de similitud. Si *d* (*i, j*) es mayor a *d* (*i, k*) significa que el objeto *i* es más parecido a *k* que a *j*. El método *k*-medias, desarrollado por MacQueen en el año 1967, se basó en un único parámetro (número de grupos), definido, en este caso, en 3 para las aptitudes alta (A1), media (A2) y baja (A3). Por tratarse de un agrupamiento univariado, no estuvo sesgado por el orden de presentación inicial de los datos. Los pasos para la estimación del clúster *k*-medias fueron los siguientes:

a) Se ordenaron los datos de mayor a menor o de menor a mayor, según la incidencia del fenómeno socioeconómico en estudio y la supuesta relación con los niveles de aptitud para la cadena productiva.

b) El total de datos disponibles se dividió en dos grupos. Luego, se calculó el centroide —centro geométrico del clúster—, base para la construcción de la variable objetivo, que fue la distancia. El centroide que se propuso fue el promedio aritmético de cada agrupamiento.

c) Dado que el algoritmo *k*-medias busca minimizar la distancia interna —es decir, la suma de las distancias de los datos de su centroide—, se calculó para cada dato el cuadrado de las diferencias con los centroides de los clústeres inicialmente calculados (tres) y se sumaron los valores para todos los datos del clúster.

d) Se asignó cada elemento al clúster, cuyo dato fuera el mínimo de los dos posibles, y se recalcularon los centroides con los nuevos agrupamientos.

e) Iterativamente, se fueron actualizando los centroides en función de las asignaciones de puntos a clúster hasta que los centroides dejaron de cambiar.

Como parte del mismo proceso, el procedimiento *k*-medias considera una fase de validación, que consiste en evaluar la existencia de los clústeres que sólo están integrados por datos extremos (*outliers*); comparar dos conjuntos de clústeres alternativos evaluando la consistencia con los fenómenos socioeconómicos; y comparar los resultados de los agrupamientos con los derivados de otras técnicas de agrupamiento para determinar si los resultados están describiendo el fenómeno socioeconómico en estudio.

La validación se puede desarrollar por criterios tanto internos como externos que aporten información adicional, como los relacionados con la entropía y la pureza; o por criterios internos generados a partir de los propios datos, como la suma de los cuadrados de las distancias al interior y entre cada clúster (cohesión y separación).

Rangos para la asignación de valores de aptitud

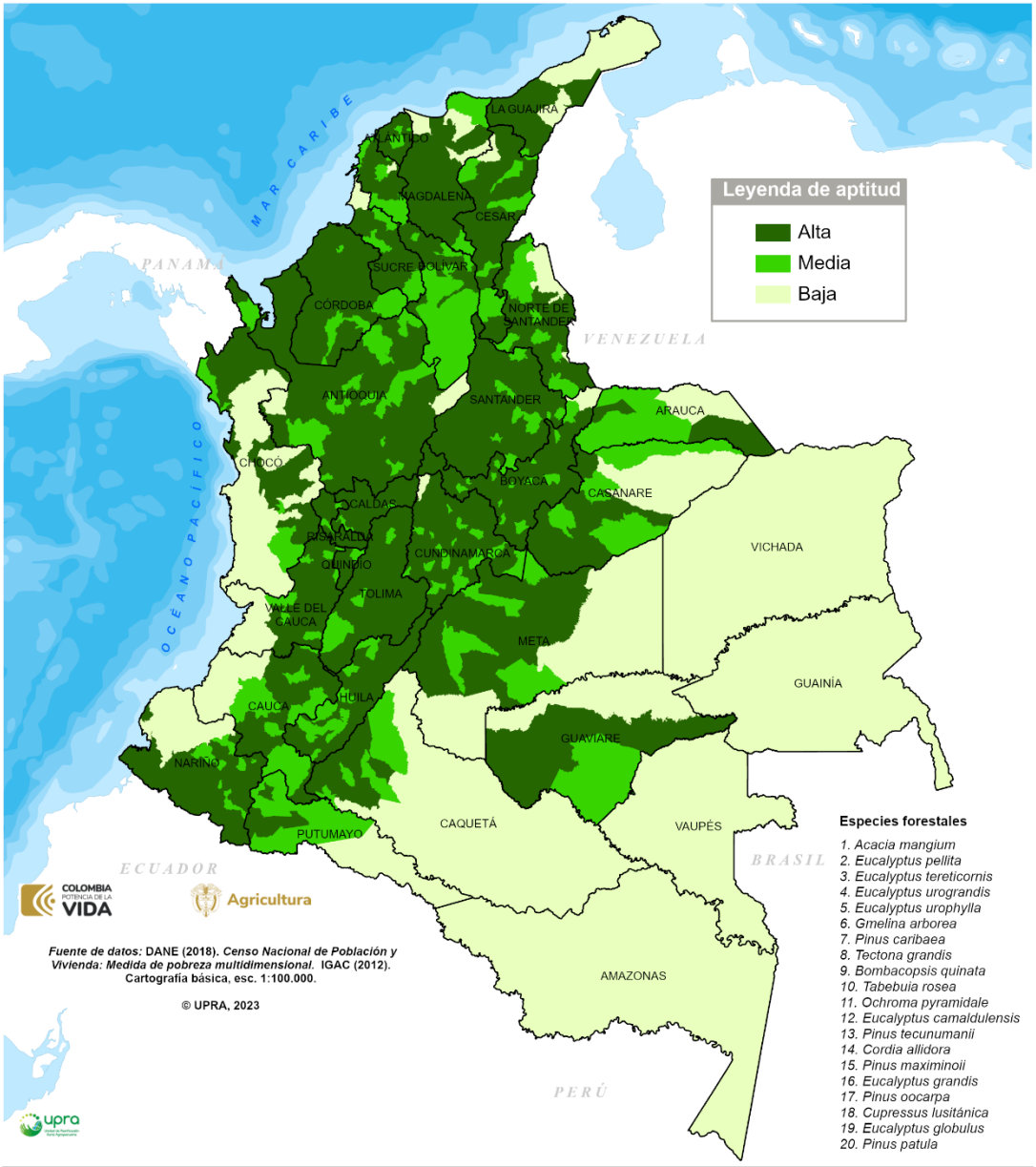
Los rangos para la espacialización de las variables, se clasificaron de acuerdo con las categorías de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3). A continuación, se describe cada agrupamiento a partir de los centroides dados por el valor promedio de cada indicador para los municipios en cada nivel de aptitud expresado en porcentaje de hogares con privaciones:

Aptitud	*Barreras de acceso a servicios*	*Sin aseguramiento en salud*
Alta	3,3	12,7
Media	13,5	13,4
Baja	6,6	33,0

Unidad de análisis

Porcentaje de hogares con privaciones.

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO CONDICIONES DE VIDA
Variable salud

Fuentes de información

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020a). *Boletín técnico: medida de pobreza multidimensional municipal CNPV 2018*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). https://n9.cl/3u6j

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020b). *Medida de pobreza multidimensional municipal de fuente censal 2018*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). https://n9.cl/a90ts

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

3.7.3. Variable *condiciones educativas del hogar*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: social		
Criterio: *condiciones de vida*		
Variable: condiciones educativas del hogar	Unidad de medida: porcentaje de hogares con privaciones (%)	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Porcentaje de hogares de los centros poblados y rurales dispersos con privaciones combinadas en las variables *analfabetismo* y *bajo logro educativo*.

Importancia de la variable

Permite identificar los territorios rurales cuya incidencia de privaciones en cuanto a la educación de los hogares es menos generalizada y donde se espera que la población tenga una mayor posibilidad de desarrollo de las capacidades humanas y aportar a un proceso productivo. Los municipios con menor porcentaje de hogares en situación de privación en sus condiciones educativas, que reflejan mejores tasas de alfabetismo y mayor logro educativo, cuentan con poblaciones más aptas para participar en las dinámicas socioeconómicas y requieren de una menor inversión social para potenciar sus capacidades. Los municipios con mayores porcentajes de hogares en situación de privación en sus condiciones educativas condicionan una menor competitividad de los procesos productivos desarrollados en los territorios.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

En el análisis de la variable, no se presentaron límites que se calificaran como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

Los indicadores de privación en condiciones educativas se expresaron en porcentaje de hogares y no a nivel de personas, lo cual limitó el análisis en términos individuales y en número total de privaciones en el territorio.

Metodología de procesamiento de la información

Información

Se utilizó la información de datos entregada por el DANE en los anexos de la *Medida de pobreza multidimensional municipal con información censal* que se construyó usando la información del CNPV 2018, por lo que fue posible hacer desagregaciones geográficas de cabeceras, centros poblados y rural disperso. Se tomaron los indicadores *analfabetismo* y *bajo logro educativo* para los 1122 municipios y corregimientos no municipalizados, de los que se reportó información sin un orden específico, puesto que no necesariamente los municipios que tienen un alto analfabetismo corresponden a municipios con altos niveles de bajo logro educativo.

Precisiones de la información

Colombia tiene dos medidas oficiales de pobreza complementarias: la pobreza monetaria y la pobreza multidimensional. La metodología para estimar cada una se encuentra oficializada en el Conpes 150 de 28 de mayo de 2012, en donde se determinó que la publicación se debe realizar anualmente según la disponibilidad de la gran encuesta integrada de hogares (GEIH), para la pobreza monetaria, y la encuesta de calidad de vida (ECV), para la pobreza multidimensional. Sin embargo, estas encuestas sólo permiten llegar a niveles de desagregación geográfica departamental (pobreza multidimensional) a 23 ciudades capitales y 23 departamentos (pobreza monetaria). Con la información del CNPV 2018, fue posible realizar una desagregación geográfica de cabeceras, centros poblados y rural disperso dentro de cada municipio.

La metodología usada por el DANE es una aproximación a la construcción del índice de pobreza multidimensional oficial para Colombia, que sigue la metodología de Alkire y Foster desarrollada por Oxford Poverty and Human Development Iniciative. En ese sentido, la medida de pobreza multidimensional con fuente censal no es comparable ni sustituye el índice oficial de pobreza multidimensional oficial del DANE. En los ejercicios de zonificación, no se usó la información sobre pobreza, sino los indicadores de privación a nivel municipal.

Análisis de consistencia y preparación de la información

La información se presentó consistente al estar expresada en valores que oscilaron entre el 2,4 y el 57,7 %, para *analfabetismo*, y entre el 27,4 y el 96,7 %, para *bajo logro educativo*, con información disponible para los municipios y corregimientos no municipalizados del país. Se realizó un análisis de consistencia en la que se observó la disponibilidad de información para los municipios y se determinó el mejor método estadístico de agrupamiento. Siguiendo la metodología de evaluación de tierras, se evaluó la existencia de datos atípicos mediante el criterio de Tukey, que consiste en señalar como atípico el dato cuyo rango intercuartílico se encuentra 1,5 veces el por encima del tercer cuartil o por debajo del primer cuartil. Es decir: un dato es atípico si se encuentra por fuera del siguiente intervalo:

$$[Q_1 - 1{,}5 * RI, Q_3 + 1{,}5 * RI]$$

donde Q_1 y Q_3 son el primer y tercer cuartil de la distribución de los datos, respectivamente, y RI, el rango intercuartílico que corresponde a la diferencia $Q_3 - Q_1$. Dado que se presentó más del 5% de datos atípicos, se determinó utilizar el método de *k*-medias. El resultado fue el método multivariado de *k*-medias.

Clasificación por aptitud

El algoritmo *k*-medias, como otros métodos de agrupamiento, parte de una función de aprendizaje no supervisado en el que no existen clases predefinidas y cuyos resultados están fuertemente determinados por el conjunto de datos disponibles y las medidas de similitud o distancia utilizadas para comparar datos. Con ello, se busca minimizar la distancia intraclústeres y maximizar la distancia interclústeres, partiendo de la distancia como medida de similitud. Si *d* (*i, j*) es mayor a *d* (*i, k*) significa que el objeto *i* es más parecido a *k* que a *j*. El método *k*-medias, desarrollado por MacQueen en el año 1967, se basó en un único parámetro (número de grupos), definido, en este caso, en 3 para las aptitudes alta (A1), media (A2) y baja (A3). Por tratarse de un agrupamiento univariado, no estuvo sesgado por el orden de presentación inicial de los datos. Los pasos para la estimación del clúster *k*-medias fueron los siguientes:

a) Se ordenaron los datos de mayor a menor o de menor a mayor, según la incidencia del fenómeno socioeconómico en estudio y la supuesta relación con los niveles de aptitud para la cadena productiva.

b) El total de datos disponibles se dividió en dos grupos. Luego, se calculó el centroide —centro geométrico del clúster—, base para la construcción de la variable objetivo, que fue la distancia. El centroide que se propuso fue el promedio aritmético de cada agrupamiento.

c) Dado que el algoritmo *k*-medias busca minimizar la distancia interna —es decir, la suma de las distancias de los datos de su centroide—, se calculó para cada dato el cuadrado de las diferencias con los centroides de los clústeres inicialmente calculados (tres) y se sumaron los valores para todos los datos del clúster.

d) Se asignó cada elemento al clúster, cuyo dato fuera el mínimo de los dos posibles, y se recalcularon los centroides con los nuevos agrupamientos.

e) Iterativamente, se fueron actualizando los centroides en función de las asignaciones de puntos a clúster hasta que los centroides dejaron de cambiar.

Como parte del mismo proceso, el procedimiento *k*-medias considera una fase de validación, que consiste en evaluar la existencia de los clústeres que sólo están integrados por datos extremos (*outliers*); comparar dos conjuntos de clústeres alternativos evaluando la consistencia con los fenómenos socioeconómicos; y comparar los resultados de los agrupamientos con los derivados de otras técnicas de agrupamiento para determinar si los resultados están describiendo el fenómeno socioeconómico en estudio.

La validación se puede desarrollar por criterios tanto internos como externos que aporten información adicional, como los relacionados con la entropía y la pureza; o por criterios internos generados a partir de los propios datos, como la suma de los cuadrados de las distancias al interior y entre cada clúster (cohesión y separación).

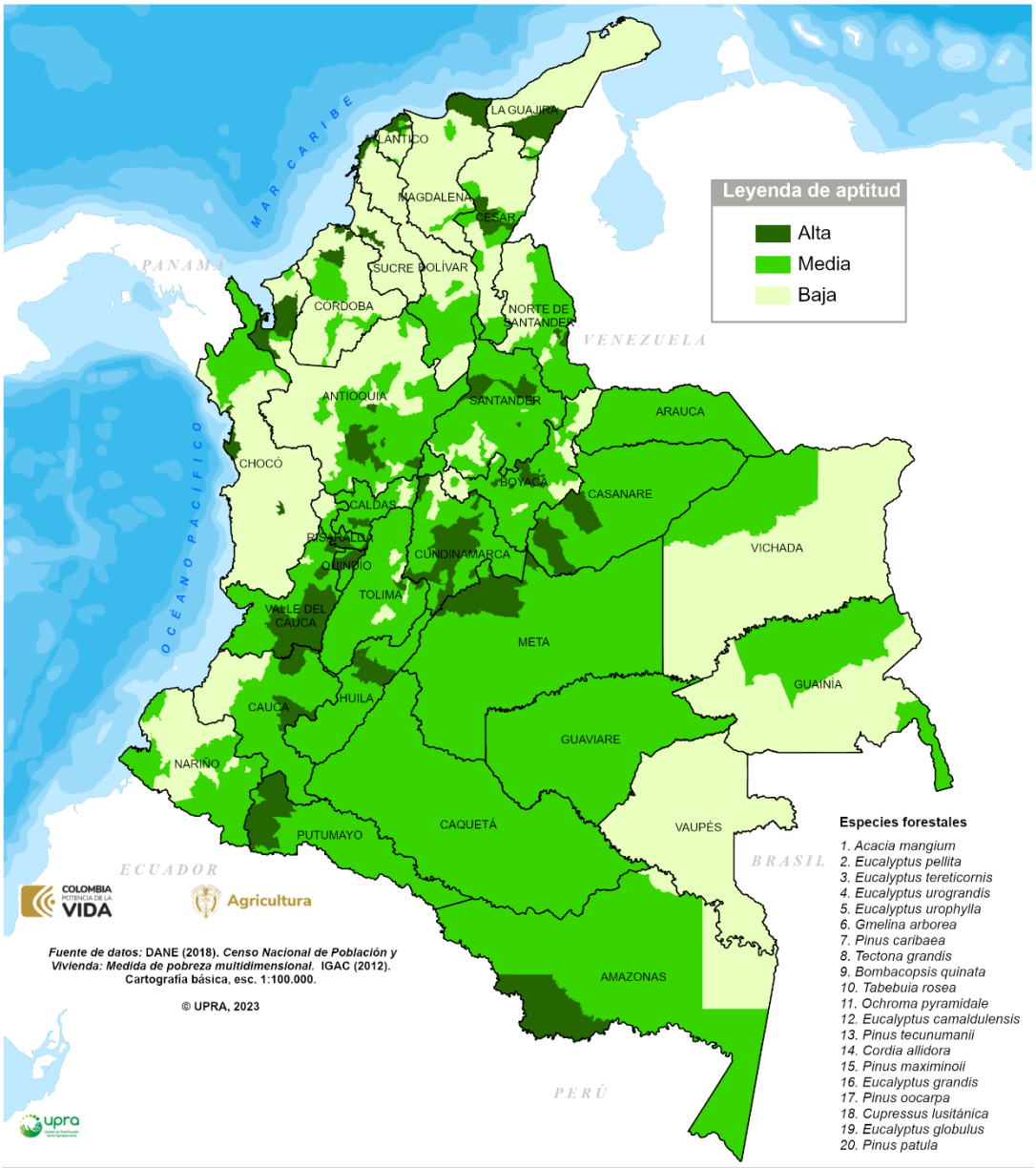
Rangos para la asignación de valores de aptitud

Los rangos para la espacialización de las variables se clasificaron de acuerdo con las categorías de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3). Se describió cada agrupamiento a partir de los centroides dados por el valor promedio de cada indicador para los municipios en cada nivel de aptitud expresado en porcentaje de hogares con privaciones.

Unidad de análisis

Porcentaje de hogares con privaciones.

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO CONDICIONES DE VIDA
Variable condiciones educativas del hogar

Fuentes de información

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020a). *Boletín técnico: medida de pobreza multidimensional municipal CNPV 2018*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). https://n9.cl/3u6j

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020b). *Medida de pobreza multidimensional municipal de fuente censal 2018*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). https://n9.cl/a90ts

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

3.7.4. Variable *condiciones de vivienda y acceso a servicios públicos*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: social		
Criterio: *condiciones de vida*		
Variable: *condiciones de vivienda y acceso a servicios públicos*	Unidad de medida: porcentaje de hogares con privaciones	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Condiciones habitacionales de los pobladores en las zonas rurales, para lo cual se entrelaza la información de los indicadores *hacinamiento crítico*, *eliminación de excretas*, *paredes y pisos inadecuados* y *limitación al acceso de agua mejorada*.

Importancia de la variable

Permite identificar los territorios rurales cuya incidencia de privaciones en cuanto a la vivienda y el acceso a servicios públicos domiciliarios de los hogares es menos generalizada y en donde se espera que la población tenga una mayor posibilidad de desarrollo de las capacidades humanas y aportar a un proceso productivo. Los municipios con menor porcentaje de hogares en situación de privación en sus condiciones de vivienda y acceso a servicios públicos domiciliarios cuentan con poblaciones más aptas para participar en las dinámicas socioeconómicas y requieren de una menor inversión social para potenciar las capacidades. Los municipios con mayores niveles de porcentaje de hogares en situación de privación en la vivienda y el acceso a servicios públicos domiciliarios condicionan una menor competitividad de los procesos productivos desarrollados en los territorios.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

En el análisis de la variable, no se presentaron límites que se calificaran como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

Los indicadores de privación en la vivienda y el acceso a servicios públicos domiciliarios se expresaron en porcentaje de hogares y no a nivel de personas, lo cual limitó el análisis en términos individuales y en número total de privaciones en el territorio.

Metodología de procesamiento de la información

Información

Se utilizó la información de datos entregada por el DANE en los anexos de la *Medida de pobreza multidimensional municipal con información censal* que se construyó usando la información del CNPV 2018, por lo que es posible hacer desagregaciones geográficas de cabeceras y centros poblados y rural disperso. Se tomaron los indicadores *hacinamiento crítico*, *pisos y paredes exteriores inadecuadas*, inadecuada eliminación de excretas y *sin acceso a fuentes de agua mejorada* para los 1122 municipios y corregimientos no municipalizados, de los que se reportó información sin un orden especifico, puesto que los municipios que no necesariamente tienen un alto analfabetismo corresponden a municipios con altos niveles de bajo logro educativo.

Precisiones de la información

Colombia tiene dos medidas oficiales de pobreza complementarias: la pobreza monetaria y la pobreza multidimensional. La metodología para estimar cada una de estas medidas se encuentra oficializada en el Conpes 150 de 28 de mayo de 2012, en donde se determinó que la publicación se debe realizar anualmente según la disponibilidad de la gran encuesta integrada de hogares (GEIH), para la pobreza monetaria, y la encuesta de calidad de vida (ECV), para la pobreza multidimensional. Sin embargo, estas encuestas sólo permiten llegar a niveles de desagregación geográfica departamental (pobreza multidimensional) a 23 ciudades capitales y 23 departamentos (pobreza monetaria). Con la información del CNPV 2018, fuer posible realizar desagregaciones geográficas de cabeceras, centros poblados y rural disperso dentro de cada municipio.

La metodología usada por el DANE es una aproximación a la construcción del índice de pobreza multidimensional oficial para Colombia, que sigue la metodología de Alkire y Foster desarrollada por Oxford Poverty and Human Development Iniciative. En ese sentido, la medida de pobreza multidimensional con fuente censal no es comparable ni sustituye el índice oficial de pobreza multidimensional oficial del DANE y en los ejercicios de zonificación no se usó la información sobre pobreza, sino los indicadores de privación a nivel municipal.

Análisis de consistencia y preparación de la información

La información se presentó consistente al estar expresada en valores que oscilaron entre el 0,4 y el 58,1 % para *hacinamiento crítico*; entre el 0,5 y el 97,6 % para *inadecuada eliminación de excretas*; entreel 0,1 y el 75,7 % para *material inadecuado en paredes exteriores*, entre el 0,1 y el 92,1 % para *material inadecuado de pisos*; y entre el 0,4 y el 97,1 % para *sin acceso a fuentes de agua mejorada*, con información disponible para todos los municipios y corregimientos no municipalizados del país. Se realizó un análisis de consistencia en la que se observó la disponibilidad de información para todos los municipios del país y se determinó el mejor método estadístico de agrupamiento.

Siguiendo la metodología de evaluación de tierras, se evaluó la existencia de datos atípicos mediante el criterio de Tukey, que consiste en señalar como atípico el dato cuyo rango intercuartílico se encuentra 1,5 veces por encima del tercer cuartil o por debajo del primer cuartil. Es decir, un dato es atípico si se encuentra por fuera del siguiente intervalo:

$$[Q_1 - 1{,}5 * RI, Q_3 + 1{,}5 * RI]$$

donde Q_1 y Q_3 son el primer y tercer cuartil de la distribución de los datos, respectivamente, y RI, es el rango intercuartílico que corresponde a la diferencia $Q_3 - Q_1$. Dado que se presentó más del 5 % de datos atípicos, se decidió utilizar el método de *k*-medias. El resultado fue el método multivariado de *k*-medias.

Clasificación por aptitud

El algoritmo *k*-medias, como otros métodos de agrupamiento, parte de una función de aprendizaje no supervisado en el que no existen clases predefinidas y cuyos resultados están fuertemente determinados por el conjunto de datos disponibles y las medidas de similitud o distancia utilizadas para comparar datos. Con ello, se busca minimizar la distancia intraclústeres y maximizar la distancia interclústeres, partiendo de la distancia como medida de similitud. Si *d* (*i, j*) es mayor a *d* (*i, k*) significa que el objeto *i* es más parecido a *k* que a *j*. El método *k*-medias, desarrollado por MacQueen en el año 1967, se basó en un único parámetro (número de grupos), definido, en este caso, en 3 para las aptitudes alta (A1), media (A2) y baja (A3). Por tratarse de un agrupamiento univariado, no estuvo sesgado por el orden de presentación inicial de los datos. Los pasos para la estimación del clúster *k*-medias fueron los siguientes:

a) Se ordenaron los datos de mayor a menor o de menor a mayor, según la incidencia del fenómeno socioeconómico en estudio y la supuesta relación con los niveles de aptitud para la cadena productiva.

b) El total de datos disponibles se dividió en dos grupos. Luego, se calculó el centroide —centro geométrico del clúster—, base para la construcción de la variable objetivo, que fue la distancia. El centroide que se propuso fue el promedio aritmético de cada agrupamiento.

c) Dado que el algoritmo *k*-medias busca minimizar la distancia interna —es decir, la suma de las distancias de los datos de su centroide—, se calculó para cada dato el cuadrado de las diferencias con los centroides de los clústeres inicialmente calculados (tres) y se sumaron los valores para todos los datos del clúster.

d) Se asignó cada elemento al clúster, cuyo dato fuera el mínimo de los dos posibles, y se recalcularon los centroides con los nuevos agrupamientos.

e) Iterativamente, se fueron actualizando los centroides en función de las asignaciones de puntos a clúster hasta que los centroides dejaron de cambiar.

Como parte del mismo proceso, el procedimiento *k*-medias considera una fase de validación, que consiste en evaluar la existencia de los clústeres que sólo están integrados por datos extremos (*outliers*); comparar dos conjuntos de clústeres alternativos evaluando la consistencia con los fenómenos socioeconómicos; y comparar los resultados de los agrupamientos con los derivados de otras técnicas de agrupamiento para determinar si los resultados están describiendo el fenómeno socioeconómico en estudio.

La validación se puede desarrollar por criterios tanto internos como externos que aporten información adicional, como los relacionados con la entropía y la pureza; o por criterios internos generados a partir de los propios datos, como la suma de los cuadrados de las distancias al interior y entre cada clúster (cohesión y separación).

Rangos para la asignación de valores de aptitud

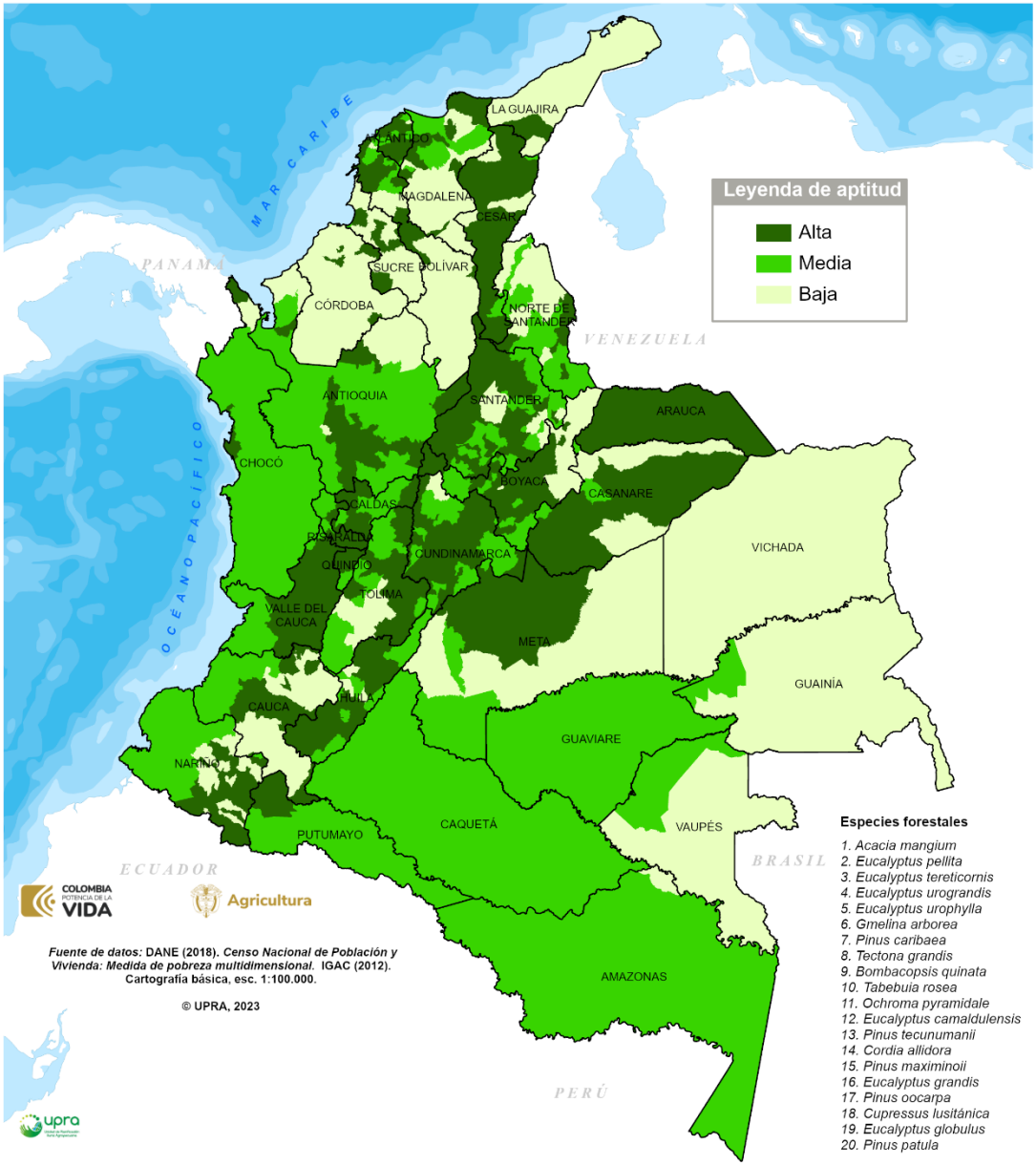
Los rangos para la espacialización de las variables se clasificaron de acuerdo con las categorías de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3). En la siguiente tabla se registra cada agrupamiento a partir de los centroides dados por el valor promedio de cada indicador para los municipios en cada nivel de aptitud expresado en porcentaje de hogares con privaciones:

Aptitud	*Hacinamiento critico*	*Inadecuada eliminación de excretas*	*Inadecuado material de paredes exteriores*	*Inadecuado material de piso*	*Sin acceso a fuentes de agua mejorada*
Alta	6,7	16,3	2,8	13,7	22,7
Media	9,0	41,0	3,0	14,7	67,4
Baja	16,7	46,3	8,8	58,3	51,2

Unidad de análisis

Porcentaje de hogares con privaciones.

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO CONDICIONES DE VIDA
Variable condiciones de la vivienda y acceso a servicios públicos

Fuentes de información

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020a). *Boletín técnico: medida de pobreza multidimensional municipal CNPV 2018*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). https://n9.cl/3u6j

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020b). *Medida de pobreza multidimensional municipal de fuente censal 2018*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). https://n9.cl/a90ts

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

3.7.5. Variable *condiciones de la niñez y de la juventud*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: social		
Criterio: *condiciones de vida*		
Variable: *condiciones de la niñez y de la juventud*	Unidad de medida: porcentaje de hogares con privaciones	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Porcentaje de hogares de las zonas rurales con privaciones combinadas en las variables *barreras de acceso a servicios para cuidado de la primera infancia*, *trabajo infantil*, *inasistencia* y *rezago escolar*.

Importancia de la variable

Permite identificar los territorios rurales cuya incidencia de privaciones en aspectos relacionados con las condiciones de la niñez y de la juventud de los hogares es menos generalizada y se espera que la población tenga una mayor posibilidad de desarrollo de sus capacidades humanas y aportar a un proceso productivo. Los municipios con menor porcentaje de hogares en situación de privación en las condiciones de la niñez y de la juventud cuentan con poblaciones más aptas para participar en las dinámicas socioeconómicas precisan de una menor inversión social para potenciar las capacidades. Con ello, se incrementa no sólo la probabilidad de acceder a certificaciones de buenas prácticas por parte de los productores, sino tamnién su competitividad. Los municipios con mayores niveles de porcentaje de hogares en situación de privación en las condiciones de la niñez y de la juventud condicionan una menor competitividad de los procesos productivos desarrollados en los territorios.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

En el análisis de la variable, no se presentaro límites que se calificaran como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

Los indicadores de privación en las condiciones de la niñez y de la juventud se expresan en porcentaje de hogares y no a nivel de personas, lo cual limita el análisis en términos individuales y en número total de privaciones en el territorio.

Metodología de procesamiento de la información

Información

Se utilizó la información de datos entregada por el DANE en los anexos de la *Medida de pobreza multidimensional municipal con información censal* que se construyó usando la información del CNPV 2018, por lo que fue posible realizar desagregaciones geográficas de cabeceras, centros poblados y rural disperso. Se tomaron los indicadores *inasistencia y rezago escolar*, *barreras para el cuidado de la primera infancia* y *trabajo infantil* para los 1.122 municipios y corregimientos no municipalizados, de los que se reportó información sin un orden específico, pues los municipios que tienen un alto nivel de privaciones por inasistencia escolar no necesariamente corresponden a municipios con altos niveles de rezago escolar.

Precisiones de la información

Colombia tiene dos medidas oficiales de pobreza complementarias: la pobreza monetaria y la pobreza multidimensional. La metodología para estimar cada una se encuentra oficializada en el Conpes 150 de 28 de mayo de 2012, en donde se determinó que la publicación se debe realizar anualmente según la disponibilidad de la gran encuesta integrada de hogares (GEIH), para la pobreza monetaria, y la encuesta de calidad de vida (ECV), para la pobreza multidimensional. Sin embargo, estas encuestas sólo permiten llegar a niveles de desagregación geográfica departamental (pobreza multidimensional) a 23 ciudades capitales y 23 departamentos (pobreza monetaria). Con la información del CNPV 2018, fueron posibles desagregaciones geográficas de cabeceras, centros poblados y rural disperso dentro de cada municipio.

La metodología usada por el DANE es una aproximación a la construcción del índice de pobreza multidimensional oficial para Colombia, que sigue la metodología de Alkire y Foster desarrollada por Oxford Poverty and Human Development Iniciative. En ese sentido, la medida de pobreza multidimensional con fuente censal no es comparable ni sustituye el índice oficial de pobreza multidimensional oficial del DANE. En los ejercicios de zonificación, no se usó la información sobre pobreza, sino los indicadores de privación a nivel municipal.

Análisis de consistencia y preparación de la información

La información se presentó consistente al estar expresada en valores que oscilaron entre el 0,3 y el 34,6 % para *barreras de acceso a servicios de cuidado para la primera infancia*; entre el 0,1 y el 12,7 % para *trabajo infantil*; entre el 0,7 y el 42,8 % *inasistencia escolar*; y entre el 4,9 y el 62,1 % para *rezago escolar*, con información disponible para los municipios y corregimientos no municipalizados del país. Se analizó la consistencia en la que se observó la disponibilidad de información para los municipios y se determinó el mejor método estadístico de agrupamiento.

Siguiendo la metodología de evaluación de tierras, se evaluó la existencia de datos atípicos mediante el criterio de Tukey, que consiste en señalar como atípico el dato cuyo rango intercuartílico se encuentra 1,5 veces el por encima del tercer cuartil o por debajo del primer cuartil. Es decir: un dato es atípico si se encuentra por fuera del siguiente intervalo:

$$[Q_1 - 1{,}5 * RI, Q_3 + 1{,}5 * RI]$$

donde Q_1 y Q_3 son el primer y tercer cuartil de la distribución de los datos, respectivamente, y RI, el rango intercuartílico que corresponde a la diferencia $Q_3 - Q_1$. Dado que se presentó más del 5 % de datos atípicos, se decidió utilizar el método de *k*-medias. El resultado fue el método multivariado de *k*-medias.

Clasificación por aptitud

El algoritmo *k*-medias, como otros métodos de agrupamiento, parte de una función de aprendizaje no supervisado en el que no existen clases predefinidas y cuyos resultados están fuertemente determinados por el conjunto de datos disponibles y las medidas de similitud o distancia utilizadas para comparar datos. Con ello, se busca minimizar la distancia intraclústeres y maximizar la distancia interclústeres, partiendo de la distancia como medida de similitud. Si *d* (*i, j*) es mayor a *d* (*i, k*) significa que el objeto *i* es más parecido a *k* que a *j*. El método *k*-medias, desarrollado por MacQueen en el año 1967, se basó en un único parámetro (número de grupos), definido, en este caso, en 3 para las aptitudes alta (A1), media (A2) y baja (A3). Por tratarse de un agrupamiento univariado, no estuvo sesgado por el orden de presentación inicial de los datos. Los pasos para la estimación del clúster *k*-medias fueron los siguientes:

a) Se ordenaron los datos de mayor a menor o de menor a mayor, según la incidencia del fenómeno socioeconómico en estudio y la supuesta relación con los niveles de aptitud para la cadena productiva.

b) El total de datos disponibles se dividió en dos grupos. Luego, se calculó el centroide —centro geométrico del clúster—, base para la construcción de la variable objetivo, que fue la distancia. El centroide que se propuso fue el promedio aritmético de cada agrupamiento.

c) Dado que el algoritmo *k*-medias busca minimizar la distancia interna —es decir, la suma de las distancias de los datos de su centroide—, se calculó para cada dato el cuadrado de las diferencias con los centroides de los clústeres inicialmente calculados (tres) y se sumaron los valores para todos los datos del clúster.

d) Se asignó cada elemento al clúster, cuyo dato fuera el mínimo de los dos posibles, y se recalcularon los centroides con los nuevos agrupamientos.

e) Iterativamente, se fueron actualizando los centroides en función de las asignaciones de puntos a clúster hasta que los centroides dejaron de cambiar.

Como parte del mismo proceso, el procedimiento *k*-medias considera una fase de validación, que consiste en evaluar la existencia de los clústeres que sólo están integrados por datos extremos (*outliers*); comparar dos conjuntos de clústeres alternativos evaluando la consistencia con los fenómenos socioeconómicos; y comparar los resultados de los agrupamientos con los derivados de otras técnicas de agrupamiento para determinar si los resultados están describiendo el fenómeno socioeconómico en estudio.

La validación se puede desarrollar por criterios tanto internos como externos que aporten información adicional, como los relacionados con la entropía y la pureza; o por criterios internos generados a partir de los propios datos, como la suma de los cuadrados de las distancias al interior y entre cada clúster (cohesión y separación).

Rangos para la asignación de valores de aptitud

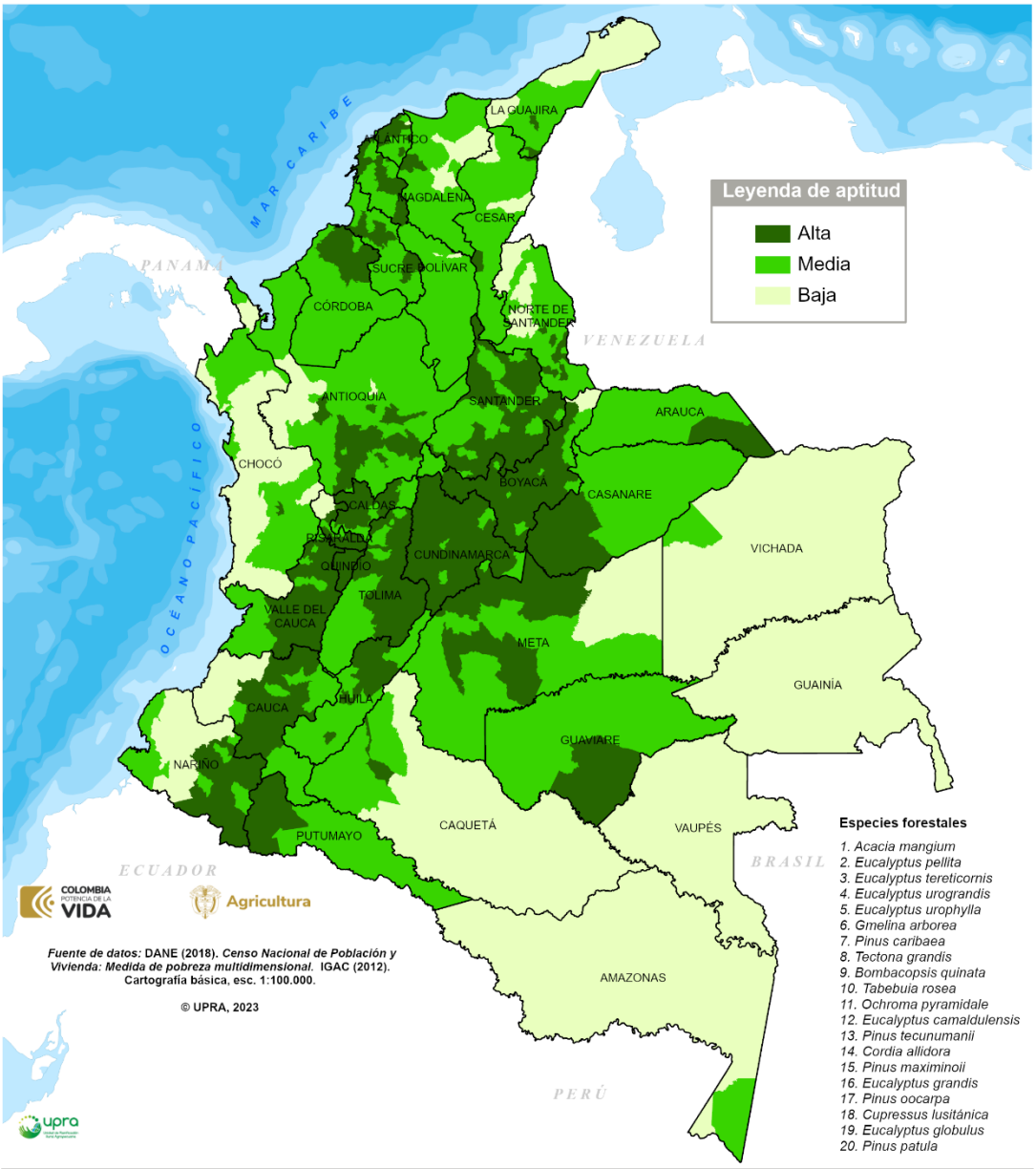
Los rangos para la espacialización de las variables se clasificaron de acuerdo con las categorías de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3). En la siguiente tabla, se registra cada agrupamiento a partir de los centroides dados por el valor promedio de cada indicador para los municipios en cada nivel de aptitud expresado en porcentaje de hogares con privaciones:

Aptitud	*Barreras de acceso*	*Trabajo infantil*	*Inasistencia escolar*	*Rezago escolar*
Alta	1,7	1,7	4,2	15,7
Media	3,3	3,2	8,0	26,3
Baja	13,0	3,5	16,4	42,5

Unidad de análisis

Porcentaje de hogares con privaciones.

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO CONDICIONES DE VIDA
Variable condiciones de la niñez y la juventud

Fuentes de información

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020a). *Boletín técnico: medida de pobreza multidimensional municipal CNPV 2018*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). https://n9.cl/3u6j

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020b). *Medida de pobreza multidimensional municipal de fuente censal 2018*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). https://n9.cl/a90ts

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

4. Fichas metodológicas de exclusiones legales

4.1. Criterio *exclusiones legales*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioecosistémico		
Criterio: *exclusiones legales*		
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	
	Exclusión legal	✓
	Condicionante legal	

Variables asociadas al criterio

Ecosistemas estratégicos, que corresponden a los polígonos de páramos.

Áreas protegidas, que corresponden a los polígonos de áreas del sistema de parques nacionales naturales, polígonos de parques naturales regionales y polígonos de reservas forestales protectoras, otras áreas protegidas locales y polígonos de zonas de preservación y recuperación para la preservación del área de manejo especial de La macarena (AMEM). Se incluyeron los distritos de manejo integrado, correspondientes a los polígonos identificados como las zonas de preservación, restauración para la preservación y uso público (subzonas para la recreación y alta densidad de uso) relacionados en la zonificación de los planes de manejo de los distritos regionales de manejo La Tatacoa y la serranía de Peñas Blancas de la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM).

Planes de ordenación forestal, que corresponden a los polígonos con usos prohibidos de las áreas forestales protectoras; áreas para la preservación; áreas forestales de protección para la preservación y restauración; áreas de protección para la conservación de la biodiversidad, suelos y recurso hídrico; macrounidades de manejo forestal para la conservación de cuerpos de agua, la restauración ecológica de rondas y la conservación relacionados con los POF de la de la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM); Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique (Cardique); Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena (Cormacarena) para la Cuenca del río Planas y del río Tillavá en Puerto Gaitán; Corporación Autónoma Regional de Boyacá (Corpoboyacá); Corporación Autónoma Regional del Guavio (Corpoguavio) y Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA), Corporación Autónoma Regional de Sucre (Carsucre), Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), Corporación Autónoma Regional del Sur de Bolívar (CSB), Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge (CVS); y Corporación Autónoma Regional de Santander (CAS).

Parques arqueológicos, que son áreas arqueológicas protegidas, declaradas mediante resolución, que han sido adaptadas para recibir visitantes y que se encuentran bajo tutela del Icanh, lo que permite realizar labores de conservación e investigación. La declaratoria de un polígono como área arqueológica protegida genera un marco de protección sobre el área marcada y el encargado de ejecutar el plan de manejo arqueológico (PMA) cuenta con el apoyo de entidades estatales para asegurar la conservación de estos espacios patrimoniales (Icanh, 2018).

Zonas de reserva forestal nacional, Ley 2 de 1959, tipo A, que corresponde a los polígonos identificados como zonas tipo A de las zonas de reserva forestal nacional.

Definición

Son zonas en las que, por mandato legal, no se permite el desarrollo de actividades agropecuarias productivas. Las zonas excluidas del proceso de zonificación de aptitud fueron los ecosistemas estratégicos (páramos); las áreas protegidas (áreas del sistema nacional de parques nacionales naturales, parques naturales regionales, reservas forestales protectoras, zonas de preservación y recuperación para la preservación del AMEM); los planes de ordenación forestal; las áreas urbanas (ciudades capitales y centros poblados); los parques arqueológicos y las reservas forestales nacionales, tipo A.

Importancia del criterio

Permite determinar dónde se puede y no se puede desarrollar actividad productiva agropecuaria, dados los mandatos legales vigentes. Las consideraciones legales para la exclusión de la zonificación se determinaron de acuerdo con los siguientes instrumentos normativos:

Ecosistemas estratégicos (páramos). El Consejo de Estado indica en la providencia del 9 de marzo de 2015 que están absolutamente prohibidas las concesiones mineras, los títulos mineros y las actividades agropecuarias en los páramos colombianos. Así mismo, faculta al Gobierno para cerrar las actividades de explotación minera y agropecuaria que se desarrollan en estos ecosistemas y que los afectan. Al respecto, señala que «el objetivo central de las normas ambientales es subordinar el interés privado, que representa la actividad económica, al interés público o social, que exige la preservación del ambiente». La providencia explicó que los ministerios de Ambiente, Agricultura y de Minas están obligados a iniciar programas de sustitución y capacitación ambiental o de reconversión para las actividades agropecuarias que se desarrollaban en los páramos antes de la entrada en vigor de la Ley 1450 del 2011. Sin embargo, si alguna de las labores pone en riesgo el ecosistema, el Estado podrá expropiar el predio para buscar la restauración y conservación ambiental.

En los ecosistemas de páramos no se podrán adelantar actividades agropecuarias ni de exploración o explotación de hidrocarburos y minerales. Para ello, se consideró como referencia mínima la cartografía contenida en el *Atlas de páramos de Colombia* del IAvH hasta que se cuente con una cartografía a escala más detallada (Ley 1450 de 2011).

La Sentencia C-035 de 2016 proferida por la Corte Constitucional establece que, ante la vulnerabilidad, fragilidad y dificultad de recuperación de los ecosistemas de páramo, el Estado debe brindar una protección más amplia y especial para preservar este tipo de ecosistema. Los páramos sólo son un tipo de bioma poco común en el mundo, sino que también ofrecen servicios ambientales. Además, en la actualidad es un ecosistema sometido a intervenciones negativas o disturbios que afectan su supervivencia.

De acuerdo con la resolución 886 de 2018 (MADS), «por la cual se adoptan los lineamientos para la zonificación y régimen de usos en las áreas de páramos delimitados y se establecen las directrices para diseñar, capacitar y poner en marcha programas de sustitución y reconversión de las actividades agropecuarias y se toman otras determinaciones», se ha avanzado en la zonificación de los páramos delimitados según las actividades agropecuarias que se venían desarrollando antes del 16 de junio de 2011. Para ello, se han usado el diseño de los programas de sustitución y reconversión de las actividades agropecuarias, la capacitación y puesta en marcha de programas del MADR mediante la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA), la Agencia Nacional de Desarrollo Rural (ADR), la Agencia Nacional de Tierras (ANT) y demás entidades adscritas.

Áreas del Sistema de parques nacionales naturales. Como parte del Sistema nacional de áreas protegidas (Sinap), están integrados por los tipos de áreas consagrados en el Decreto Ley 2811 de 1974 y el Decreto 2372 de 2010, compendiado en el Decreto 1076 de 2015, único del sector ambiental, que reglamenta el Sinap. El Sinap incluye las figuras de parques nacionales naturales; el área natural única; las reservas naturales de los santuarios de fauna; los santuarios de fauna y flora; y la vía parque. De conformidad con el Decreto 622 de 1977, compendiado en el Decreto 1076 de 2015, único del sector ambiental, esta categoría es totalmente incompatible con las actividades agropecuarias e industriales.

Se incluyen los distritos de manejo Integrado que, de acuerdo con el Decreto 2372 de 2010, compendiado en el Decreto 1076 de 2015, único del sector ambiental, corresponden a espacios geográficos cuyos paisajes y ecosistemas mantienen su composición y función, aunque la estructura haya sido modificada, y cuyos valores naturales y culturales asociados se hayan puesto al alcance de la población humana para destinarlos al uso sostenible, preservación, restauración, conocimiento y disfrute. En esta categoría se contemplaron las zonas de preservación, restauración para la preservación y uso público —subzonas para la recreación y alta densidad de uso— identificadas en la zonificación descrita en los planes de manejo de los distritos regionales de manejo integrado (DRMI) La Tatacoa y serranía de Peñas Blancas, elaborada por la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM) y adoptada por los acuerdos 012 de 2015 y 015 de 2020.

Parques naturales regionales. De acuerdo con el Decreto 2372 de 2010, se entienden como un espacio geográfico cuyos paisajes y ecosistemas estratégicos en la escala regional mantienen la estructura, la composición, la función y los procesos ecológico-volutivos que los

sustentan y cuyos valores naturales y culturales asociados se hayan puesto al alcance de la población humana para destinarlas a la preservación, restauración, conocimiento y disfrute.

Reservas forestales protectoras. De acuerdo con el Decreto 2372 de 2010, compendiado en el Decreto 1076 de 2015, único del sector ambiental, se consideran un espacio geográfico cuyos ecosistemas de bosque mantienen su función, aunque la estructura y composición haya sido modificada y los valores naturales asociados se hayn puesto al alcance de la población humana para destinarlos a sula preservación, uso sostenible, restauración, conocimiento y disfrute. Esta zona de propiedad pública o privada se reserva para destinarla al establecimiento o mantenimiento y utilización sostenible de los bosques y otras coberturas vegetales naturales.

Planes de ordenación forestal. El Decreto 1076 de 2016 recopila lo establecido en el Decreto 1791 de 1996, el cual dictamina que las Corporaciones Autónomas Regionales deben contar con un plan de ordenación forestal que defina las áreas boscosas pertenecientes a su jurisdicción. En ese sentido el plan de ordenación forestal es un documento desarrollado por las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) y se fundamenta en los aspectos bióticos, abióticos, sociales y económicos de la zona, lo cual permite ordenar las áreas forestales que se encuentran en el territorio. El objetivo consiste en lograr el uso de los recursos forestales de manera planificada y asegurar la sostenibilidad para el aprovechamiento, por lo que definen el uso principal, el uso condicionado y el uso prohibido.

Las exclusiones legales pertenecen a los POF de la corporación autónoma regional del alto magdalena (CAM); la Corporación Autónoma Regional de Sucre (Carsucre); la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB); la Corporación Autónoma Regional del Sur de Bolívar (CSB); la Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge (CVS); la Corporación Autónoma Regional de Santander (CAS); la Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique (Cardique); la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena (Cormacarena) para la cuenca del río Planas y del río Tillavá en el municipio de Puerto Gaitán; la Corporación Autónoma Regional de Boyacá (Corpoboyacá); la Corporación Autónoma Regional del Guavio (Corpoguavio); la y Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA). Éstas se relacionan con los usos prohibidos de las áreas forestales protectoras, las áreas para la preservación, las áreas forestales de protección para la preservación y restauración, las áreas de protección para la conservación de la biodiversidad, suelos y recurso hídrico y las macrounidades de manejo forestal para la conservación de cuerpos de agua, la restauración ecológica de rondas y la conservación.

Zonas de preservación y recuperación para la preservación del AMEM. Según el Decreto 1989 de 1989, «por el cual se declara Área de Manejo Especial La Macarena, la Reserva Sierra de la Macarena, se clasifica y zonifica su territorio y se fijan sus límites reales», se definen zonas para la preservación y recuperación para la preservación en los distritos de manejo integrado del AMEM, es decir: las zonas identificadas como exclusiones recuperación para la

preservación sur; recuperación para la preservación norte; vertiente oriental; y serranía de La Lindosa. Se detallan los siguientes polígonos de zonificaciones: para el DMI Macarena norte, la zona de recuperación para la producción, es decir, las áreas de uso de preservación; para la zona de recuperación para la preservación, las áreas de uso de preservación y áreas de uso de restauración; y para el DMI Losada-Perdido, la zona de recuperación para la producción, es decir, las áreas de uso de preservación.

Parques arqueológicos. Los parques arqueológicos son áreas arqueológicas protegidas, declaradas mediante una resolución, que han sido adaptadas para recibir visitantes y que se encuentran bajo tutela del Icanh, lo que permite realizar labores de conservación e investigación. La declaratoria de un polígono como área arqueológica protegida genera un marco de protección sobre el área marcada. El encargado de ejecutar el plan cuenta con el apoyo de entidades estatales para asegurar la conservación de estos espacios patrimoniales (Icanh, 2018).

Zonas de reserva forestal nacional, Ley 2 de 1959, tipo A: las zonas de reserva forestal nacional (ZRFN) fueron creadas para el desarrollo de la economía forestal y protección de los suelos, las aguas y la vida silvestre, mediante la Ley 2 de 1959. Se compone de siete reservas forestales nacionales: ZRFN del Pacífico; ZRFN central; ZRFN del río Magdalena; ZRFN de la Sierra Nevada de Santa Marta; ZRFN de la serranía de Los Motilones; ZRFN del Cocuy; y ZRFN de la Amazonia. La zonificación adelantada por el MADS en estas zonas definió tres zonas tipo, denominadas A, B y C. Las zonas tipo A garantizan el mantenimiento de los procesos ecológicos básicos necesarios para asegurar la oferta de servicios ecosistémicos, relacionados con la regulación hídrica y climática; la asimilación de contaminantes del aire y del agua; la formación y protección del suelo; la protección de paisajes singulares y de patrimonio cultural; y el soporte a la diversidad biológica.

Limitantes de la evaluación del criterio

Cada factor evaluado presentó limitantes por las características que imposibilitan generalizarlos. Sobre los ecosistemas estratégicos, las áreas delimitadas corresponden al complejo de páramos y abarca grandes extensiones que incluyen zonas con algún grado de aptitud. Se debe actualizar esta exclusión con la información de las zonificaciones de los páramos o los respectivos ajustes que adelanta el MADS con el IAvH. Respecto a las áreas protegidas, la principal limitante fue la dinámica, pues están creando nuevas áreas. Así, es necesario que en los criterios condicionantes se evalúe las zonas de protección y desarrollo de los recursos. Queda implícito que en el futuro una parte de las áreas será categoría área protegida, lo que implica un cambio a condicionante a exclusión legal y la necesidad de mantener actualizada la información cartográfica para que las exclusiones incluyan las nuevas áreas protegidas.

No se contemplaron los parques arqueológicos que han sido declarados pero que carecen de espacialización cartográfica por parte del Icanh. Prescindir de esta información en la zonificación de aptitud no desconoce la posibilidad de que se requiera adelantar procesos de verificación ante la pretensión de implementar desarrollos productivos en zonas donde existan áreas de interés arqueológico. Las resoluciones que zonifican las ZRFN establecen que en las zonas tipo A, B o C

se pueden adelantar procesos de sustracción según la normativa vigente (Resolución 1922 de 2013, MADS, que corresponde a la adopción de la zonificación de la zona de reserva forestal central. Como todas las áreas son susceptibles de ser sustraídas, la información que proviene de este insumo deberá ser actualizada para las nuevas sustracciones realizadas en las reservas.

Valor de ponderación del criterio

No aplica.

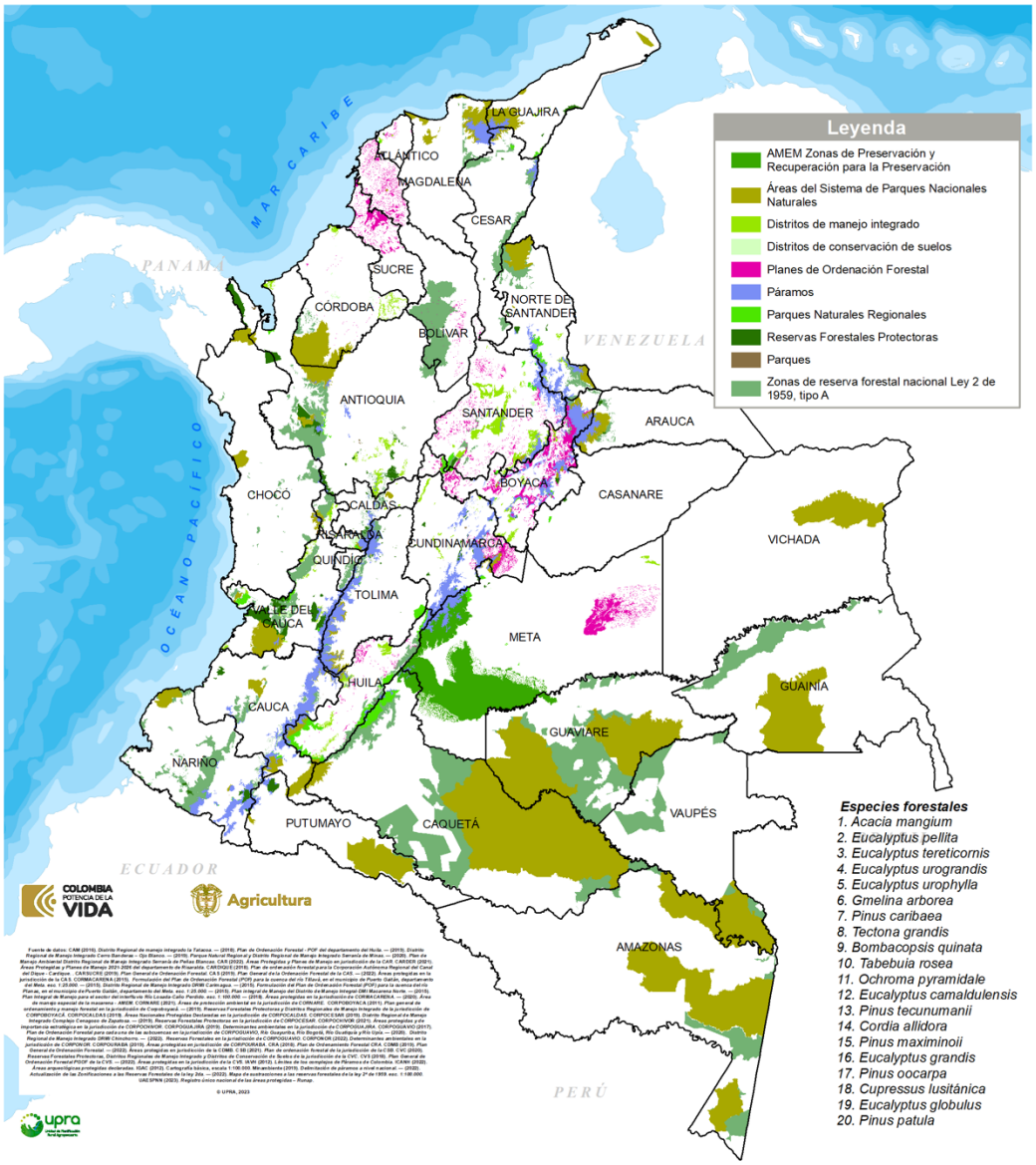
Metodología de evaluación

La metodología de evaluación se fundamentó en un análisis profundo de las normas vigentes. Para generar la información espacial, se partió de las capas oficiales que contienen la información actualizada de las áreas de páramo; las áreas protegidas; otras áreas protegidas; los parques arqueológicos; las áreas urbanas; y las zonas de reserva forestal nacional tipo A. Una vez identificadas las variables presentes en la zona de estudio, se generó un mapa para identificar las variables evaluadas, la cuales serán sujeto de exclusión.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

No aplica, por tratarse de una exclusión legal.

Representación cartográfica del criterio



EXCLUSIONES LEGALES

Fuentes de información

Corporación Autónoma Regional de Boyacá y Corporación de Tecnologías Sostenibles (2009). *Formulación del Plan General de Ordenamiento y Manejo Forestal PGOF en la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Boyacá CORPOBOYACA. Etapa III. Ordenación y zonificación forestal.* Corporación Autónoma Regional de Boyacá (Corpoboyacá).

Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (2015) *Acuerdo 012 de 2015, por el cual se adopta el Plan de Manejo del Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) La Tatacoa, localizado en los Municipios de Villavieja y Baraya, Departamento del Huila*. Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM)

Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (2020). *Acuerdo 015 de 2020, por el cual se adopta el Plan de Manejo Ambiental del Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) Serranía de Peñas Blancas y se modifica el Acuerdo 0003 de 2018 "Por el cual se declara, reserva, delimita y alindera el Distrito Regional de Manejo Integrado Serranía de Peñas Blancas, ubicado en los Municipios de Palestina, Acevedo, Pitalito, Timana y Suaza, en el departamento del Huila" y se toman otras determinaciones.* Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM).

Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena y Unión Temporal Forestal–Ambiental 2017 (2018). *Plan de Ordenación Forestal del departamento del Huila POF-* Huila. Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM).

Corporación Autónoma Regional del Atlántico (2018). *Capítulo 5: ordenación forestal a implementar*. Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA).

Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique (Cardique) y Enviromental Ingenieros Consultores (2017). *Plan de ordenación forestal para la Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique -CARDIQUE*. Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique (Cardique).

Corporación Autónoma Regional del Guavio (2017). *Plan de Ordenación Forestal POF para la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Guavio -CORPOGUAVIO*. Corporación Autónoma Regional del Guavio (Corpoguavio).

Corporación Autónoma Regional del Sur de Bolívar (2021). *Acuerdo 10 de 2021, por el cual se adopta Plan de ordenación forestal para la Serranía de San Lucas para el área de jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Sur de Bolívar (CSB*). Corporación Autónoma Regional del Sur de Bolívar (CSB).

Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge (2018). Acuerdo 359 de 2018, *por el cual se adopta la actualización del Plan General de Ordenación Forestal–PGOF de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge* (CVS). Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge (CVS).

Corporación Autónoma Regional de Santander (2019). *Acuerdo 386 de 2019, por el cual se adopta la actualización del Plan General de Ordenación Forestal en el área de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Santander (CAS)*. Corporación Autónoma Regional de Santander (CAS).

Corporación Autónoma Regional de Sucre (2019). Resolución 1112 de 2019, *por medio de la cual se aprueba Plan de Ordenación Forestal de Corporación Autónoma Regional de Sucre* (*CARSUCRE)*. Corporación Autónoma Regional de Sucre (Carsucre).

Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (2019). *Acuerdo 1388 de 2019, por el cual se adopta el Plan General de Ordenación Forestal Integral y Sostenible para el área de jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB*). Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB).

Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena (2015). *Distritos de Manejo Integrado (DMI), Área de Manejo Especial La Macarena (AMEM)*. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena (Cormacarena).

Corporación para el Desarrollo Sostenible de Área de Manejo Especial La Macarena y Universidad Distrital Francisco José de Caldas (2015a). *Formulación del Plan de Ordenación Forestal (POF) para la cuenca del Río Planas, en el municipio de Puerto Gaitán*, Departamento del Meta. Corporación para el Desarrollo Sostenible de Área de Manejo Especial La Macarena (Cormacarena).

Corporación para el Desarrollo Sostenible de Área de Manejo Especial La Macarena y Universidad Distrital Francisco José de Caldas (2015b). *Formulación del Plan de Ordenación Forestal (POF) para la cuenca del Río Tillavá, en el municipio de Puerto Gaitán*, Departamento del Meta. Corporación para el Desarrollo Sostenible de Área de Manejo Especial La Macarena (Cormacarena).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2014). *Marco geoestadístico nacional: cabeceras municipales y centros poblados*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Instituto Colombiano de Antropología e Historia (2019). *Parques arqueológicos*. Instituto Colombiano de Antropología e Historia (Icanh).

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (2019). *Actualización de los límites cartográficos de los complejos de páramos a escala 1:100.000*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2012). *Mapa nacional de cobertura de la tierra, imágenes 2010-2012, escala 1:100.000 versión 1.0*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018). *Mapa de zonificación de zonas de reserva forestal nacional Ley 2ª, tipo A, escala 1:100.000*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

Parques Nacionales Naturales de Colombia (2019). *Categorías regionales del Runap V.6*. Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNN).

Parques Nacionales Naturales de Colombia (2019). *Límite de los parques nacionales naturales de Colombia V.6*. Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNN).

4.1.1. Variable *ecosistemas estratégicos (páramos)*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioecosistémico		
Criterio asociado: exclusiones legales		
Variable: *ecosistemas estratégicos (páramos)*		
Tipo de criterio asociado	Análisis jerárquico	
	Condicionante legal	
	Exclusión técnica	
	Exclusión legal	✓

Definición

Los ecosistemas estratégicos desempeñan un papel fundamental en el sostenimiento de procesos naturales, sociales y ecológicos, pues prestan bienes y servicios ecológicos fundamentales, como la regulación del clima y de la humedad; la provisión de agua para el abastecimiento de la población; la generación de energía o el riego; el mantenimiento de climas y suelos adecuados para la producción de alimentos y materias primas o el mantenimiento del sistema natural de prevención de desastres o de control de plagas (Márquez, 2003). La zonificación considera como ecosistemas estratégicos los páramos, por lo que estas áreas deberán ser excluidas. Los instrumentos normativos para las consideraciones legales para la exclusión se describen a continuación.

El Consejo de Estado indica en la providencia del 9 de marzo de 2015 que están absolutamente prohibidas las concesiones mineras, los títulos mineros y las actividades agropecuarias en los páramos colombianos. Así mismo, faculta al Gobierno para cerrar las actividades de explotación minera y agropecuaria que se desarrollan en estos ecosistemas y que los afectan. Al respecto, señala que «el objetivo central de las normas ambientales es subordinar el interés privado, que representa la actividad económica, al interés público o social, que exige la preservación del ambiente». La providencia explicó que los ministerios de Ambiente, Agricultura y de Minas están obligados a iniciar programas de sustitución y capacitación ambiental o de reconversión para las actividades agropecuarias que se desarrollaban en los páramos antes de la entrada en vigor de la Ley 1450 del 2011. Sin embargo, si alguna de las labores pone en riesgo el ecosistema, el Estado podrá expropiar el predio para buscar la restauración y conservación ambiental.

En los ecosistemas de páramos no se podrán adelantar actividades agropecuarias ni de exploración o explotación de hidrocarburos y minerales. Para ello, se considera como referencia mínima la cartografía contenida en el *Atlas de páramos de Colombia* del IAvH hasta que se cuente con cartografía a escala más detallada (Ley 1450 de 2011).

La Sentencia C-035 de 2016 proferida por la Corte Constitucional establece que, ante la vulnerabilidad, fragilidad y dificultad de recuperación de los ecosistemas de páramo, el Estado tiene la obligación de brindar una protección más amplia y especial para preservar este tipo de ecosistemas. Los páramos son un tipo de bioma poco común en el mundo, debido a los importantes servicios ambientales que presta y a que, en la actualidad, es un ecosistema sometido a intervenciones negativas o disturbios que afectan su supervivencia.

De acuerdo con la Resolución 886 de 2018 (MADS), «por la cual se adoptan los lineamientos para la zonificación y régimen de usos en las áreas de páramos delimitados y se establecen las directrices para diseñar, capacitar y poner en marcha programas de sustitución y reconversión de las actividades agropecuarias y se toman otras determinaciones», se ha adelantado la zonificación de los páramos delimitados en cuanto a las actividades agropecuarias que se venían desarrollando antes del 16 de junio de 2011. Para ello, El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural ha creado programas de sustitución y reconversión de las actividades agropecuarias y de capacitación a través de la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA), la Agencia Nacional de Desarrollo Rural (ADR), la Agencia Nacional de Tierras (ANT) y otras entidades vinculadas.

Importancia de la variable

Para los propósitos de la zonificación de aptitud de plantaciones de especies forestales, los ecosistemas estratégicos desempeñan un papel fundamental en el sostenimiento de procesos naturales, sociales y ecológicos. No sólo son áreas de importancia natural, sino que también cumplen funciones importantes para la sociedad con la prestación de bienes y servicios ecológicos determinantes para el hombre, por lo que constituyen el máximo nivel de restricción al uso.

Valor de exclusión

No aplica, por tratarse de una exclusión legal (N2).

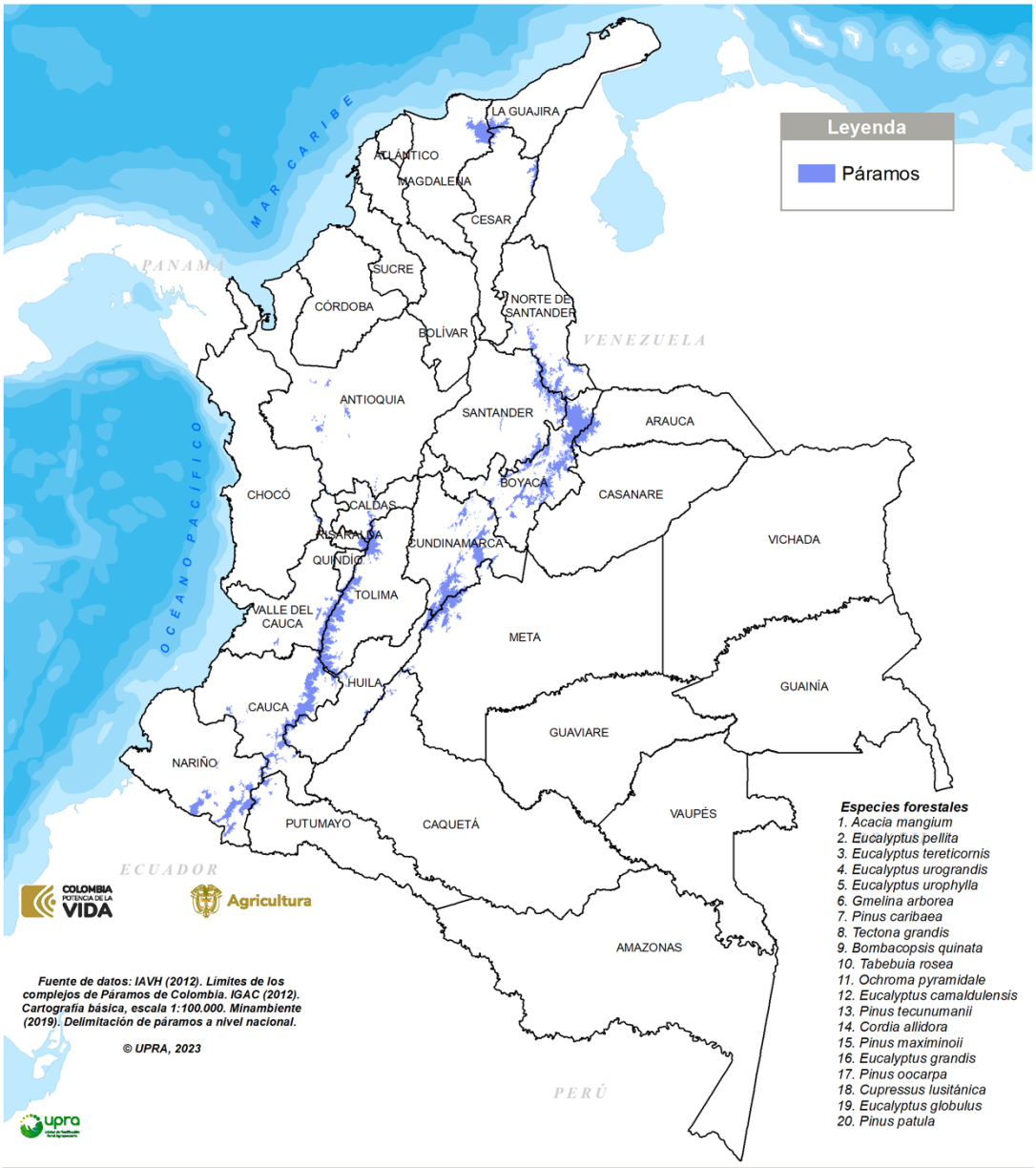
Limitantes de la evaluación

Las áreas delimitadas corresponden al complejo de páramos y abarca grandes extensiones que pueden incluir zonas con algún grado de aptitud. Se debe actualizar esta exclusión con la información resultante de las zonificaciones de los páramos o los respectivos ajustes que adelanta el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Social con el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).

Unidad de análisis

Polígonos de páramos.

Representación cartográfica de la variable



EXCLUSIONES LEGALES
Ecosistemas estratégicos

Fuentes de información

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (2019). *Actualización de los límites cartográficos de los complejos de páramos a escala 1:100.000*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

4.1.2. Variable *áreas protegidas*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioecosistémico		
Criterio asociado: *exclusiones legales*		
Variable: *áreas protegidas*		
Tipo de criterio asociado	Análisis jerárquico	
	Condicionante legal	
	Exclusión técnica	
	Exclusión legal	✓

Definición

Las áreas protegidas consideradas dentro de esta exclusión legal corresponden a las siguientes:

Áreas del Sistema de parques nacionales naturales. Como parte del Sistema nacional de áreas protegidas (Sinap), están integradas por los tipos de áreas consagrados en el Decreto-Ley 2811 de 1974 y el Decreto 2372 de 2010, compendiado en el Decreto 1076 de 2015, único del sector ambiental, que reglamenta el Sinap. El Sinap incluye las figuras de los parques nacionales naturales; el área natural única; las reservas naturales; los santuarios de fauna; los santuarios de fauna y flora; y la vía parque. Según el Decreto 622 de 1977, compendiado en el Decreto 1076 de 2015, único del sector ambiental, esta categoría es totalmente incompatible con las actividades agropecuarias e industriales.

Parques naturales regionales. De acuerdo con el Decreto 2372 de 2010, se consideran espacios geográficos cuyos paisajes y ecosistemas estratégicos, en la escala regional, mantienen la estructura, composición y función, y los procesos ecológico-evolutivos que los sustentan, cuyos valores naturales y culturales asociados se ponen al alcance de la población para destinarlos a la preservación, restauración, conocimiento y disfrute.

Reservas forestales protectoras. Conforme al Decreto 2372 de 2010, compendiado en el Decreto 1076 de 2015, único del sector ambiental, se consideran espacios geográficos cuyos ecosistemas de bosque mantienen la función, aunque la estructura y composición hayan sido modificadas y los valores naturales asociados se hayan puesto al alcance de la población para destinarlos a la preservación, uso sostenible, restauración, conocimiento y disfrute. Estas zonas de propiedad pública o privada se reservan para el establecimiento o mantenimiento y utilización sostenible de los bosques y otras coberturas vegetales naturales.

Zonas de preservación y restauración para la preservación del AMEM. Según el Decreto 1989 de 1989, «por el cual se declara Área de Manejo Especial La Macarena, la Reserva Sierra de la Macarena, se clasifica y zonifica su territorio y se fijan sus límites reales», se definen zonas para la preservación y recuperación para la preservación en los distritos de manejo integrado del AMEM, es decir: las zonas identificadas como exclusiones recuperación para la preservación sur; recuperación para la preservación norte; vertiente oriental; y serranía de La Lindosa. Se detallan los siguientes polígonos de zonificaciones: para el DMI Macarena norte, la zona de recuperación para la producción, es decir, las áreas de uso de preservación; para la zona de recuperación para la preservación, las áreas de uso de preservación y áreas de uso de restauración; y para el DMI Losada-Perdido, la zona de recuperación para la producción, es decir, las áreas de uso de preservación.

Distritos de manejo integrado (DMI). Según el Decreto 2372 de 2010, compendiado en el Decreto 1076 de 2015, único del sector ambiental, se definen como espacios geográficos cuyos paisajes y ecosistemas mantienen la composición y función, aunque la estructura haya sido modificada, cuyos valores naturales y culturales asociados se hayan puesto al alcance de la población para destinarlos al uso sostenible, preservación, restauración, conocimiento y disfrute.

En esta categoría se incluyen las zonas de los distritos regionales de manejo integrado (DRMI) La Tatacoa, localizada en los municipios de Villavieja y Baraya, Huila, y serranía de Peñas Blancas. Estas zonas se identificaron en la zonificación como áreas para la preservación, restauración para la preservación y uso público —subzonas para la recreación y alta densidad de uso—, descrita en los planes de manejo elaborados por la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM) con la caracterización biofísica del área protegida; la caracterización socioeconómica; la descripción paisajística, las características culturales; la planificación del territorio; la caracterización de sistemas productivos; y la zonificación del área, usos y normas asociadas. La normativa ha sido adaptada por el Acuerdo 012 de 2015 —*Plan de manejo del distrito regional de manejo integrado (DRMI) La Tatacoa,* elaborado durante el año 2015— y el Acuerdo 015 de 2020 —*Plan de manejo ambiental del distrito regional de manejo integrado (DRMI) serranía de Peñas Blancas*, elaborado durante los años 2018 y 2019).

Importancia de la variable

Para los propósitos de la zonificación de aptitud de plantaciones de especies forestales, las áreas protegidas representan determinantes ambientales de obligatorio cumplimiento de acuerdo con la normativa nacional, por lo que constituyen el máximo nivel de restricción al uso.

Valor de exclusión de la variable

No aplica, por tratarse de una exclusión legal (N2).

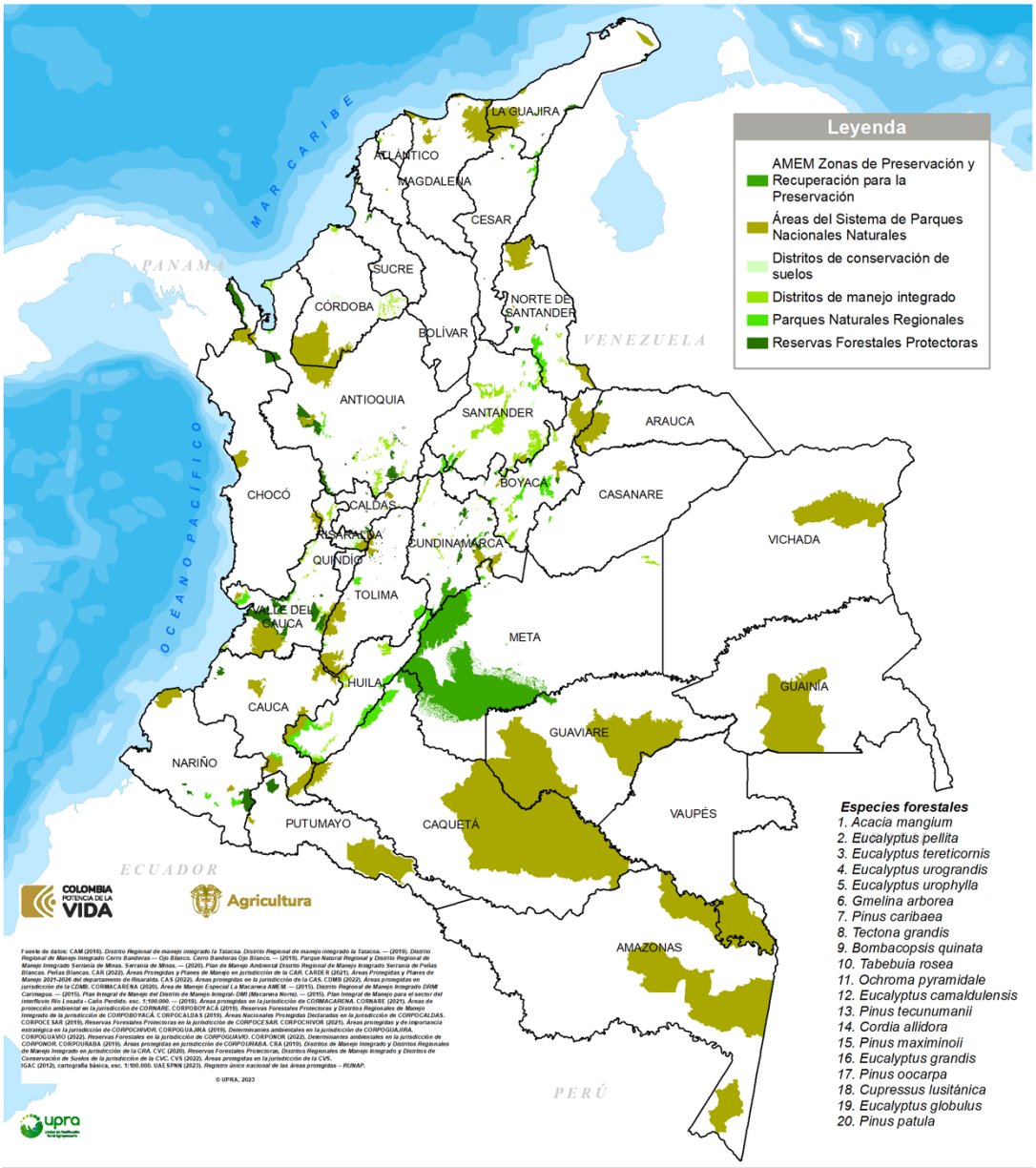
Limitantes de evaluación de la variable

La principal limitante para analizar las áreas protegidas se asocia a la dinámica, ya que se están creando nuevas áreas. Sobre este aspecto, cabe resaltar que en los criterios condicionantes se evalúa la figura de *zonas de protección y desarrollo de los recursos*, tanto a nivel regional como nacional, en las cuales se espera que en el futuro es posible que una parte pueda convertirse en un área protegida, lo que implica que cambie de condicionante a exclusión legal. Esto demuestra la necesidad de mantener actualizada la información cartográfica para que las exclusiones incluyan las nuevas áreas protegidas que se van creando.

Unidad de análisis

Áreas del Sistema de parques nacionales naturales; polígonos de parques naturales regionales; polígonos de las reservas forestales protectoras y distritos de manejo integrado.

Representación cartográfica de la variable



EXCLUSIONES LEGALES
Áreas protegidas

Fuentes de información

Alcaldía Municipal de Puerto López (2017). *PBOT, Acuerdo 012, el cual se adopta el Plan de Manejo del Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) La Tatacoa, localizado en los Municipios de Villavieja y Baraya, Departamento del Huila*. Alcaldía Municipal de Puerto López.

Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (2020). *Acuerdo No. 015 de 2020, por el cual se adopta el Plan de Manejo Ambiental del Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) Serranía de Peñas Blancas y se modifica el Acuerdo 0003 de 2018 "Por el cual se declara, reserva, delimita y alindera el Distrito Regional de Manejo Integrado Serranía de Peñas Blancas, ubicado en los Municipios de Palestina, Acevedo, Pitalito, Timana y Suaza, en el departamento del Huila" y se toman otras determinaciones*Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM).

Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena (2015). *Distritos de Manejo Integrado (DMI), Área de Manejo Especial La Macarena (AMEM)*. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena (Cormacarena).

Parques Nacionales Naturales de Colombia (2019). *Categorías regionales del Runap V.6*. Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNN).

Parques Nacionales Naturales de Colombia (2019). *Límite de los parques nacionales naturales de Colombia V.6*. Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNN).

4.1.3. Variable *planes de ordenación forestal*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioecosistémico		
Criterio asociado: *exclusiones legales*		
Variable: *planes de ordenación forestal*		
Tipo de criterio asociado	Análisis jerárquico	
	Condicionante legal	
	Exclusión técnica	✓
	Exclusión legal	

Definición

Según el Decreto 1076 de 2016, el Plan de ordenación forestal (POF) se define como un documento desarrollado por las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) y estructurado a partir de las características bióticas, abióticas, sociales y económicas de la zona, lo cual permite ordenar las áreas forestales que se encuentran en el territorio. El objetivo de los POF tienen consiste en lograr el uso de los recursos forestales de manera planificada y asegurar la sostenibilidad en su aprovechamiento. Así pues, los POF se consideran un instrumento de planificación para el ordenamiento y manejo integral y sostenible tanto de los recursos forestales como de las tierras forestales. El plan se estructura en el conocimiento, análisis, interpretación y evaluación integral de los componentes biofísicos con énfasis en los aspectos ecológico y silvicultural, los suelos y la hidro-climatología y los componentes socioeconómicos y legales. Se pretende determinar la conservación, la protección y el manejo integral y sustentable del recurso forestal, de las tierras forestales y de la biodiversidad y servicios ecosistémicos asociados.

El Decreto 1076 de 2016 recopila lo establecido en el decreto 1791 de 1996, que dictamina que las Corporaciones Autónomas Regionales deben contar con un plan de ordenación forestal en donde se definan las áreas boscosas de su jurisdicción y respectivo manejo. Los criterios de uso y manejo para las áreas de ordenación forestal están definidas por la Corporación Autónoma Regional del alto magdalena (CAM); la Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique (Cardique); la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial la Macarena (Cormacarena) para la cuenca del río Planas y del río Tillavá en Puerto Gaitán; la Corporación Autónoma Regional de Boyacá (Corpoboyacá); la Corporación Autónoma Regional del Guavio (Corpoguavio); la Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA); la Corporación Autónoma Regional de Sucre (Carsucre); la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB); la Corporación Autónoma Regional del Sur de Bolívar (CSB); la Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge (CVS); y la Corporación Autónoma Regional de Santande (CAS).

De acuerdo con las corporaciones mencionadas, se presentaron exclusiones legales relacionadas con los usos prohibidos de las áreas forestales protectoras; las áreas para la preservación; las áreas forestales de protección para la preservación y restauración; las áreas de protección para la conservación de la biodiversidad, suelos y recurso hídrico; y las macrounidades de manejo forestal para la conservación de cuerpos de agua, restauración ecológica de rondas y para la conservación.

Importancia de la variable

Para los propósitos de la zonificación de aptitud de plantaciones de especies forestales, las áreas protegidas representan determinantes ambientales de obligatorio cumplimiento de acuerdo con la normativa nacional, por lo que constituyen el máximo nivel de restricción al uso.

Valor de exclusión de la variable

No aplica, por tratarse de una exclusión legal (N2).

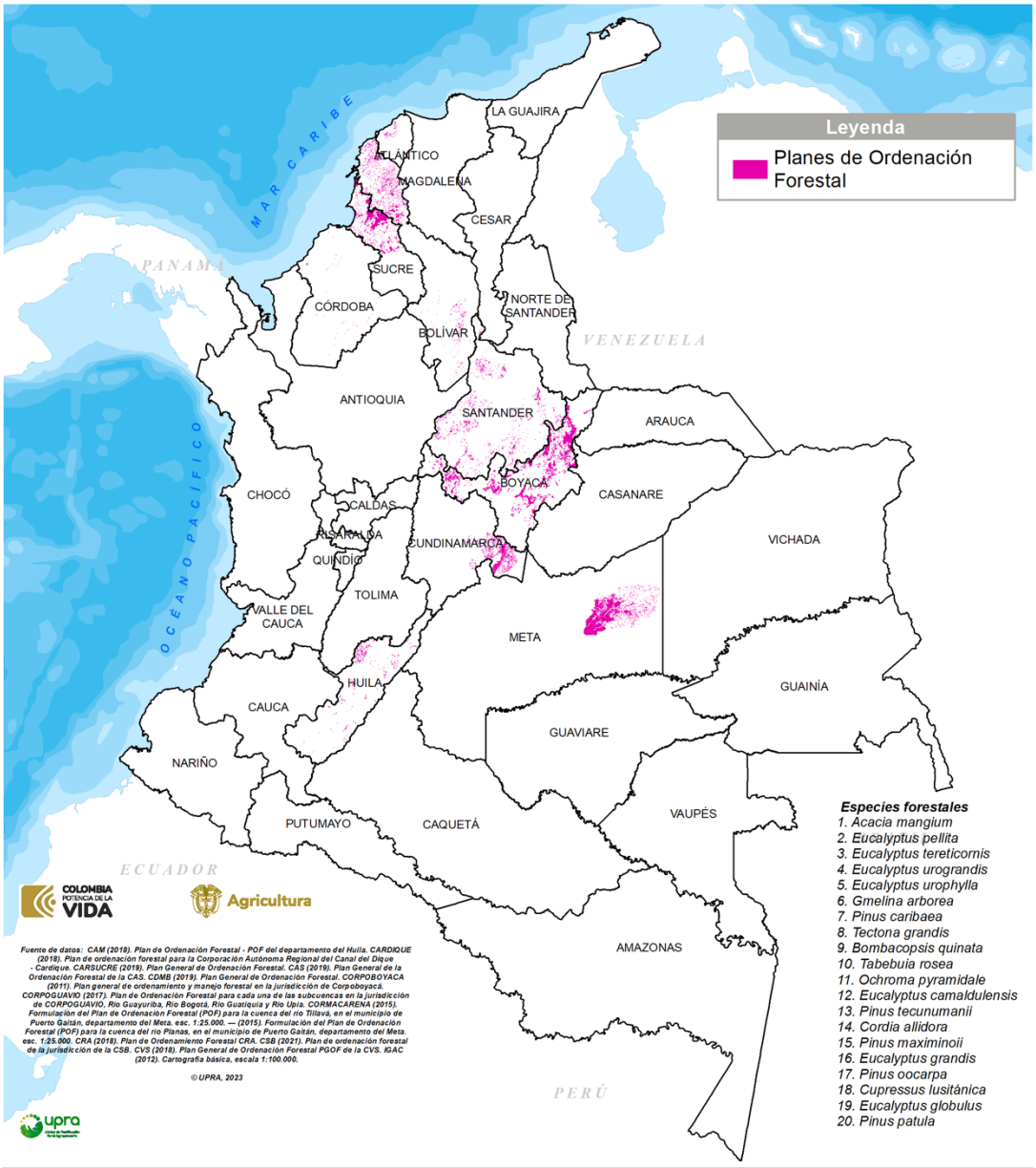
Limitantes de evaluación de la variable

La principal limitante para analizar las áreas protegidas se asoció a la dinámica, ya que constantemente se están creando y definiendo nuevas áreas de conservación y protección. Además sólo se cuenta con los planes de ordenación forestal de 11 Corporaciones Autónomas Regionales.

Unidad de análisis

Zonas de protección, preservación y conservación declaradas por los planes de ordenamiento forestal.

Representación cartográfica de la variable



EXCLUSIONES LEGALES
Planes de ordenación forestal

Fuentes de información

Corporación Autónoma Regional de Boyacá y Corporación de Tecnologías Sostenibles (2009). *Formulación del Plan General de Ordenamiento y Manejo Forestal PGOF en la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Boyacá CORPOBOYACA. Etapa III. Ordenación y zonificación forestal*. Corporación Autónoma Regional de Boyacá (Corpoboyacá).

Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena y Unión Temporal Forestal–Ambiental 2017 (2018). *Plan de Ordenación Forestal del departamento del Huila POF-* Huila. Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM).

Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique (Cardique) y Enviromental Ingenieros Consultores (2017). *Plan de ordenación forestal para la Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique -CARDIQUE*. Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique (Cardique).

Corporación Autónoma Regional del Guavio (2017). *Plan de Ordenación Forestal POF para la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Guavio -CORPOGUAVIO*. Corporación Autónoma Regional del Guavio (Corpoguavio).

Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge (2018). Acuerdo 359 de 2018, *por el cual se adopta la actualización del Plan General de Ordenación Forestal–PGOF de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge* (CVS). Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge (CVS).

Corporación Autónoma Regional del Sur de Bolívar (2021). *Acuerdo 10 de 2021, por el cual se adopta Plan de ordenación forestal para la Serranía de San Lucas para el área de jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Sur de Bolívar (CSB*). Corporación Autónoma Regional del Sur de Bolívar (CSB).

Corporación Autónoma Regional de Santander (2019). *Acuerdo 386 de 2019, por el cual se adopta la actualización del Plan General de Ordenación Forestal en el área de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Santander (CAS)*. Corporación Autónoma Regional de Santander (CAS).

Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (2019). *Acuerdo 1388 de 2019, por el cual se adopta el Plan General de Ordenación Forestal Integral y Sostenible para el área de jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB*). Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB).

Corporación para el Desarrollo Sostenible de Área de Manejo Especial La Macarena y Universidad Distrital Francisco José de Caldas (2015a). *Formulación del Plan de Ordenación Forestal (POF) para la cuenca del Río Planas, en el municipio de Puerto Gaitán*, Departamento del Meta. Corporación para el Desarrollo Sostenible de Área de Manejo Especial La Macarena (Cormacarena).

Corporación para el Desarrollo Sostenible de Área de Manejo Especial La Macarena y Universidad Distrital Francisco José de Caldas (2015b). *Formulación del Plan de Ordenación Forestal (POF) para la cuenca del Río Tillavá, en el municipio de Puerto Gaitán*, Departamento del Meta. Corporación para el Desarrollo Sostenible de Área de Manejo Especial La Macarena (Cormacarena).

Corporación Autónoma Regional del Atlántico (2018). *Capítulo 5: ordenación forestal a implementar*. Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA).

Corporación Autónoma Regional de Sucre (2019). Resolución 1112 de 2019, *por medio de la cual se aprueba Plan de Ordenación Forestal de Corporación Autónoma Regional de Sucre (CARSUCRE)*. Corporación Autónoma Regional de Sucre (Carsucre).

4.1.4. Variable *parques arqueológicos*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioecosistémico		
Criterio asociado: *exclusiones legales*		
Variable: *parques arqueológicos*		
Tipo de criterio asociado	Análisis jerárquico	
	Condicionante legal	
	Exclusión técnica	
	Exclusión legal	✓

Definición

Los parques arqueológicos son áreas arqueológicas protegidas, declaradas mediante una resolución, que han sido adaptadas para recibir visitantes y que se encuentran bajo tutela del Instituto Colombiano de Antropología e Historia (Icanh), lo cual permite realizar labores de conservación e investigación. La declaratoria de un polígono como área arqueológica protegida genera un marco de protección sobre el área marcada y el encargado de ejecutar el plan de manejo arqueológico cuenta con el apoyo de entidades estatales para asegurar la conservación de estos espacios patrimoniales (Icanh, 2019).

Plan de manejo arqueológico. Es un concepto técnico, de obligatoria atención, emitido y aprobado por la autoridad competente respecto a los contextos arqueológicos, bienes muebles e inmuebles integrantes del patrimonio o las zonas de influencia arqueológica. El plan de manejo establece oficiosamente o a solicitud de sus tenedores los niveles permitidos de intervención, condiciones de manejo y planes de divulgación (Decreto 833 de 2002, Mincultura).

Importancia de la variable

Los parques arqueológicos debidamente delimitados y con titularidad a nombre de entidades públicas son exclusiones legales, dado que tienen autonomía para establecer el manejo del área geográfica. Del mismo modo, el Decreto 833 de 2002 reglamenta la Ley 397 de 1997 en materia de patrimonio arqueológico, en concordancia con los artículos 63 y 72 de la Constitución Política de Colombia. La norma señala que «los bienes muebles e inmuebles de carácter arqueológico [...] integran el patrimonio arqueológico, el cual pertenece a la Nación, es inalienable, imprescriptible e inembargable [...] los bienes integrantes del patrimonio arqueológico son bienes de interés cultural que hacen parte del patrimonio cultural de la Nación». De acuerdo con esto, se debe tener en cuenta que la condición de «inembargable, imprescriptible e inalienable», según las leyes 397 del 1997 y 1185 del 2008, hace referencia a los bienes de interés cultural de propiedad de entidades públicas.

Valor de exclusión de la variable

No aplica por tratarse de una exclusión legal.

Limitantes de evaluación de la variable

No se contemplan parques arqueológicos que han sido declarados, pero que carecen de espacialización cartográfica por parte del Icanh. Prescindir de esta información en la zonificación de aptitud no desconoce la posibilidad de que se requiera adelantar procesos de verificación ante la pretensión de implementar desarrollos productivos en zonas donde existan áreas de interés arqueológico.

Metodología de procesamiento de la información

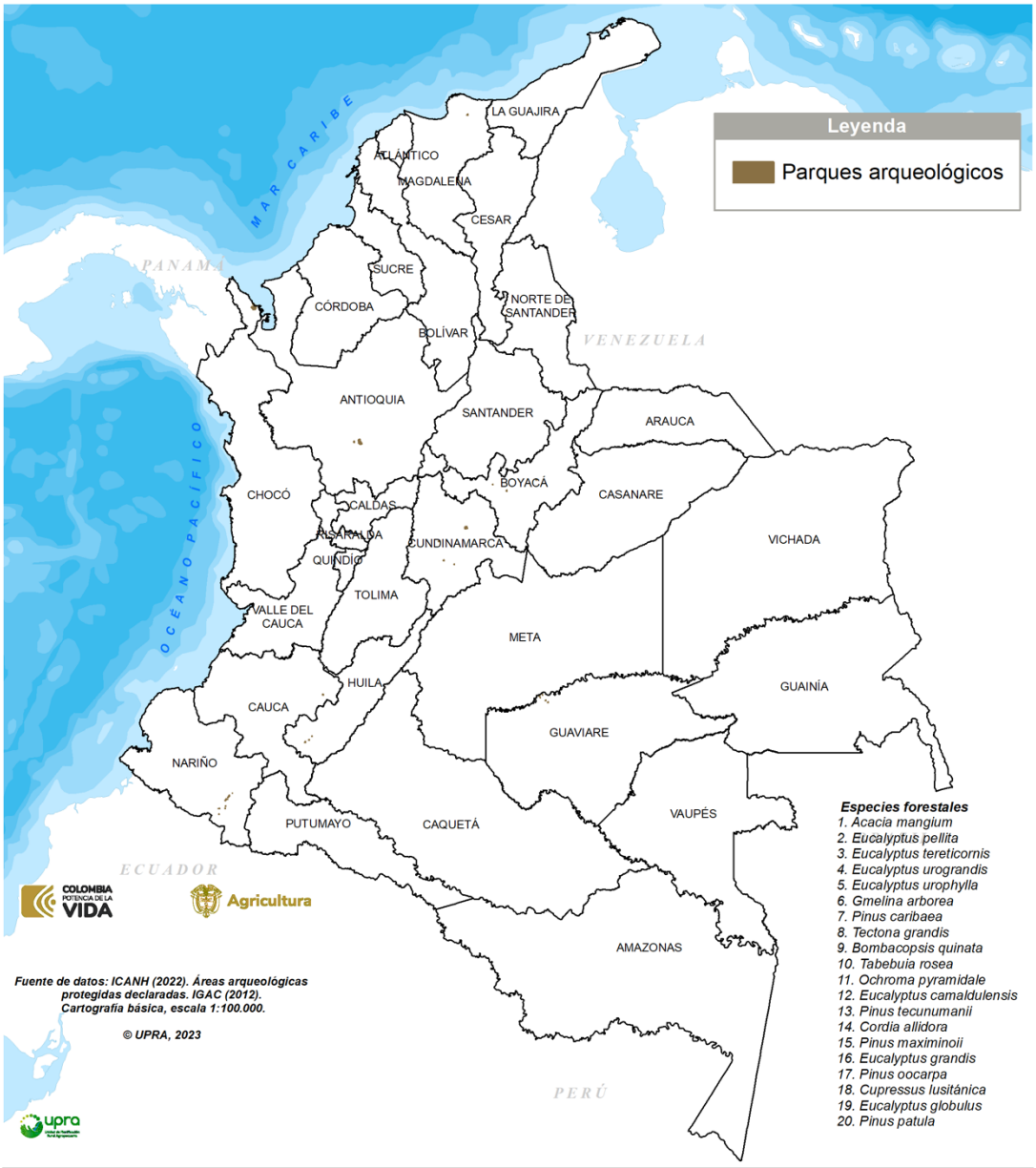
Los datos fueron analizados de la información cartográfica facilitada por el Icanh (2019) y de los parques arqueológicos declarados. Los parques arqueológicos definidos como exclusiones se registran en al siguiente tabla:

Parque arqueológico	Zona	Parque arqueológico	Zona
Tierradentro	Segovia	Tequendama	Directa
	El Tablón	Alto de Las Piedras	Directa
	Alto de San Andrés	El Abra	Directa
Sogamoso	Directa	El Infiernito	Directa
San Agustín	Mesitas	La Lindosa	Raudal
Hacienda El Carmen	Directa		Nuevo Tolima
Cerro El Volador	Directa		Los Alpes
Alto de Los Ídolos	Directa		Limoncillo
UPTC Tunja	Directa		Campanilla
Ciudad Perdida	Directa		Cerro Azul
	Área de influencia	Serranía del Chibiriquete	Directa
Piedras Blancas	Directa	—	—

Unidad de análisis

Polígonos que comprenden parques arqueológicos declarados.

Representación cartográfica de la variable



EXCLUSIONES LEGALES
Parques arqueológicos

Fuentes de información

Instituto Colombiano de Antropología e Historia (2019). *Parques arqueológicos*. Instituto Colombiano de Antropología e Historia (Icanh).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

4.1.5. Variable *zonas de reserva forestal nacional, Ley 2 de 1959, tipo A*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioecosistémico		
Criterio asociado: *exclusiones legales*		
Variable: *zonas de reserva forestal nacional, Ley 2 de 1959, tipo A*		
Tipo de criterio asociado	Análisis jerárquico	
	Condicionante legal	
	Exclusión técnica	
	Exclusión legal	✓

Definición

Las zonas de reserva forestal nacional (ZRFN) fueron creadas para el desarrollo de la economía forestal y protección de los suelos, las aguas y la vida silvestre, mediante la Ley 2 de 1959. Se compone de siete reservas forestales nacionales: ZRFN del Pacífico; ZRFN central, ZRFN del Río Magdalena; ZRFN de la Sierra Nevada de Santa Marta; ZRFN de la serranía de los Motilones; ZRFN del Cocuy; y ZRFN de la Amazonia.

La zonificación adelantada por el MADS en las ZRFN definió tres zonas tipo, denominadas A, B y C, según lo cual se estableció que las zonas tipo A son «las zonas que garantizan el mantenimiento de los procesos ecológicos básicos necesarios para asegurar la oferta de servicios ecosistémicos, relacionados principalmente con la regulación hídrica y climática; la asimilación de contaminantes del aire y del agua; la formación y protección del suelo; la protección de paisajes singulares y de patrimonio cultural; y el soporte a la diversidad biológica". El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Social adoptó tanto la zonificación como el ordenamiento de las reservas forestales nacionales mediante las siguientes resoluciones:

a. Resolución 1922 de 2013, que adopta la zonificación y el ordenamiento de la reserva forestal central, establecida en la Ley 2 de 1959.

b. Resolución 1923 de 2013, que adopta la zonificación y el ordenamiento de la reserva forestal de la serranía de los Motilones, establecida en la Ley 2 de 1959.

c. Resolución 1924 de 2013, que adopta la zonificación y el ordenamiento de la reserva forestal del río Magdalena, establecida en la Ley 2 de 1959.

d. Resolución 1925 de 2013, que adopta la zonificación y el ordenamiento de la reserva forestal de la Amazonia, establecida en la Ley 2 de 1959, en los departamentos de Caquetá, Guaviare y Huila.

e. Resolución 1926 de 2013, que adopta la zonificación y el ordenamiento de la reserva forestal del Pacífico, establecida en la Ley 2 de 1959.

f. Resolución 1275 de 2014, que adopta la zonificación y el ordenamiento de la reserva forestal del Cocuy, establecida en la ley 2 de 1959.

g. Resolución 1276 de 2014, que adopta la zonificación y el ordenamiento de la reserva forestal de la Sierra Nevada de Santa Marta, establecida en la Ley 2 de 1959.

h. Resolución 1277 de 2014, que adopta la zonificación y el ordenamiento de la reserva forestal de la Amazonia, establecida en la Ley 2 de 1959, en los departamentos de Amazonas, Cauca, Guainía, Putumayo y Vaupés.

Importancia de la variable

Para los propósitos de la zonificación, las zonas tipo A de las zonas de reserva forestal nacional son consideradas como determinantes ambientales de obligatorio cumplimiento de acuerdo con la normativa nacional, por lo que constituyen el máximo nivel de restricción al uso.

Valor de exclusión de la variable

No aplica, por tratarse de una exclusión legal (N2).

Limitantes de evaluación de la variable

Las resoluciones que zonifican las zonas de reserva forestal nacional establecen que en las zonas tipo A, B o C se pueden adelantar procesos de sustracción de conformidad con la normativa vigente. Como todas las áreas son susceptibles de solicitud de sustracción, es importante que la información de sustracciones sea actualizada regularmente.

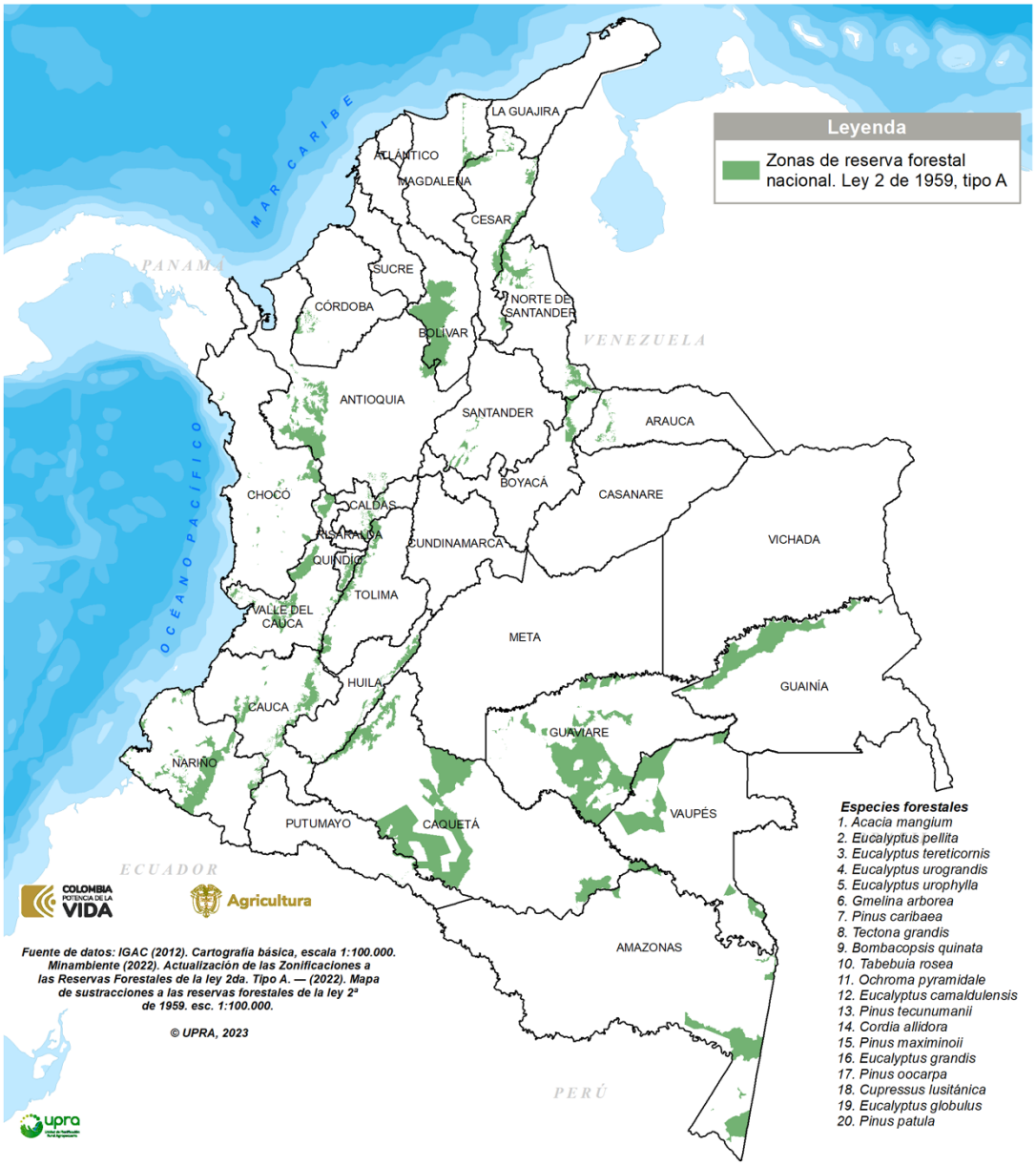
Metodología de procesamiento de la información

Para generar la información cartográfica, se partió de las zonificaciones de cada una de las reservas forestales nacionales de la Ley 2 de 1959 adelantadas por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Social, en el que se identifican las zonas tipo A.

Unidad de análisis

Polígonos que comprenden las áreas de reserva forestal nacional, tipo A.

Representación cartográfica de la variable



EXCLUSIONES LEGALES
Zonas de reserva forestal nacional

Fuentes de información

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018). *Mapa de zonificación de zonas de reserva forestal nacional Ley 2ª, tipo A, escala 1:100.000*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

5. Fichas metodológicas de condiciones legales

5.1. Criterios *condicionantes legales*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioecosistémico		
Criterio asociado: *condicionantes legales*		
Tipo de criterio asociado	Análisis jerárquico	
	Condicionante legal	✓
	Exclusión técnica	
	Exclusión legal	

Variables asociadas al criterio

Ecosistemas estratégicos, que abarcan los polígonos de bosque seco tropical, los polígonos de manglares, los polígonos de humedales y la ronda hídrica.

Áreas protegidas, que abarcan los polígonos de distritos de manejo integrado (DMI); los polígonos de zonas de producción y recuperación para la producción del AMEM; los polígonos de distritos de conservación de suelos (DCS); los polígonos de áreas de recreación; los polígonos de reservas naturales de la sociedad civil; y los polígonos de zonas de protección y desarrollo de los recursos naturales renovables y del medio ambiente.

Planes de ordenación forestal, que corresponden a los polígonos identificados como áreas forestales protectoras; las áreas protectoras para la regulación, las áreas de restauración del bosque seco tropical (bs-T); las áreas forestales para la conservación; las áreas misceláneas o de producción mixta; las áreas críticas por erosión severa en suelos arenosos y vegetación herbácea; las áreas críticas por salinización en usos agrícolas intensivos; el área forestal de producción directa; el área forestal de protección para el uso sostenible; las zonas para restauración; las plantaciones de carácter protector, aprovechamiento artesanal de productos maderables y no maderables, las macrounidades de manejo forestal para la producción de maderas finas, ordinarias y PFNM; y los servicios ambientales de conectividad biológica y restauración ecológica relacionados con los POF de la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM); la Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique (Cardique); la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena (Cormacarena) para la cuenca del río Planas y del río Tillavá en Puerto Gaitán; la Corporación Autónoma Regional de Boyacá (Corpoboyacá); la Corporación Autónoma Regional del Guavio (Corpoguavio); la Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA); la Corporación Autónoma Regional de Sucre (Carsucre); la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB); la Corporación Autónoma Regional del Sur de Bolívar (CSB); la Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y de San Jorge (CVS); y la Corporación Autónoma Regional de Santander (CAS).

Zonas de reserva forestal nacional, Ley 2 de 1959, tipos B y C, que son polígonos de las zonas tipo B y C de las zonas de reserva forestal nacional. Se incluyen predios con previa decisión de ordenamiento y contratos de derechos de uso.

Distinciones internacionales, que son polígonos de reservas de la biósfera; polígonos de humedales del Convenio Ramsar; y polígonos de áreas de importancia para la conservación de las aves y la biodiversidad (AICAS).

Áreas de interés cultural y social, que son polígonos de tierras de las comunidades negras; polígonos de áreas de reserva ley 70 de 1993; polígonos de resguardos indígenas; polígonos de zonas de reserva campesina; polígonos del paisaje cultural cafetero; zonas de actividad aeronáutica; polígonos de áreas arqueológicas protegidas; y polígonos de áreas de reserva especial minera declarados por la Agencia Nacional Minera (ANM) en la Ley 685 de 2001.

Agricultura de bajo impacto, que son polígonos de actividades agropecuarias de bajo impacto en páramos definidos en la Resolución 1294 de 2021.

Gestión de riesgo, expresado en áreas inundables, áreas de amenaza volcánica y áreas de amenaza por remoción en masa.

Definición

Zonas que, independientemente de la categoría de aptitud, requieren de un análisis complementario de tipo legal, social, cultural o ambiental para establecer y desarrollar plantaciones forestales.

Importancia del criterio

Los condicionantes agrupan factores ecológicos o sociales, cuyo soporte legal implica que se supediten o puedan modificar algunos elementos de la producción comercial sin que represente una restricción al uso o la reducción de la aptitud para la implementación. Por esto, requieren detalles adicionales que deben estudiarse con las autoridades ambientales o con las comunidades allí establecidas. Es decir: las áreas bajo condicionantes podrán ser reclasificadas en la zonificación, dependiendo del nivel de conocimiento, de las solicitudes de autoridades de territorios indígenas y afrocolombianos, o de aclaración de determinantes legales.

Limitantes de la evaluación del criterio

No existen limitantes para la evaluación del criterio, puesto que la normativa permite el establecimiento y desarrollo de cultivos comerciales, mientras que sólo se exige el cumplimiento de los condicionantes legales o las líneas de política determinados en cada caso.

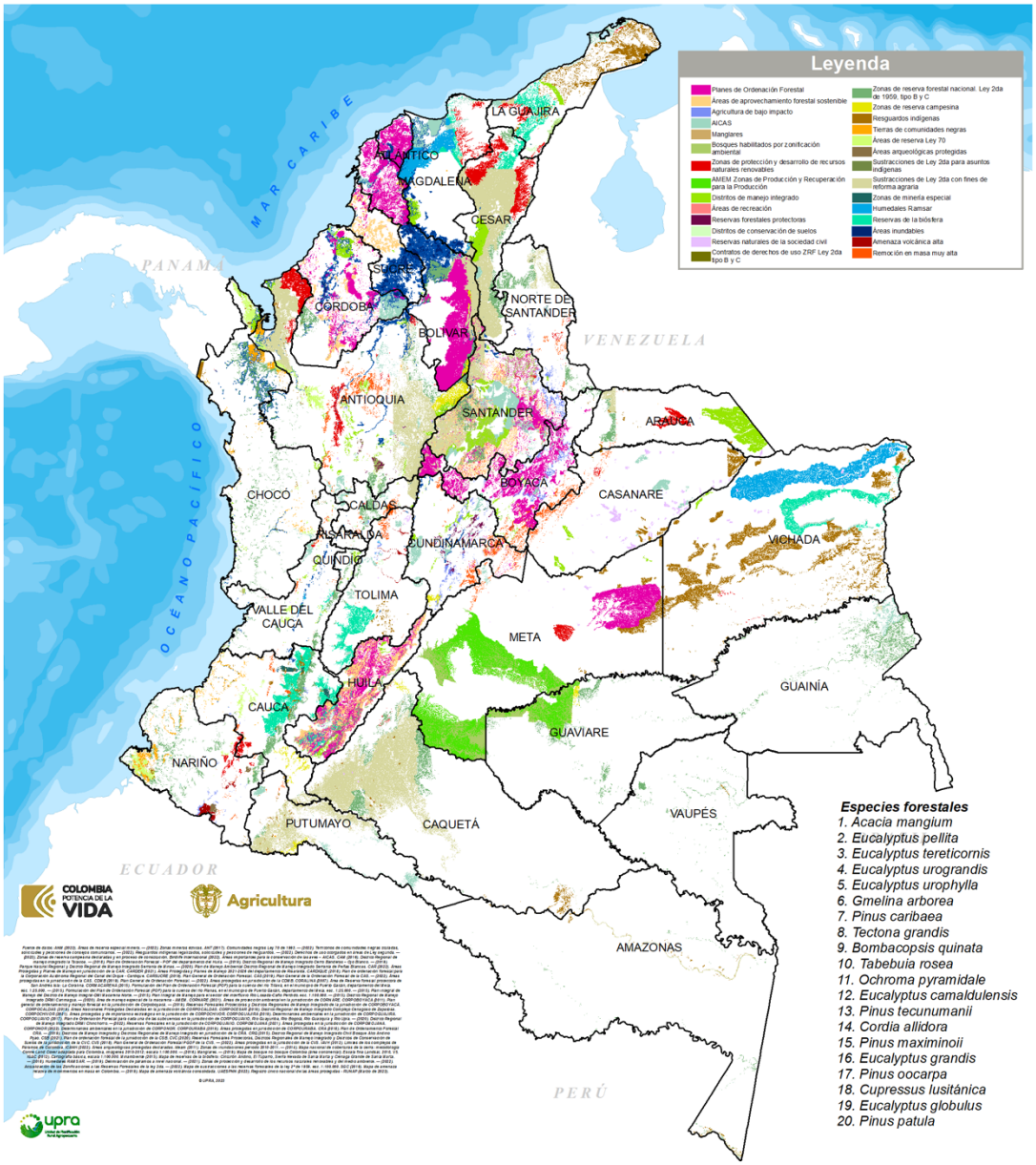
Metodología de evaluación

La metodología de evaluación analizó a profundidad las normas vigentes, revisó las fuentes y obtuvo la cartografía oficial. Con esta información, se identificó si en la zona existe una variable de los condicionantes legales. De ser el caso, se espacializó y se generó el mapa correspondiente.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

No aplican rangos para los condicionantes (C1).

Representación cartográfica del criterio



CONDICIONANTES LEGALES

Fuentes de información

Agencia Nacional de Tierras (2016). *Áreas reservadas para comunidades negras: Ley 70 de 1993*. Agencia Nacional de Tierras (ANT).

Agencia Nacional de Tierras (2018a). *Consejos comunitarios de comunidades negras legalmente constituidos*. Agencia Nacional de Tierras (ANT).

Agencia Nacional de Tierras (2018b). *Resguardos indígenas*. Agencia Nacional de Tierras (ANT).

Alcaldía Municipal de Puerto López (2017). *PBOT, Acuerdo 012, el cual se adopta el Plan de Manejo del Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) La Tatacoa, localizado en los Municipios de Villavieja y Baraya, Departamento del Huila*. Alcaldía Municipal de Puerto López.

Corporación Autónoma Regional de Boyacá y Corporación de Tecnologías Sostenibles (2009). *Formulación del Plan General de Ordenamiento y Manejo Forestal PGOF en la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Boyacá CORPOBOYACA. Etapa III. Ordenación y zonificación forestal*. Corporación Autónoma Regional de Boyacá (Corpoboyacá).

Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena y Unión Temporal Forestal–Ambiental 2017 (2018). *Plan de Ordenación Forestal del departamento del Huila POF*- Huila. Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM).

Corporación Autónoma Regional del Atlántico (2018). *Capítulo 5: ordenación forestal a implementar*. Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA).

Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique (Cardique) y Enviromental Ingenieros Consultores (2017). *Plan de ordenación forestal para la Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique -CARDIQUE*. Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique (Cardique).

Corporación Autónoma Regional del Guavio (2017). *Plan de Ordenación Forestal POF para la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Guavio -CORPOGUAVIO*. Corporación Autónoma Regional del Guavio (Corpoguavio).

Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge (2018). Acuerdo 359 de 2018, *por el cual se adopta la actualización del Plan General de Ordenación Forestal–PGOF de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge* (CVS). Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge (CVS).

Corporación Autónoma Regional del Sur de Bolívar (2021). *Acuerdo 10 de 2021, por el cual se adopta Plan de ordenación forestal para la Serranía de San Lucas para el área de jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Sur de Bolívar (CSB*). Corporación Autónoma Regional del Sur de Bolívar (CSB).

Corporación Autónoma Regional de Santander (2019). *Acuerdo 386 de 2019, por el cual se adopta la actualización del Plan General de Ordenación Forestal en el área de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Santander (CAS)*. Corporación Autónoma Regional de Santander (CAS).

Corporación Autónoma Regional de Sucre (2019). Resolución 1112 de 2019, *por medio de la cual se aprueba Plan de Ordenación Forestal de Corporación Autónoma Regional de Sucre* (*CARSUCRE)*. Corporación Autónoma Regional de Sucre (Carsucre).

Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (2019). *Acuerdo 1388 de 2019, por el cual se adopta el Plan General de Ordenación Forestal Integral y Sostenible para el área de jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB*). Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB).

Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena (2015). *Distritos de Manejo Integrado (DMI), Área de Manejo Especial La Macarena (AMEM)*. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena (Cormacarena).

Corporación para el Desarrollo Sostenible de Área de Manejo Especial La Macarena y Universidad Distrital Francisco José de Caldas. (2015a). *Formulación del Plan de Ordenación Forestal (POF) para la cuenca del Río Planas, en el municipio de Puerto Gaitán, Departamento del Meta*. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena (Cormacarena).

Corporación para el Desarrollo Sostenible de Área de Manejo Especial La Macarena y Universidad Distrital Francisco José de Caldas. (2015b). *Formulación del Plan de Ordenación Forestal (POF) para la cuenca del Río Tillavá*, en el municipio de Puerto Gaitán, Departamento del Meta. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena (Cormacarena).

Instituto Colombiano de Antropología e Historia (2019). *Áreas arqueológicas protegidas*. Instituto Colombiano de Antropología e Historia (Icanh).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2008). *Mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia, escala 1:500.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (2014). *Bosque seco tropical*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Drenaje doble construido a partir de cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2018). *Zonas de reserva campesina legalmente constituidas*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2015a). *Mapa de reservas de la biósfera: Ciénaga Grande de Santa Marta, Cinturón Andino, El Tuparro y Sierra Nevada de Santa Marta*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2015b). *Resoluciones 504, 1310 y 1987: zonas de protección y desarrollo de los recursos naturales renovables y del medio ambiente, mapa de otras categorías Sinap*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Ministerio de Cultura (2014). *Paisaje Cultural Cafetero*. Ministerio de Cultura (MinCultura).

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018a). *Mapa de zonificación de zonas de reserva forestal nacional Ley 2ª, tipo A, escala 1:100.000*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018b). *Mapa de zonas de reserva forestal nacional Ley 2ª: sustracciones, escala 1:100.000*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018c). *Sitios Ramsar*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Parques Nacionales Naturales de Colombia (2019a). *Categorías regionales del Runap V.6*. Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNN).

Parques Nacionales Naturales de Colombia (2019b). *Límite de los parques nacionales naturales de Colombia V.6*. Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNN).

5.1.1. Variable *ecosistemas estratégicos*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioecosistémico		
Criterio asociado: *condicionantes legales*		
Variable: *ecosistemas estratégicos*		
Tipo de criterio asociado	Análisis jerárquico	
	Condicionante legal	✓
	Exclusión técnica	
	Exclusión legal	

Definición

Agrupa los ecosistemas y zonas de importancia ambiental que se han priorizado para la protección y conservación, debido al importancia ecosistémica o al nivel de amenaza y que son incompatibles con el desarrollo de plantaciones de especies forestales. Las consideraciones definidas para esta variable se muestran a continuación.

Los ecosistemas de *manglar* y los humedales son considerados zonas de importancia ambiental que se han priorizado para la protección y conservación, debido al valor ecosistémico o al nivel de amenaza, por lo que son incompatibles con las plantaciones de especies forestales.

Desde el punto de vista ambiental, el ecosistema de manglar reduce el impacto de las mareas, pues depositan barro y forman pantanos donde se fijan los organismos. Igualmente, sirve como estabilizador de la línea costera al ayudar en el control de erosión y constituye una barrera natural de amortiguamiento que protege las costas de marejadas y vientos huracanados como una cortina rompevientos. Se definen como ecosistemas de zonas costeras en los que se relacionan especies arbóreas de las familias denominadas *mangle* con otras plantas, con animales que habitan allí permanentemente o durante algunas fases de su vida y con las aguas, los suelos y otros componentes del ambiente (Resolución 1602 de 1995, Minambiente). Para la conservación de estas áreas, el Minambiente desarrolló el Programa nacional para el uso sostenible, manejo y conservación de los ecosistemas de manglar en el año 2002.

Desde el punto de vista económico, el manglar ha sido base de subsistencia de muchas comunidades a lo largo de las costas colombianas, las cuales han utilizado la madera a pequeña escala o para uso local. Del manglar es posible obtener alcohol, papel para envolver cigarrillos, colorantes, fibras sintéticas, incienso, palo de fósforos y pegamentos. La corteza de algunas especies se aprovecha para la extracción de taninos, químicos que facilitan el proceso de la curtiembre.

En estos ecosistemas se prohíbe cualquier obra, industria o actividad que se localice dentro del área y que destruya la cobertura forestal o altere los procesos ecológicos del ecosistema. Se exceptúan las labores comunitarias de acuicultura artesanal que no causen detrimento al manglar y que sean debidamente aprobadas por las entidades administrativas de los recursos naturales competentes (Resolución 1602 de 1995, Minambiente).

Los *humedales* son ecosistemas estratégicos de gran importancia ecológica, ya que ofrecen una gran variedad de bienes y servicios a las comunidades aledañas. Estos ecosistemas han ido desapareciendo debido a diversos factores que alteran las características físicas, biológicas y químicas, lo cual afecta la flora y la fauna presente. El Decreto 1640 de 2012 plantea la existencia de ecosistemas de importancia estratégica para la conservación de recursos hídricos, pues los define como los que ecosistemas que garantizan la oferta de servicios ecosistémicos relacionados con el ciclo hidrológico y con los procesos de regulación y disponibilidad del recurso hídrico en un área determinada.

La *ronda hídrica* se considera la faja paralela a las líneas de mareas máximas o al cauce permanente de ríos y lagos de hasta 30 metros, las cuales son un bien inembargable e imprescriptible del Estado, excepto si existen derechos adquiridos, según el Decreto 2811 de 1974). El artículo 204 establece: «[...] Se entiende por área forestal protectora la zona que debe ser conservada permanentemente con bosques naturales o artificiales para proteger estos mismos recursos u otros naturales renovables. En el área forestal protectora debe prevalecer el efecto protector y sólo se permitirá la obtención de frutos secundarios del bosque».

La ronda hídrica, según la Ley 388 de 1997, es una determinante ambiental que debe considerarse como norma de superior jerarquía tanto por los municipios como por los distritos. El Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección del Medio Ambiente (Decreto 2811 de 1974) establece una regulación en términos de propiedad en relación a las zonas paralelas a los cauces permanentes. En el artículo 83 afirma que la faja paralela a las líneas de mareas máximas o al cauce permanente de ríos y lagos de hasta 30 metros es un bien inembargable e imprescriptible del Estado, excepto si existen derechos adquiridos.

Por su parte, el Decreto 1449 de 1977 estebece que los propietarios de predios rurales tienen la obligación de mantener la cobertura boscosa en áreas forestales protectoras. Una faja se define como un terreno no inferior a 30 metros de ancho, paralelo a las líneas máximas de marea, a los lados de los cauces y alrededor de lagos o depósitos de agua. El Decreto 3600 de 2007, que regula sobre los determinantes para el ordenamiento del suelo rural, señala que las rondas hidráulicas hacen parte de la categoría de áreas de conservación y protección ambiental por ser áreas de especial importancia ecosistémica.

Finalmente, el ecosistema de *bosque seco* se considera una zona de importancia ambiental que se ha priorizado para su protección y conservación debido a la importancia ecosistémica o el nivel de amenaza. Por lo tanto, se requiere de un análisis detallado del área previo a cualquier establecimiento de un cultivo.

Importancia de la variable

Permite identificar áreas donde el establecimiento del cultivo no es compatible con los fines vocacionales en estos ecosistemas estratégicos, por lo que su uso está condicionado a estudios con mayor nivel de detalle.

Valor de exclusión de la variable

No aplica, por tratarse de un condicionante legal (C1).

Limitantes de evaluación de la variable

Estas zonas no cuentan con una delimitación a escala regional, lo que motiva a que sean considerados como figuras normativas que requieren de un análisis complementario de tipo legal, social, cultural o ambiental para el desarrollo de actividades agropecuarias. Es necesario determinar si la autoridad ambiental regional ha definido las normas que fijan la estructura ecológica orincipal del territorio. Si estas áreas aparecen identificadas y reglamentadas, deberán ser tratadas como una *exclusión legal*.

En cuanto a rondas hídricas, la delimitación específica de cada cauce debe obedecer a lo que establezcan las autoridades ambientales respectivas. Para la presente zonificación de aptitud, se tomaron 30 metros, aunque podrían tener una mayor o menor longitud. Es función de las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) efectuar el acotamiento de la faja paralela a los cuerpos de agua a que se refiere el Decreto Ley 2811 de 1974 y el área de protección o conservación aferente, para lo cual se deberán realizar los estudios correspondientes conforme a los criterios que defina el Gobierno nacional (Ley 1450 de 2011).

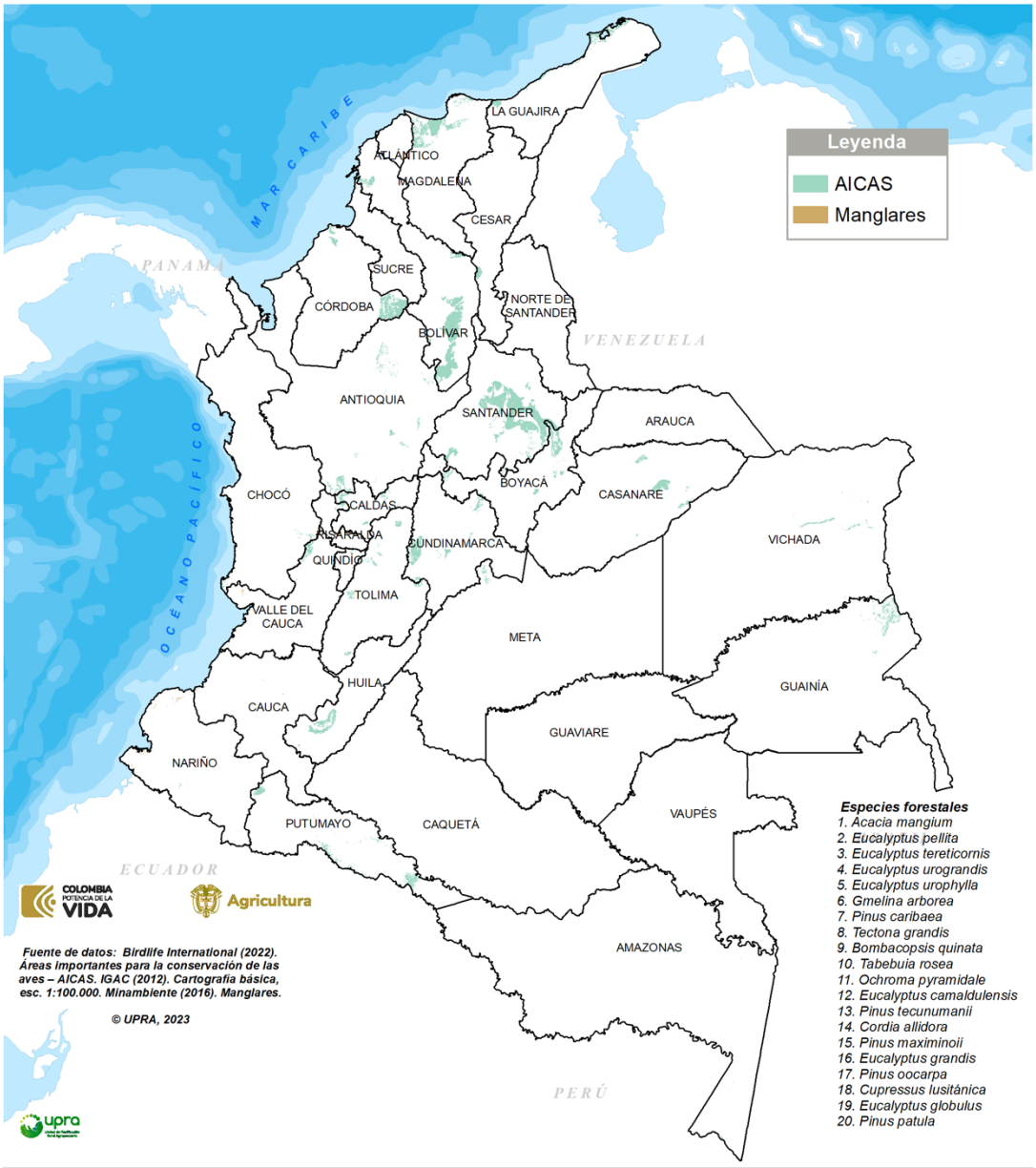
Metodología de procesamiento de la información

Para generar la información cartográfica, se partió de las capas que contienen la información espacial actualizada de las áreas de bosque seco tropical, los humedales y los manglares. Para las rondas hídricas, se empleó la cartografía básica del IGAC para definir los cauces sencillos. Una vez definidos los cauces, se tomó un buffer de 30 metros a lado y lado del cauce.

Unidad de análisis

Polígonos que comprenden las áreas de bosque seco tropical, humedales, manglares. Para la generación de la información cartográfica, se partió de la cartografía básica del IGAC, donde se definen los cauces sencillos. Una vez definidos los cauces, se tomó un buffer de 30 metros a lado y lado del cauce.

Representación cartográfica de la variable



CONDICIONANTES LEGALES
Ecosistemas estratégicos

Fuentes de información

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (2014). *Bosque seco tropical*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2008). *Mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia, escala 1:500.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Drenaje doble construido a partir de cartografía básica, escala 1:100.000.* Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

5.1.2. Variable *áreas protegidas*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioecosistémico		
Criterio asociado: *condicionantes legales*		
Variable: *áreas protegidas*		
Tipo de criterio asociado	Análisis jerárquico	
	Condicionante legal	✓
	Exclusión técnica	
	Exclusión legal	

Definición

Agrupa las áreas protegidas cuyas categorías de manejo requieren de un análisis complementario de tipo legal, social, cultural o ambiental para desarrollar y establecer plantaciones de especies forestales. Aunque no se prohíba la actividad, se genera un condicionamiento al posible uso de estas áreas. Las consideraciones legales para esta variable se muestran a continuación.

Distritos de manejo integrado (DMI). De acuerdo con el Decreto 2372 de 2010, compendiado en el Decreto 1076 de 2015, único del sector ambiental, se consideran espacios geográficos cuyos paisajes y ecosistemas mantienen la composición y la función, aunque la estructura haya sido modificada, cuyos valores naturales y culturales asociados se hayan puesto al alcance de la población humana para el uso sostenible, preservación, restauración, conocimiento y disfrute.

Zonas de producción y recuperación para la producción del AMEM. Según el Decreto 1989 de 1989, «por el cual se declara Área de Manejo Especial La Macarena, la Reserva Sierra de la Macarena, se clasifica y zonifica su territorio y se fijan sus límites reales», se definen zonas para la preservación y recuperación para la preservación en los distritos de manejo integrado del AMEM, es decir: las zonas identificadas como exclusiones recuperación para la preservación sur; recuperación para la preservación norte; vertiente oriental; y serranía de La Lindosa. Se detallan los siguientes polígonos de zonificaciones: para el DMI Macarena norte, la zona de recuperación para la producción, es decir, las áreas de uso de preservación; para la zona de recuperación para la preservación, las áreas de uso de preservación y áreas de uso de restauración; y para el DMI Losada-Perdido, la zona de recuperación para la producción, es decir, las áreas de uso de preservación.

Distritos de conservación de suelos (DCS). El Decreto 2372 de 2010, compilado por el Decreto 1076 de 2015 los define como espacios geográficos cuyos ecosistemas estratégicos mantienen la función, aunque la estructura y composición hayan sido modificadas. Aportan a la generación de bienes y servicios ambientales, cuyos valores naturales y culturales asociados se ponen al alcance de la población humana para destinarlos a la restauración, uso sostenible, preservación, conocimiento y disfrute. Esta norma se establece por las restricciones de la orientación de manejo para la recuperación de suelos alterados o degradados, o la prevención de fenómenos que causen alteración o degradación en áreas vulnerables por condiciones físicas o climáticas, o por la clase de utilidad.

Áreas de recreación. De acuerdo con el Decreto 1076 de 2015, estas áreas son espacios geográficos cuyos paisajes y ecosistemas estratégicos mantienen la función, aunque la estructura y composición hayan sido modificadas con un potencial significativo de recuperación y cuyos valores naturales y culturales se hayan puesto al alcance de la población humana para la restauración, el uso sostenible, el conocimiento y el disfrute. Por esa razón, esta categoría impone restricciones similares a las de los distritos de manejo integrado.

Reservas naturales de la sociedad civil (RNSC). Hace referencia a la totalidad o una parte del área de un inmueble que conserve una muestra de un ecosistema natural y sea manejado bajo los principios de sustentabilidad en el uso de los recursos naturales y que, por la voluntad de su propietario, se destina al uso sostenible, a la preservación o a la restauración con vocación a largo plazo (Decreto 2372 de 2010). Estas reservas tienen una zonificación y un plan de manejo que deben ser previamente consultados si se pretende desarrollar algún proyecto productivo dentro de la zona.

Zonas de protección y desarrollo de los recursos naturales renovables y del medioambiente. Mediante las resoluciones 1628 y 1814 de 2015, se declaran las zonas de protección como medida de precaución de carácter nacional, como *áreas protegidas nacionales en proceso de declaratoria por parte de parques nacionales naturales*, y de carácter regional, como *áreas protegidas regionales en proceso de declaratoria por parte de las CAR*. Con las resoluciones 1987 y 1310 de 2018, se declaró una medida de precaución que protege temporalmente los sitios donde se adelantan procesos de declaratoria de áreas protegidas nacionales y regionales. Esta estratégica pretende aumentar la representatividad ecológica del sistema y la creación de áreas protegidas en los sitios definidos por los procesos técnicos a diversas escalas para identificar vacíos de conservación y definición de prioridades.

Importancia de la variable

Alerta a los planificadores y productores sobre las áreas que, aunque posean aptitud para el cultivo, cuentan con regímenes especiales que condicionan el desarrollo de las actividades agropecuarias. Cada una de las categorías consideradas generó un condicionante a su uso, pues aunque no se prohíbe, requiere de una revisión de la zona apta en relación a las condiciones normativas de la figura con la que se superpone.

Valor de exclusión de la variable

No aplica, por tratarse de un condicionante legal (C1).

Limitantes de evaluación de la variable

Cada una de las figuras protegidas ebe contar con el respectivo plan de manejo en el que se definen los usos permitidos del área que aparece bajo una figura de protección. Sin embargo, no todas las áreas protegidas tienen un plan de manejo formulado, lo cual implica que, a pesar de que estén delimitadas, aún no tienen definido el uso, de forma que no es posible definir en qué zonas sí es posible desarrollar plantaciones forestales o en las que está prohibido el desarrollo de actividades productivas.

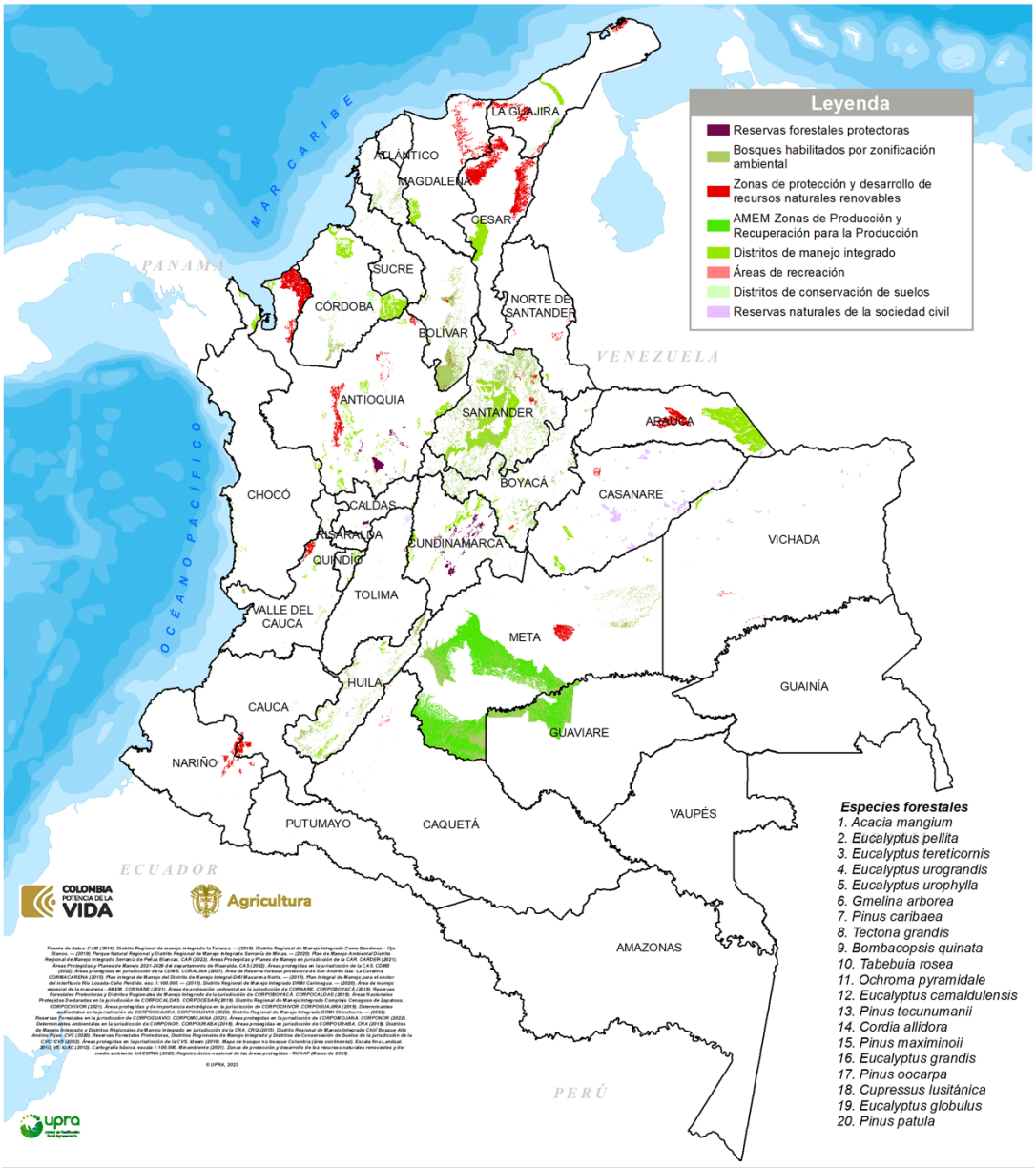
Metodología de procesamiento de la información

Para generar la cartografía, se partió de las capas que contienen la información espacial de cada una de las figuras consideradas. Por medio de esta información, fue posible identificar si en la zona de estudio se localiza alguna de las figuras de protección que integran esta variable.

Unidad de análisis

Polígonos que comprenden distritos de manejo integrado (DMI); zonas de producción y recuperación para la producción del AMEM; distritos de conservación de suelos (DCS); áreas de recreación; reservas naturales de la sociedad civil (RNSC); y zonas de protección y desarrollo de los recursos naturales renovables y del medioambiente.

Representación cartográfica de la variable



CONDICIONANTES LEGALES
Áreas protegidas

Fuentes de información

Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena (2015). *Distritos de Manejo Integrado (DMI), Área de Manejo Especial La Macarena (AMEM)*. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena (Cormacarena).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2015b). *Resoluciones 504, 1310 y 1987: zonas de protección y desarrollo de los recursos naturales renovables y del medio ambiente, mapa de otras categorías Sinap*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Parques Nacionales Naturales de Colombia (2019a). *Categorías regionales del Runap V.6*. Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNN).

Parques Nacionales Naturales de Colombia (2019b). *Límite de los parques nacionales naturales de Colombia V.6*. Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNN).

5.1.3. Variable *planes de ordenación forestal*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioecosistémico		
Criterio asociado: *condicionantes legales*		
Variable: *planes de ordenación forestal*		
Tipo de criterio asociado	Análisis jerárquico	
	Condicionante legal	✓
	Exclusión técnica	
	Exclusión legal	

Definición

Según el Decreto 1076 de 2016, el Plan de ordenación forestal (POF) es un documento desarrollado por las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR). Se estructura a partir de las características bióticas, abióticas, sociales y económicas de la zona y permite ordenar las áreas forestales que se encuentran en el territorio. Los POF tienen como objetivo lograr el uso de los recursos forestales de manera planificada y asegurar la sostenibilidad en su aprovechamiento.

Los POF se considearn un instrumento de planificación para el ordenamiento, uso y manejo integral y sostenible del recurso forestal y de las tierras forestales. Se estructura a partir del conocimiento, análisis, interpretación y evaluación integral de los componentes biofísicos principales conénfasis en los aspectos ecológico y silvicultural, en los suelos y la hidro-climatología y en los componentes socio-económicos y legales. El propósito consiste en la conservación, protección y manejo integral y sustentable del recurso forestal, de las tierras forestales y de la biodiversidad y servicios ecosistémicos asociados.

El Decreto 1076 de 2016 recopila lo establecido en el decreto 1791 de 1996, que dictamina que las Corporaciones Autónomas Regionales deben contar con un plan de ordenación forestal en donde se definan las áreas boscosas de su jurisdicción y respectivo manejo. Los criterios de uso y manejo para las áreas de ordenación forestal están definidas por la Corporación Autónoma Regional del alto magdalena (CAM); la Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique (Cardique); la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial la Macarena (Cormacarena) para la cuenca del río Planas y del río Tillavá en Puerto Gaitán; la Corporación Autónoma Regional de Boyacá (Corpoboyacá); la Corporación Autónoma Regional del Guavio (Corpoguavio); la Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA); la Corporación Autónoma Regional de Sucre (Carsucre); la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB); la Corporación Autónoma Regional del Sur de Bolívar (CSB); la Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge (CVS); y la Corporación Autónoma Regional de Santande (CAS).

De acuerdo con lo anterior, se presentan los condicionantes legales relacionados con las áreas forestales protectoras; las áreas protectoras para la regulación; las áreas de restauración del bosque seco tropical (bs-T); las áreas forestales para la conservación; las áreas misceláneas o de producción mixta; las áreas críticas por erosión severa en suelos arenosos y vegetación herbácea; las áreas críticas por salinización en usos agrícolas intensivos; el área forestal de producción directa; el área forestal de protección para el uso sostenible; las zonas para la restauración; las plantaciones de carácter protector, el aprovechamiento artesanal de productos maderables y no maderables; y las macrounidades de manejo forestal para la producción de maderas finas, ordinarias y PFNM, servicios ambientales con conectividad biológica y la restauración ecológica.

Importancia de la variable

Alerta a los planificadores y productores sobre las áreas que, aunque posean aptitud para el cultivo, cuentan con regímenes especiales que condicionan el desarrollo de las actividades agropecuarias.

Valor de exclusión de la variable

No aplica, por tratarse de un condicionante legal (N2).

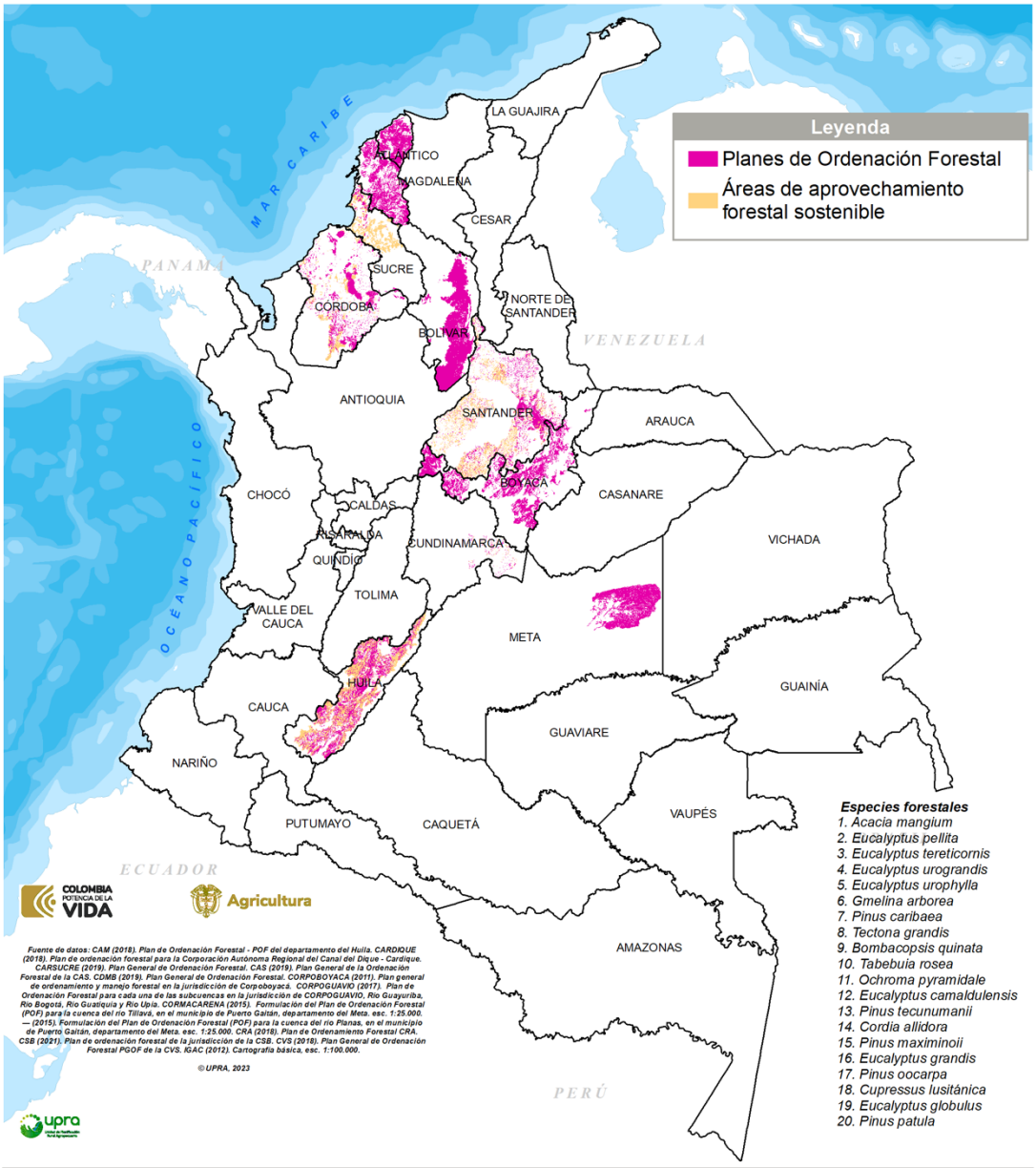
Limitantes de evaluación de la variable

La principal limitante para analizar las áreas protegidas se asoció a la dinámica, ya que constantemente se están creando y definiendo nuevas áreas de conservación y protección. Además, sólo se cuenta con los planes de ordenación forestal de 11 CAR.

Unidad de análisis

Áreas forestales protectoras; áreas protectoras-productoras; áreas de protección-recuperación; áreas de producción, áreas de restauración; y áreas de uso sostenible, conservación y recuperación definidas en los planes de ordenamiento forestal.

Representación cartográfica de la variable



CONDICIONANTES LEGALES
Planes de ordenación forestal

Fuentes de información

Alcaldía Municipal de Puerto López (2017). *PBOT, Acuerdo 012, el cual se adopta el Plan de Manejo del Distrito Regional de Manejo Integrado (DRMI) La Tatacoa, localizado en los Municipios de Villavieja y Baraya, Departamento del Huila*. Alcaldía Municipal de Puerto López.

Corporación Autónoma Regional de Boyacá y Corporación de Tecnologías Sostenibles (2009). *Formulación del Plan General de Ordenamiento y Manejo Forestal PGOF en la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Boyacá CORPOBOYACA. Etapa III. Ordenación y zonificación forestal*. Corporación Autónoma Regional de Boyacá (Corpoboyacá).

Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena y Unión Temporal Forestal–Ambiental 2017 (2018). *Plan de Ordenación Forestal del departamento del Huila POF*- Huila. Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM).

Corporación Autónoma Regional del Atlántico (2018). *Capítulo 5: ordenación forestal a implementar*. Corporación Autónoma Regional del Atlántico (CRA).

Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena y Universidad Distrital Francisco José de Caldas. (2015a). *Formulación del Plan de Ordenación Forestal (POF) para la cuenca del Río Planas, en el municipio de Puerto Gaitán, Departamento del Meta*. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena (Cormacarena).

Corporación para el Desarrollo Sostenible de Área de Manejo Especial La Macarena y Universidad Distrital Francisco José de Caldas. (2015b). *Formulación del Plan de Ordenación Forestal (POF) para la cuenca del Río Tillavá*, en el municipio de Puerto Gaitán, *Departamento del Meta*. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena (Cormacarena).

Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena (2015c). *Distritos de Manejo Integrado (DMI), Área de Manejo Especial La Macarena (AMEM)*. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena (Cormacarena).

Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique (Cardique) y Enviromental Ingenieros Consultores (2017). *Plan de ordenación forestal para la Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique -CARDIQUE*. Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique (Cardique).

Corporación Autónoma Regional del Guavio (2017). *Plan de Ordenación Forestal POF para la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Guavio -CORPOGUAVIO*. Corporación Autónoma Regional del Guavio (Corpoguavio).

Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge (2018). Acuerdo 359 de 2018, *por el cual se adopta la actualización del Plan General de Ordenación Forestal–PGOF de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge* (CVS). Corporación Autónoma Regional de los Valles del Sinú y del San Jorge (CVS).

Corporación Autónoma Regional del Sur de Bolívar (2021). *Acuerdo 10 de 2021, por el cual se adopta Plan de ordenación forestal para la Serranía de San Lucas para el área de jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Sur de Bolívar (CSB*). Corporación Autónoma Regional del Sur de Bolívar (CSB).

Corporación Autónoma Regional de Santander (2019). *Acuerdo 386 de 2019, por el cual se adopta la actualización del Plan General de Ordenación Forestal en el área de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Santander (CAS)*. Corporación Autónoma Regional de Santander (CAS).

Corporación Autónoma Regional de Sucre (2019). Resolución 1112 de 2019, *por medio de la cual se aprueba Plan de Ordenación Forestal de Corporación Autónoma Regional de Sucre* (*CARSUCRE)*. Corporación Autónoma Regional de Sucre (Carsucre).

Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (2019). *Acuerdo 1388 de 2019, por el cual se adopta el Plan General de Ordenación Forestal Integral y Sostenible para el área de jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB*). Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

5.1.4. Variable *zonas de reserva forestal nacional, Ley 2 de 1959, tipos B y C*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioecositémico		
Criterio asociado: *condicionantes legales*		
Variable: *zonas de reserva forestal nacional, Ley 2 de 1959, tipos B y C*		
Tipo de criterio asociado	Análisis jerárquico	
	Condicionante legal	✓
	Exclusión técnica	
	Exclusión legal	

Definición

Las zonas de reserva forestal nacional (ZRFN) fueron creadas para el desarrollo de la economía forestal y protección de los suelos, las aguas y la vida silvestre, mediante la Ley 2 de 1959. Se compone de siete reservas forestales nacionales: ZRFN del Pacífico; ZRFN central; ZRFN del Río Magdalena; ZRFN de la Sierra Nevada de Santa Marta; ZRFN de la serranía de los Motilones; ZRFN del Cocuy; y ZRFN de la Amazonia. Esta condicionante comprende las zonas B y C de la zonificación de las zonas de reserva forestal nacional, definidas a continuación.

Zonas tipo B. Zonas que se caracterizan por tener coberturas favorables para un manejo sostenible del recurso forestal mediante un enfoque de ordenación forestal integral, la gestión integral de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos (Resolución 1922 de 2013, MADS, que corresponde a la adopción de la zonificación de la zona de reserva forestal central).

Zonas tipo C. Zonas que por sus características biofísicas ofrecen condiciones para el desarrollo de las actividades productivas agroforestales, silvopastoriles y otras compatibles con los objetivos de la reserva forestal. Deben incorporar el componente forestal y no implicar la reducción de las áreas de bosque natural presentes en los estados sucesionales (Resolución 1922 de 2013, MADS, que corresponde a la adopción de la zonificación de la zona de reserva forestal central). Se incluyen en esta categoría las zonas con previa decisión de ordamiento, cuyas zonificaciones se adoptaron mediante las siguientes resoluciones:

a. Resolución 1922 de 2013, que adopta la zonificación y el ordenamiento de la reserva forestal central, establecida en la Ley 2 de 1959.

b. Resolución 1923 de 2013, que adopta la zonificación y el ordenamiento de la reserva forestal de la serranía de los Motilones, establecida en la Ley 2 de 1959.

c. Resolución 1924 de 2013, que adopta la zonificación y el ordenamiento de la reserva forestal del río Magdalena, establecida en la Ley 2 de 1959.

d. Resolución 1925 de 2013, que adopta la zonificación y el ordenamiento de la reserva forestal de la Amazonia, establecida en la Ley 2 de 1959, en los departamentos de Caquetá, Guaviare y Huila.

e. Resolución 1926 de 2013, que adopta la zonificación y el ordenamiento de la reserva forestal del Pacífico, establecida en la Ley 2 de 1959.

f. Resolución 1275 de 2014, que adopta la zonificación y el ordenamiento de la reserva forestal del Cocuy, establecida en la ley 2 de 1959.

g. Resolución 1276 de 2014, que adopta la zonificación y el ordenamiento de la reserva forestal de la Sierra Nevada de Santa Marta, establecida en la Ley 2 de 1959.

h. Resolución 1277 de 2014, que adopta la zonificación y el ordenamiento de la reserva forestal de la Amazonia, establecida en la Ley 2 de 1959, en los departamentos de Amazonas, Cauca, Guainía, Putumayo y Vaupés.

En cuanto a las sustracciones de reserva forestal nacional — según los contratos de derecho de uso ZRF—, de acuerdo con la Ley 99 de 1993 en concordancia con el Decreto Ley 3570 de 2011, facultó al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Social a reservar, alinderar y sustraer las reservas forestales nacionales. La sustracción se evalúa y se otorga exclusivamente para la actividad cuya sustracción fue solicitada. Se estableció como condicionante, dado que las sustracciones se realizan para una actividad determinada con la cual fueron solicitadas y por tanto no se puede realizar otro uso. De tal modo, se incluyeron en esta categoría las áreas con contratos de derechos de uso para estas zonas de reserva forestal tipos B y C.

Importancia de la variable

Para los propósitos de los ejercicios de la presente zonificación, las reservas forestales de la Ley 2 de 1959 permitieron identificar las zonas que, independientemente de la categoría de aptitud, requieren de un análisis complementario legal, social, cultural o ambiental para el desarrollo y establecimiento de plantaciones de especies forestales.

Valor de exclusión de la variable

No aplica, por tratarse de un condicionante legal (C1).

Limitantes de evaluación de la variable

En 2015 para las Zonas de Reserva Forestal Nacional se establece que tanto en las zonas tipo A, B o C, se pueden adelantar procesos de sustracción de conformidad con la normatividad vigente. Como todas las áreas son susceptibles de solicitud de sustracción, la información de este insumo deberá ser actualizada, en función de las nuevas sustracciones realizadas en las reservas.

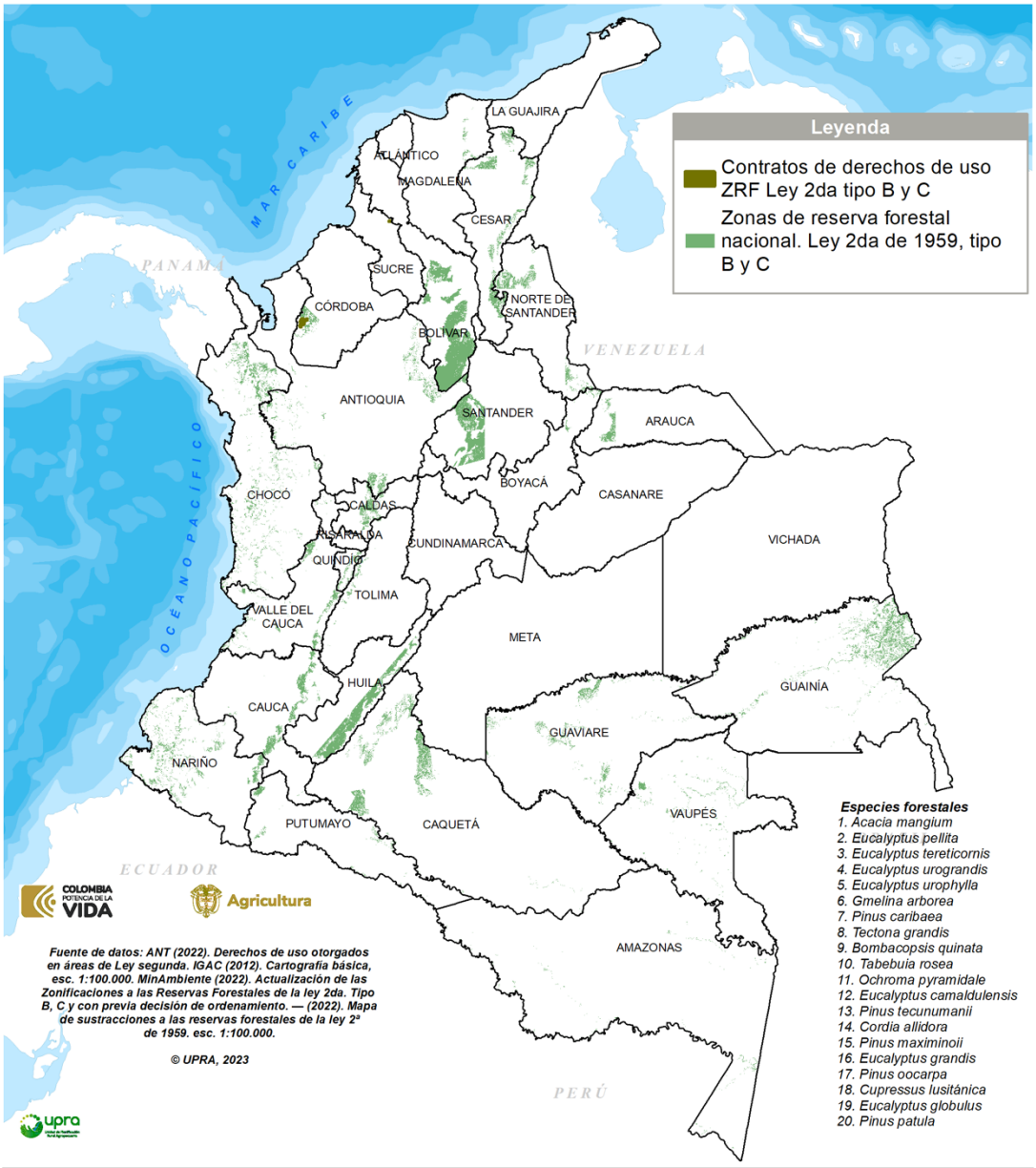
Metodología de procesamiento de la información

Para generar la información cartográfica, se partió del mapa de reservas forestales nacionales de Ley 2 de 1959, el cual identificó las zonas tipos B y C y del análisis cartográfico del mapa de sustracciones de reserva forestal nacional, Ley 2 de 1959. Se incluyeron tambien las zonas con contratos de derechos de uso.

Unidad de análisis

Polígonos correspondientes a las ZRFN y sustracciones de reserva forestal nacional, tipos B y C.

Representación cartográfica de la variable



CONDICIONANTES LEGALES
Zonas de reserva forestal nacional

Fuentes de información

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018a). *Mapa de zonificación de zonas de reserva forestal nacional Ley 2ª, tipo A, escala 1:100.000*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018b). *Mapa de zonas de reserva forestal nacional Ley 2ª: sustracciones, escala 1:100.000*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

5.1.5. Variable *distinciones internacionales*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioecosistémico		
Criterio asociado: *condicionantes legales*		
Variable: *distinciones internacionales*		
Tipo de criterio asociado	Análisis jerárquico	
	Condicionante legal	✓
	Exclusión técnica	
	Exclusión legal	

Definición

Agrupan los lugares que, por factores de orden ecológico, motivan la importancia a nivel internacional y que el país reconoce mediante una adscripción a tratados. El soporte legal de esta zonas implica que se supediten o puedan modificar algunos elementos de la producción comercial, sin que represente una restricción al uso o la reducción de la aptitud del territorio para la implementación. Por este motivo, requieren detalles adicionales que deben ser estudiados en conjunto con las autoridades ambientales competentes. Las áreas son definidas por su importancia biológica y de acuerdo con el compromiso internacional adquirido y ratificado por el país para la protección y conservación de la biodiversidad. En el ejercicio de zonificación de aptitud se consideran las siguientes distinciones internacionales:

Reservas de la biósfera. Áreas geográficas representativas de la diversidad de hábitats del planeta. Como ecosistemas terrestres o marítimos, estas áreas se caracterizan por ser sitios que no son exclusivamente protegidos, sino que pueden albergar a comunidades humanas que vivan de actividades económicas sustentables que no pongan en peligro el valor ecológico del sitio. Una vez designado el nombramiento, la reserva queda reconocida internacionalmente, pero bajo la soberanía de los respectivos Estados, que deben asegurar el cumplimiento y mantenimiento de las características excepcionales que hicieron posible la nominación. De acuerdo con la Convención sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natural, los Estados participantes se obligan a prestar un concurso para identificar, proteger, conservar y revalorizar el patrimonio cultural y natural, y a no tomar medidas que le puedan causar daño, directa o indirectamente (cinturón andino, El Tuparro, Sierra Nevada de Santa Marta, Ciénaga Grande de Santa Marta, Seaflower).

Convenio Ramsar. La *Convención sobre los humedales de importancia internacional*, también conocida como *Convención Ramsar*, es un tratado intergubernamental desarrollado para coordinar las acciones en el ámbito nacional y la cooperación internacional para garantizar la conservación y el uso racional de los humedales de importancia regional, en el trayecto de rutas de aves migratorias, y los recursos.

Este convenio, asociado a la protección de humedales, define una zona húmeda o humedal como «cualquier extensión de marisma, pantano o turbera, o superficie cubierta de aguas, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de aguas marinas cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros» (Unesco, 1994). Colombia aprueba la *Convención relativa a los humedales de importancia internacional, especialmente como hábitat de aves acuáticas* (Ley 357 de 1997). Se obliga, como parte contratante de la convención, a elaborar y aplicar la planificación para favorecer la conservación de los humedales incluidos en la lista, el uso racional de los humedales y la conservación de los humedales y de las aves acuáticas con reservas naturales.

La Ley 1450 de 2011 menciona que en los ecosistemas de humedales se podrán restringir parcial o totalmente las actividades agropecuarias, de explotación de alto impacto y explotación de hidrocarburos y minerales de acuerdo con estudios técnicos, económicos, sociales y ambientales adoptados por el Ministerio de Ambiente o quien haga sus veces. Destaca también que en los humedales designados dentro de la lista de importancia internacional de la convención Ramsar no se podrán adelantar tales actividades, no obstante las limitaciones deben obedecer al plan de manejo donde se definen las respectivas zonas de conservación, preservación y uso.

Áreas de importancia para la conservación de las aves y la biodiversidad (AICAS). Son áreas identificadas como sitios críticos para la conservación de aves y biodiversidad potencialmente vulnerable. La identificación de estas áreas es una iniciativa global liderada por BirdLife Internacional, una federación que agrupa instituciones ornitológicas del mundo entero. Los criterios técnicos para identifricar un AICAS se basan en la presencia de aves prioritarias para la conservación, por lo que se tienen en cuenta las especies globalmente amenzadas (criterio A1); las especies de distribución restringida (criterio A2); el conjunto de especies restringidas a biomas (criterio A3); y las congregaciones de especies (criterio A4).

Importancia de la variable

Permite identificar áreas donde el establecimiento y el desarrollo de las plantaciones forestales deben ser analizados en mayor detalle para identificar la compatibilidad de estos ecosistemas de importancia internacional.

Valor de exclusión de la variable

No aplica, por tratarse de un condicionante legal (C1).

Limitantes de evaluación de la variable

La delimitación de las reservas de la biósfera no representa una identidad ecosistémica, sino los vértices de polígonos, por lo que se incorporan áreas con diversos valores ecosistémicos. De acuerdo con ello, no toda el área tiene la misma importancia ecosistémica, pero la restricción al interior ha de estudiarse con mayor detalle. Por lo que se requieren estudios adicionales que deben analizarse con las autoridades ambientales competentes. Así, las áreas bajo distinción internacional podrán ser reclasificadas en la zonificación dependiendo del conocimiento sobre el futuro o de aclaración de determinantes ambientales que puedan incluirse en la evaluación.

Las áreas definidas por su importancia biológica, y el compromiso internacional adquirido y ratificado por el país para la protección y conservación de la biodiversidad, así como la preexistencia de comunidades humanas, que representan un patrimonio étnico de interés para el país, cuyos principios de vida, cultura y relacionamiento con el entorno natural, han de respetarse para no ponerse en riesgo. En estos lugares, la producción comercial ha de proceder a través de mecanismos de consulta, precaución u otros que determine la legislación colombiana.

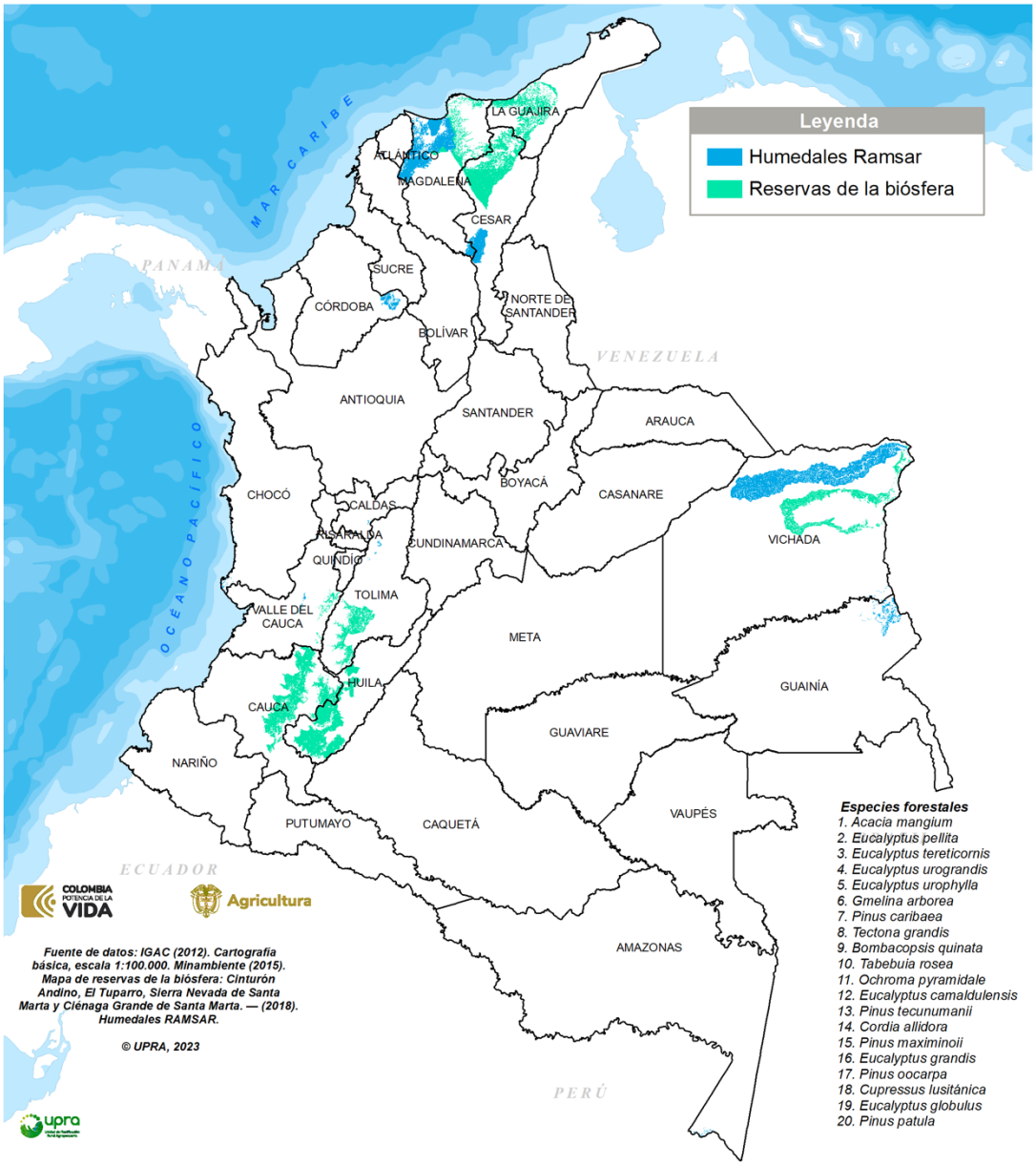
Metodología de procesamiento de la información

Para generar la representación cartográfica, se partió de las capas que contienen la información espacial de cada una de las figuras consideradas. Por medio de esta información, fue posible espacializar e identificar las distinciones internacionales presentes en la zona de estudio.

Unidad de análisis

Humedales Ramsar y reservas de la biósfera, de acuerdo con las fuentes de información oficial.

Representación cartográfica de la variable



CONDICIONANTES LEGALES
Distinciones internacionales

Fuentes de información

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2015). *Mapa de reservas de la biósfera: Ciénaga Grande de Santa Marta, Cinturón Andino, El Tuparro y Sierra Nevada de Santa Marta*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018). *Sitios Ramsar*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Organización de la Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (1994). *Convención relativa a los humedales de importancia internacional, especialmente como hábitat de aves acuáticas*. Organización de la Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco). https://n9.cl/047nh

5.1.6. Variable *áreas de interés cultural y social*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioecosistémico		
Criterio asociado: *condicionantes legales*		
Variable: *áreas de interés cultural y social*		
Tipo de criterio asociado	Análisis jerárquico	
	Condicionante legal	✓
	Exclusión técnica	
	Exclusión legal	

Definición

Comprende las zonas delimitadas por el Estado para el reconocimiento, protección y desarrollo de la diversidad étnica y la identidad cultural de las comunidades que las habitan o por ser un patrimonio arqueológico nacional. Por disposiciones legales, estas áreas cuentan con regímenes especiales para el acceso y aprovechamiento de los recursos disponibles. Las figuras legales que conforman esta variable se describen a continuación.

Tierras de las comunidades negras. Terrenos en cuyo asentamiento histórico y ancestral las comunidades negras tienen un uso colectivo, constituye su hábitat y desarrollan sus prácticas tradicionales de producción, en relación con las que se profiere el acto administrativo que reconoce la propiedad colectiva (ANT, 2017). Para recibir en propiedad colectiva las tierras adjudicables, cada comunidad debe conformar un consejo comunitario como forma de administración interna de las tierras de propiedad colectiva (Ley 70 de 1993).

Áreas de reserva Ley 70 de 1993. Son tierras baldías en las zonas rurales ribereñas de los ríos de la cuenca del Pacífico reconocidas a las comunidades negras, que han venido ocupando de acuerdo con prácticas tradicionales de producción de propiedad colectiva. El propósito consiste en proteger la identidad cultural y los derechos de las comunidades negras de Colombia como grupo étnico y fomentar el desarrollo económico y social para garantizar las condiciones reales de igualdad de oportunidades frente al resto de la sociedad colombiana.

Resguardos indígenas. Son territorios de propiedad colectiva de las comunidades indígenas que, conforme a los artículos 63 y 329 de la Constitución Política, tienen el carácter de inalienables, imprescriptibles e inembargables. Los resguardos indígenas son una institución legal y sociopolítica de carácter especial conformada por una o más comunidades indígenas, que con un título de propiedad colectiva gozan de las garantías de la propiedad privada, poseen su territorio y se rigen para el manejo y su vida interna por una organización autónoma amparada por el fuero indígena y su sistema normativo propio (Decreto 2164 de 1995, MADR).

De acuerdo con a los artículos 63 y 329 de la Constitución Política, la Ley 21 de 1991 y el Convenio OIT 169 de 1989, tienen el carácter de inalienables, imprescriptibles e inembargables. Estas comunidades tienen una organización autónoma amparada por el fuero indígena y su sistema normativo propio (Decreto 2164 de 1995, MADR).

Zonas de reserva campesina. Son tierras baldías de la nación adjudicadas a los campesinos de escasos recursos, con el fin de fomentar la pequeña propiedad rural según las políticas de conservación del área, el medio ambiente, los recursos naturales renovables y los criterios de ordenamiento territorial y de la propiedad rural que se señalen (Ley 160 de 1994). En las zonas de reserva campesina, la acción del Estado considerará criterios sobre el ordenamiento ambiental territorial; la efectividad de los derechos sociales, económicos y culturales de los campesinos; la participación en las instancias de planificación y decisión regionales; y las características de las modalidades de producción.

Paisaje cultural cafetero. Es un área donde se encuentra el paisaje cultural productivo en el que se combinan elementos naturales, económicos y culturales con un extraordinario grado de homogeneidad en la forma de las plantaciones del café y del paisaje. Este paisaje fue reconocido como patrimonio cultural de la nación y como bien inscrito en la Lista de patrimonio mundial de la Unesco, que consiste en un territorio compuesto por zonas de especial interés arqueológico, histórico y cultural (Resolución 2079 de 2011, MADR).

Áreas arqueológicas protegidas (APP). Es un polígono o zona delimitada en Colombia que, por características únicas de sus evidencias arqueológicas, requiere una especial protección y conservación, con el fin de posibilitar la investigación, la divulgación y el turismo responsable. Estas áreas contienen un plan de manejo arqueológico definido por el Instituto Colombiano de Antropología e Historia (Icahn), el cual permite realizar labores de agricultura tradicional, pero restringe el desarrollo de agricultura mecanizada en las áreas de potencial muy alto.

Áreas de reserva especial minera (ARE). Son áreas declaradas por la Agencia Nacional de Minería (ANM) en favor de una comunidad minera, donde existen explotaciones tradicionales de minería informal y cuya concesión solamente se otorgará a la misma comunidad que haya ejercido la actividad minera tradicional, sin perjuicio de los títulos mineros vigentes (Ley 685 de 2001).

Importancia de la variable

Alerta a los planificadores y productores sobre las áreas que, aun cuando posean aptitud para el cultivo, cuentan con regímenes especiales culturales y normativos que condicionan las actividades económicas y productivas a desarrollar en esas áreas. En las zonas aptas para el cultivo, previo a la formulación de proyectos de inversión, se deberán considerar los siguientes criterios:

En áreas donde existan resguardos indígenas y tierras de las comunidades negras, se deberán surtir procesos de consulta previa en orden a lo dispuesto en el Decreto 1320 de 1998 del Ministerio del Interior.

Para el caso de las zonas de reserva campesina, los proyectos deberán ser agrosostenibles; contribuir al cumplimiento del plan de desarrollo sostenible y ser socializados con la comunidad y tras entidades territoriales competentes en el marco de una audiencia pública, según lo establece el Acuerdo 021 de 1996 (Incora).

Respecto al paisaje cultural cafetero, se deberá realizar el estudio de impacto de nuevos proyectos productivos en coordinación con el Ministerio de Cultura, las Corporaciones Autónomas Regionales, la Federación Nacional de Cafeteros y las entidades locales. Con ello, se determinarán los posibles cambios del valor universal excepcional del paisaje cafetero y los manejos que se deben dar para evitar la modificación. Así mismo, se debe considerar lo dispuesto en el Conpes 3803 de 2014 para garantizar la sostenibilidad económica, cultural, social y ambiental de este paisaje.

Para las áreas arqueológicas protegidas o zonas de influencia, los planes de manejo arqueológico determinarán los niveles permitidos de intervención, las condiciones de manejo y los planes de divulgación. Según el Decreto Nacional 763 de 2009, el Icanh deberá aprobar estas zonas de influencia arqueológica y los planes de manejo (Decreto 1080 de 2015).

En lo que respecta a las áreas de influencia arqueológica, de acuerdo con el Decreto 833 de 2002, se precisa que: «en ningún caso la inexistencia de la declaratoria de una Zona de influencia arqueológica, o la inexistencia de un Plan de manejo arqueológico, faculta la realización de alguna clase de exploración o excavación sin la previa autorización del Instituto Colombiano de Antropología e Historia».

Respecto a las áreas de reserva especial minera (ARE), conforme al Decreto 019 de 2012, no se admitirán nuevas propuestas sobre todos o algunos minerales y sólo se otorgarán concesiones a la comunidades que han realizado esprotaciones tradicionales. De acuerdo con la Ley 685 de 2001, se considerarán áreas libres las áreas objeto de reservas especiales que no quedaron vinculadas a proyectos mineros comunitarios, por lo que podrán ser otorgadas a terceros proponentes.

Valor de exclusión de la variable

No aplica por tratarse de un criterio condicionante.

Limitantes de evaluación de la variable

La información espacializada contempla únicamente las tierras de las comunidades negras, los resguardos indígenas y las zonas de reserva campesina que están constituidos mediante un acto administrativo de la entidad competente (ANT). Las áreas de régimen especial declaradas no permiten diferenciar el origen del título (colonial o republicano). Para ello, se requiere que la entidad competente clarifique la vigencia legal de los títulos coloniales existentes y los reclasifique en las categorías que se incluyen en esta variable.

Prescindir de esta información en la zonificación de aptitud no desconoce la posibilidad de que se requiera adelantar procesos de consultas previas, audiencias públicas, estudios de impacto o verificaciones *in situ* al momento de implementar desarrollos productivos en áreas donde existan ampliaciones o procesos de saneamiento en resguardos indígenas en curso; áreas con ocupación ancestral por parte de comunidades negras; o zonas de reserva campesina con acto administrativo para dar inicio al proceso de constitución.

Metodología de procesamiento de la información

Precisiones de la información

La información espacializada correspondió a la cartografía expedida por la fuente oficial a la fecha en que ésta fue suministrada a la UPRA, por lo que es posible que existan nuevas áreas que cuenten con acto administrativo vigente, pero que a la fecha no hayan sido incorporadas al sistema de información geográfica de la entidad emisora. A continuación, se precisa información sobre las características de las figuras incorporadas.

Tierras de las comunidades negras. En los departamentos de Chocó, Nariño, Cauca y Valle del Cauca, se ubica el 95 % de los territorios de comunidades negras, de los que el 54 % se encuentra en el Chocó, cifra equivalente a 3.065.265 hectáreas y que abarca casi la totalidad de las subregiones Pacífico sur y San Juan. Nariño es el segundo departamento con mayor proporción de territorio bajo esta figura, con 1.206.257 hectáreas; seguido del Cauca y Valle del Cauca, con 713.445 y 447.828, respectivamente. Sin embargo, en La Guajira, Magdalena, Antioquia y Bolívar también se reportan consejos comunitarios de extensiones que no superan las 500 hectáreas. Los consejos comunitarios más extensos del país se ubican en los municipios de Riosucio (Chocó) y Buenaventura (Valle del Cauca), los cuales abarcan entre 422.000 y 451.000 hectáreas. Se destacan los municipios con mayor representatividad de esta comunidad étnica: Nóvita, El Cantón del San Pablo y Medio San Juan en el Chocó, donde más del 98 % del municipio está bajo esta figura de protección sociocultural.

Áreas de reserva Ley 70 de 1993. De las casi 10 millones de hectáreas reservadas para las comunidades negras, el 79 % se encuentran en los departamentos del Chocó, Nariño y Antioquia; el 21 % restante está en los departamentos del Cauca, Valle del Cauca, Risaralda y Caldas. Los municipios con menor área reservada para la constitución de consejos comunitarios son Guachucal (Nariño), Riosucio (Caldas) y Betania (Antioquia), con 37, 62 y 65 hectáreas, respectivamente. Cabe destacar que, en las subregiones del Urabá, occidente y suroeste antioqueño, existen municipios cuya 97 % del área total ha sido reservada para comunidades negras. Este mismo fenómeno ocurre en otros departamentos, donde pese a estar la totalidad del municipio reservado para comunidades negras, a la fecha se reportan consejos comunitarios constituidos en extensiones bastante reducidas, por ejemplo, los municipios de El Cairo, Dagua, Versalles y El Dovio (Valle del Cauca), cuya extensión de los consejos constituidos equivale a menos del 10 % del total del territorio reservado para este grupo étnico. En los municipios de Pueblo Rico (Risaralda) y Argelia (Cauca), la extensión es del 18 %.

Resguardos indígenas. Son territorios de propiedad colectiva de las comunidades indígenas, que, según los artículos 63 y 329 de la Constitución Política, tienen el carácter de inalienables, imprescriptibles e inembargables. Los resguardos indígenas son una institución legal y sociopolítica de carácter especial conformada por una o más comunidades indígenas, que, con un título de propiedad colectiva, gozan de las garantías de la propiedad privada y poseen su territorio. Estas comunidades tienen una organización autónoma amparada por el fuero indígena y su sistema normativo propio (Decreto 2164 de 1995, MADR).

Zonas de reserva campesina. Las áreas constituidas como zonas de reserva campesina (ZRC) suman alrededor de 875.592 hectáreas, por lo que representan menos del 1 % de la extensión territorial de Colombia. Entre 1996 y 2018 se han constituido siete ZRC en todo el país, las más antiguas, de los años 1997-1999, a saber: Pato-Balsillas en el municipio de San Vicente del Caguán (Caquetá); Arenal-Morales en el departamento de Bolívar; y la ZRC Guaviare, que abarca parte de los municipios de Calamar, El Retorno y San José del Guaviare, que es la de mayor extensión, con 463.600 hectáreas. En el año 2000, se constituyeron las ZRC de Cabrera (Cundinamarca), Perla Amazónica (Puerto Asís, Putumayo) y la del Valle del río Cimitarra, que se ubica en el Magdalena medio entre los departamentos de Bolívar y Antioquia. La más reciente constitución de ZRC tuvo lugar el 16 de abril de 2018 en la región de los Montes de María entre las inmediaciones de los departamentos de Sucre y Bolívar, cuyo nombre es *Montes de María 2* y cuenta tiene una extensión de 44.481 hectáreas.

Paisaje cultural cafetero. Esta figura tiene una extensión total de 351.291 hectáreas en el país y abarca parte de los departamentos de Caldas, Risaralda, Valle del Cauca, Quindío, Antioquia y Chocó. En 19 de los 27 municipios del departamento de Caldas subsiste el paisaje cultural cafetero, que representa el 35 % del total del área la figura y equivale a 124.250 hectáreas. En Risaralda y Quindío, hay cerca de 149.000 hectáreas declaradas; mientras que en el Valle del Cauca la extensión es de alrededor de 80.000. En los departamentos de Antioquia y Chocó se encuentra que el paisaje cultural cafetero no supera las 50 hectáreas. El primer caso se reporta únicamente en el municipio de Caramanta (43 hectáreas); en el segundo caso, los municipios de San José del Palmar y Litoral del San Juan suman poco más de 30.

Áreas arqueológicas protegidas. Se identificaron 16 áreas arqueológicas protegidas, que incluyen zonas directas e indirectas, así:

Áreas arqueológicas protegidas	Zona
Santa María de la Antigua del Darién	Directa
El Salado	Directa
Pueblito	Directa
La Lindosa	Raudal
Piedras del Tunjo	Directa
UPTC Tunja	Directa
Pupiales	Directa
	Área de influencia

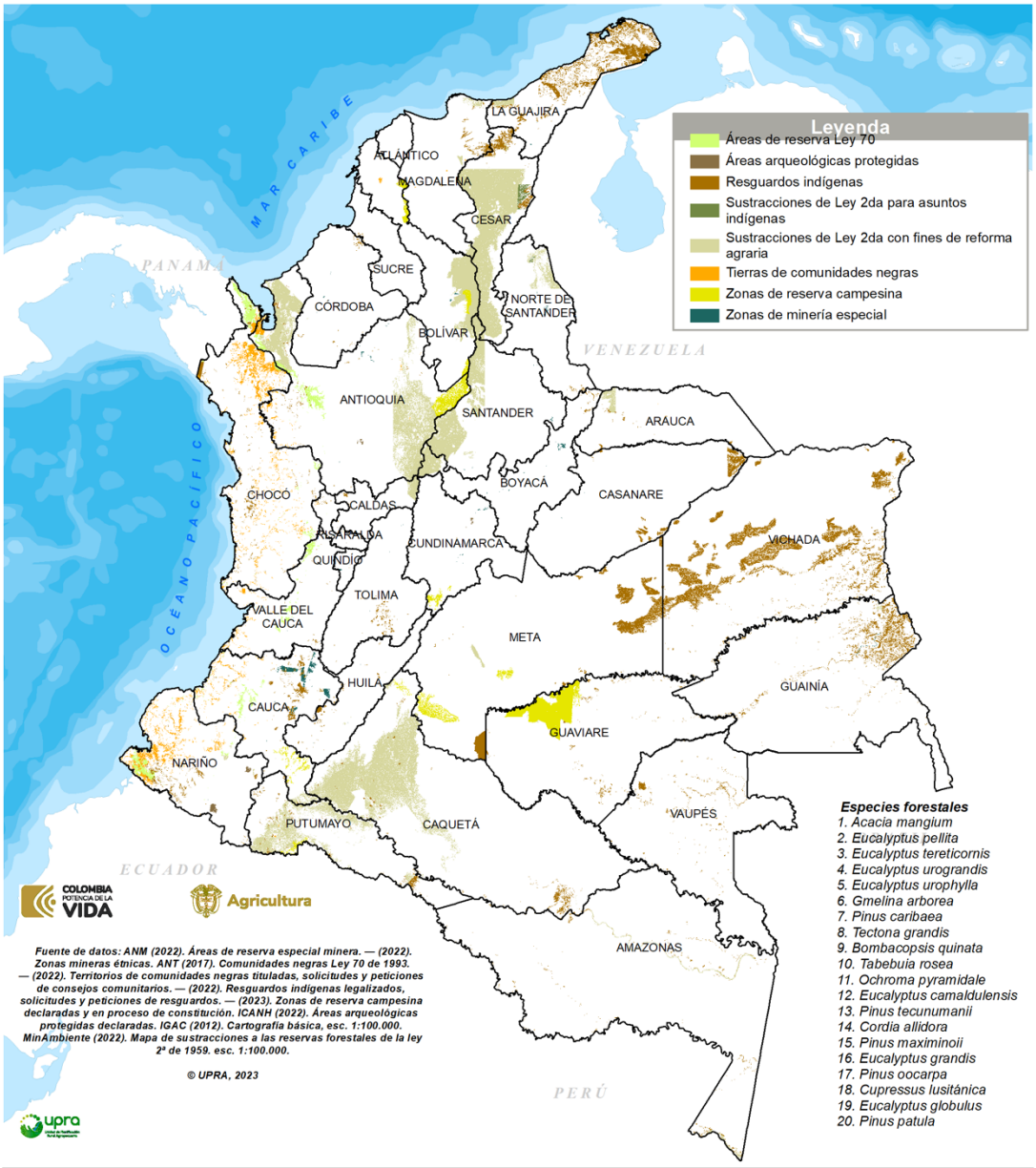
Áreas arqueológicas protegidas	Zona
	Pizarra
	Nuevo Tolima
	Los Túneles
	Los Alpes
	Limoncillo
	Campanilla
	Cerro Azul
Las Salinas	Directa
	Área de influencia
Piedras Blancas	Directa

Áreas arqueológicas protegidas	Zona
Tequendama	Directa
La Mojana	Directa
El Abra	Directa
El Infiernito	Directa
Arboleda	Directa
	Área de influencia
Mogua	Directa
	Área de influencia
Valle alto del río Checua	Directa
	Área de influencia

Unidad de análisis

Polígonos que comprenden, de acuerdo con las fuentes de información oficial, tierras de las comunidades negras; áreas de la reserva, Ley 70 de 1993; resguardos indígenas; zonas de reserva campesina; paisaje cultural cafetero; zonas de actividad aeronáutica; y áreas arqueológicas protegidas.

Representación cartográfica de la variable



CONDICIONANTES LEGALES
Áreas de interés cultural y social

Fuentes de información

Agencia Nacional de Tierras (2016). *Áreas reservadas para comunidades negras, Ley 70 de 1993*. Agencia Nacional de Tierras (ANT).

Agencia Nacional de Tierras (2018a). *Resguardos indígenas legalmente constituidos*. Agencia Nacional de Tierras (ANT).

Agencia Nacional de Tierras (2018b). *Consejos comunitarios de comunidades negras legalmente constituidos*. Agencia Nacional de Tierras (ANT).

Agencia Nacional de Tierras (2018c). *Zonas de reserva campesina legalmente constituidas*. Agencia Nacional de Tierras (ANT).

Congreso De la República de Colombia (2001). Ley 685 de 2001, por la cual se expide el Código de Minas y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial 44.522. Congreso De la República de Colombia.

Instituto Colombiano de Antropología e Historia (2019). *Áreas arqueológicas protegidas*. Instituto Colombiano de Antropología e Historia (Icanh).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Ministerio de Cultura (2014). *Paisaje cultural cafetero*. Ministerio de Cultura (Mincultura).

Presidencia de la República de Colombia (2012). Decreto 19 de 2012. Por el cual se dictan normas para suprimir o reformar regulaciones, procedimientos y trámites innecesarios existentes en la Administración Pública. Diario Oficial. 48.308. Presidencia de la República de Colombia.

5.1.7. Variable *agricultura de bajo impacto*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioecosistémico		
Criterio asociado: condicionantes legales		
Variable: *agricultura de bajo impacto*		
Tipo de criterio asociado	Análisis jerárquico	
	Condicionante	✓
	Exclusión técnica	
	Exclusión legal	

Definición

Agrupa áreas en páramos delimitados donde se desarrollan actividades de bajo impacto y ambientalmente sostenibles, en las cuales, de acuerdo con la Ley 1930 de 2018, se podrá permitir la continuación de las actividades agropecuarias de bajo impacto haciendo uso de buenas prácticas que cumplan con estándares ambientales en defensa de los páramos. De acuerdo con la Resolución 1294 de 2021, corresponden a actividades agropecuarias de bajo impacto las «Actividades agrícolas, pecuaria, forestal, acuícola o pesquera, cuyos sistemas de producción, además de satisfacer las necesidades básicas de los habitantes tradicionales del páramo y generar ingresos económicos, no ponen en riesgo la funcionalidad del ecosistema de páramo, ni la prestación de los servicios ecosistémicos donde se desarrollan».

Estas actividades deben garantizar prácticas que mimicen los impactos en el ecosistema de páramo, por que deben seguir los lineamientos de conservación del ecosistema y prácticas de manejo sostenible. Para la conservación del ecosistema se considera la conservación de las coberturas naturales y parches de vegetación nativa existente, es decir, conservación y protección de nacimientos y fuentes hídricas superficiales y subterráneas para la gestión sostenible del agua y humedales altoandinos; implementar herramientas de manejo del paisaje como barreras vivas, cercas vivas multiestrato con especies funcionales propias del ecosistema, sistemas silvo-pastoriles o agrosilvopastoriles, bosque y aislamiento de áreas con fines de protección; proteger y recuperar poblaciones de especies silvestres consideradas estructurantes de tipos de vegetación característicos de páramo y humedales de páramo como pajonales, frailejonales, chuscales, matorrales o bosques achaparrados y vegetación de turberas; y atender e impletar las medidas expedidas por las autoridades ambientales para el manejo y gestión de eventos de interacción entre fauna silvestre y población humana.

Importancia de la variable

Permite identificar áreas donde el establecimiento y el desarrollo del cultivo deben ser analizados en mayor detalle para asegurar la sosteniblidad de ecosistemas de páramo.

Valor de exclusión de la variable

No aplica, por tratarse de un condicionante legal (C1).

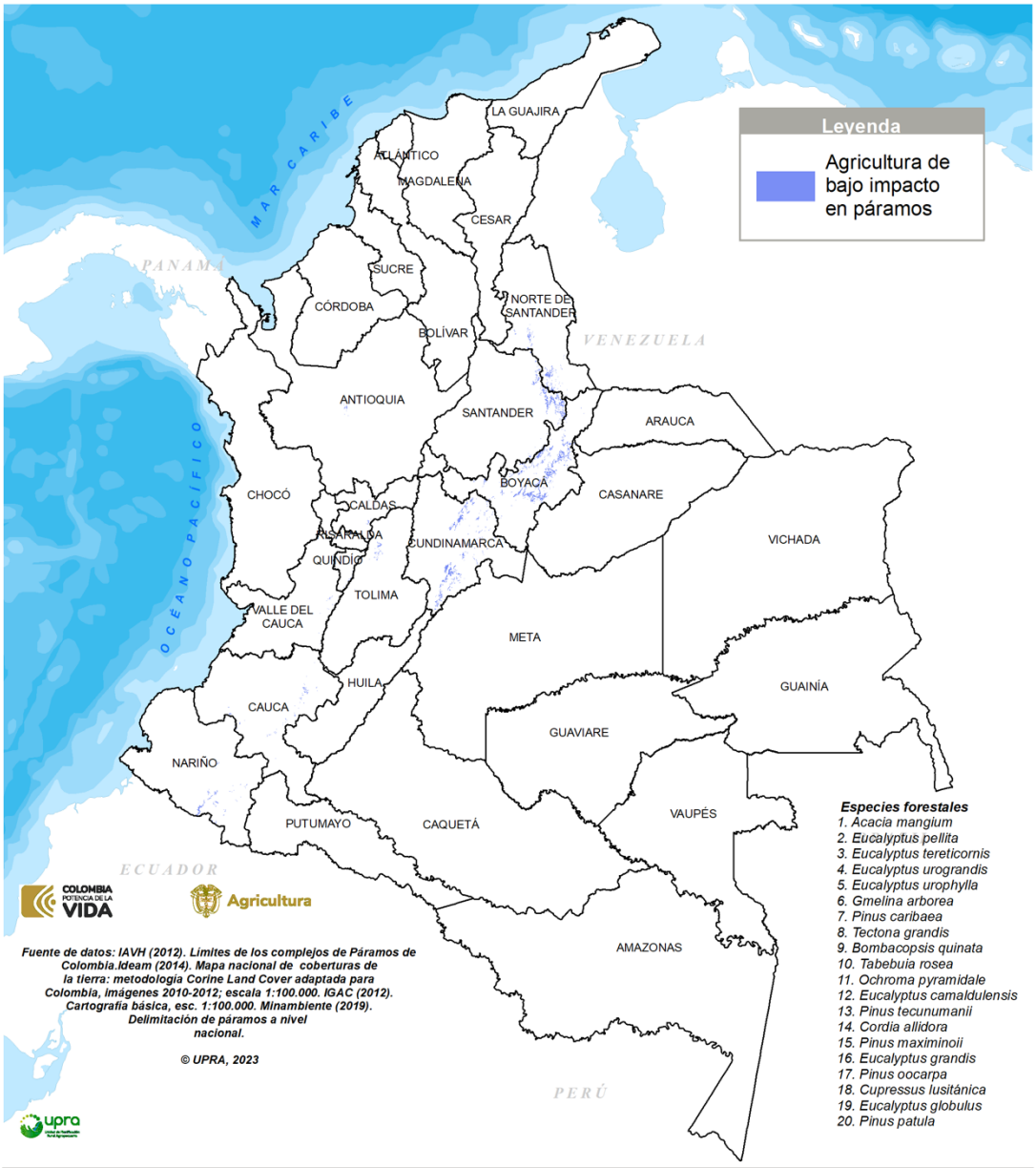
Metodología de procesamiento de la información

Para la generación de la representación cartográfica, se identificaron las áreas con actividades agropecuarias en páramos a partir de la capa de coberturas Corine Land Cover 2012 con base en la metodología de frontera agrícola.

Unidad de análisis

Áreas con actividades de bajo impacto en páramos.

Representación cartográfica de la variable



CONDICIONANTES LEGALES
Agricultura de bajo impacto

Fuentes de información

Congreso de la República de Colombia (2018). *Ley 1930 de 2018, por medio de la cual se dictan disposiciones para la gestión integral de los páramos en Colombia*. Diario Oficial 50.667. Congreso de la República de Colombia.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2021). Resolución 1294 de 2021, por la cual se establecen los lineamientos para el desarrollo de actividades agropecuarias de bajo impacto y ambientalmente sostenibles en páramos y se adoptan otras disposiciones. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

5.1.8. Variable *gestión de riesgo*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Plantaciones comerciales de veinte especies forestales para la producción de madera en Colombia	
Componente: socioecosistémico		
Criterio asociado: condicionantes legales		
Variable: *gestión de riesgo*		
Tipo de criterio asociado	Análisis jerárquico	
	Condicionante	✓
	Exclusión técnica	
	Exclusión legal	

Definición

De acuerdo con la Ley 1523 de 2012, en la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, se define la gestión del riesgo como el «proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia del mismo, para impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastre, así como para la posterior recuperación, entiéndase: rehabilitación y reconstrucción. Estas acciones tienen el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar y calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible». En las variables de gestión de riesgo se incorporan los siguientes:

Amenaza por remoción en masa. Comprende el desplazamiento ladera debajo de material litológico, suelo, roca o cobertura vegetal por acción de la fuerza de gravedad, la influencia de la pendiente del terreno y la cohesión o características del material (UPRA, 2018). Esta amenaza se define como un peligro latente relacionado con un fenómeno físico de origen natural que puede producir efectos adversos en las personas, los bienes o el medio ambiente.

Amenaza volcánica. De acuerdo con la UPRA (2018), comprende cualquier evento volcánico potencialmente destructivo que puede afectar un área determinada. Esta amenaza no considera la presencia o no de población o bienes alrededor del volcán e incide en el arrasamiento y destrucción de vegetación, cultivos y de las estructuras.

Áreas inundables: se definen como el desbordamiento del agua fuera de los límites normales de un río o cualquier cuerpo de agua o acumulación de agua en zonas de drenajes que normalmente no se encuentran anegadas (OMM, 2012). De acuerdo con el Ideam (2017), la inundación involucra la sumersión temporal de terrenos que normalmente se encuentran secos debido a aportes inusuales o repetinos de una cantidad de agua superior a la habitual en la zona determinada.

Importancia de la variable

Permite identificar áreas de gestión del riesgo que potencialmente afectan el sector agropecuario.

Valor de exclusión de la variable

No aplica, por tratarse de un condicionante legal (C1).

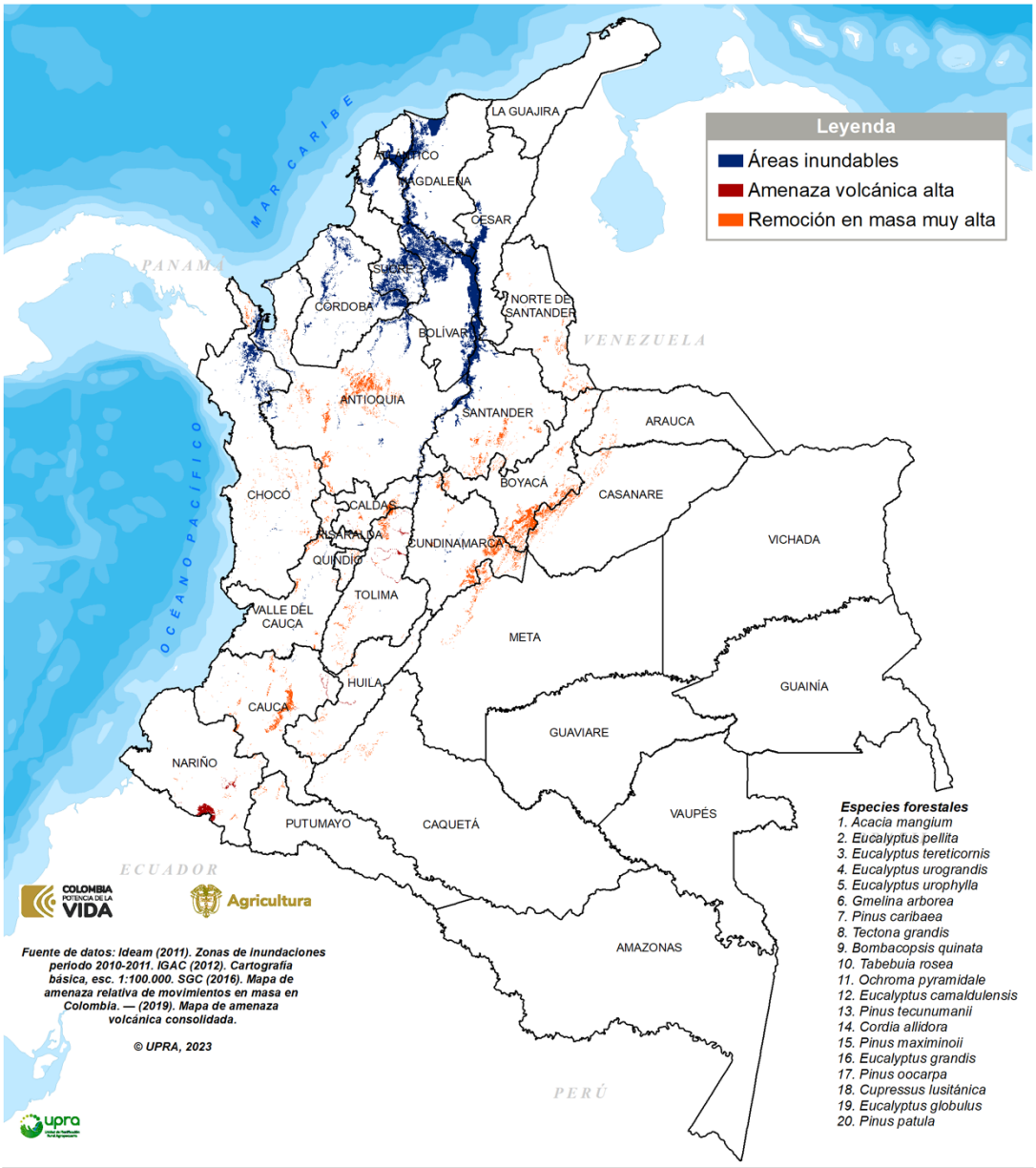
Metodología de procesamiento de la información

De acuerdo con el Decreto 1449 de 2015 (MADR), se debe hacer pública la información de gestión de riesgo en el sector agropecuario, por lo que, para identificar las amenazas por remoción en masa, se considera la información del mapa nacional integrado de amenaza por movimiento en masa a escala 1:100.000 de IGAC. Para identificar las áreas de amenaza volcánica, se tuvo como base la información del mapa nacional integrado de amenaza volcánica, escala 1:100.000 de IGAC. De acuerdo con el Ideam (2017), el mapa de inundaciones se construyó con información de eventos pasados o la extensión potencial de inundación considerando los posibles impactos. El mapa de inundaciones muestra los eventos observados con su respectiva extensión.

Unidad de análisis

Áreas inundables, áreas de amenaza volcánica, áreas de amenaza por remoción en masa.

Representación cartográfica de la variable



CONDICIONANTES LEGALES
Gestión riesgo

Fuentes de información

Congreso de la República de Colombia (2012). *Ley 1523 de 2012, por lo cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el sistema nacional de gestión del riesgo de desastres*. Congreso de la República de Colombia.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2017). *Guía metodológica para la elaboración de mapas de inundación*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2015). *Decreto 1449 de 2015, por el cual se modifica el Decreto 1071 de 2015 en lo relacionado con la reglamentación parcial de la Ley 1731 de 2014*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

Organización Meteorológica Mundial (2012). *Glosario hidrológico internacional No. 385*. Organización Meteorológica Mundial (OMM)

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (2018). *Identificación general de la frontera agrícola en Colombia, escala 1:100.000*. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).