COLOMBIA POTENCIA DE LA VIDA

Agricultura

Cultivo de maíz tradicional

Identificación de zonas aptas en Colombia

Escala 1:100.000



upra
Unidad de Planificación Rural Agropecuaria

Cultivo de maíz tradicional

Identificación de zonas aptas en Colombia

Escala 1:100.000

Agricultura

Gustavo Francisco Petro Urrego
Presidente de la República de Colombia

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR)
Jhenifer Mojica Flórez
Ministra de Agricultura y Desarrollo Rural

Aura María Duarte Rojas
Viceministra de Asuntos Agropecuarios

Martha Viviana Carvajalino Villegas
Viceministra de Desarrollo Rural

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA)
Claudia 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 y Adecuación de Tierras

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

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

upra
Unidad de Planificación Rural Agropecuaria

Cultivo de maíz tradicional

Identificación de zonas aptas en Colombia

Escala 1:100.000

Editores
Claudia Cortés López

Dirección técnica
Alexander Rodríguez Romero
Daniel Alberto Aguilar Corrales

Coordinación técnica
Renato Baldovino Guevara
Ricardo Fabián Siachoque Bernal

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

Compilación y edición
Mario Porfirio Rolón Montoya
Jeimy Paola Jiménez Sánchez
Luis Alberto Rosas Acosta
Edison Javier Gómez Maluchi

Representación cartográfica
Nancy Alarcón
Wilson Cabanzo
Alejandra Castrillón
Jaime Unriza

Coordinación equipo publicaciones
Johana Trujillo Moya

Revisión de texto y estilo
Xavier Humberto Páez Ochoa

Diseño y diagramación
Constanza Rodríguez Ramírez

Fotografía e imágenes
Banco de imágenes UPRA
Andrés Eduardo Paz Duarte

Este documento es propiedad intelectual de la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). Solo 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., Rolón, M., Gómez, J., García, L., Rodríguez, H., Lagos, L., Vergara, J., Velásquez, M., Gómez, K. (2023). *Cultivo de maíz tradicional en Colombia.* UPRA. URL del documento

ISBN: 978-958-5552-84-5

Elaborado: 2022

© UPRA, 2023

Resumen

A continuación, se presenta la memoria técnica de la zonificación de aptitud para el cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional en Colombia a escala 1:100.000. La memoria se desarrolla de acuerdo con la función misional de planificación del uso eficiente del suelo rural y la adecuación de tierras que lleva a cabo la UPRA, cuyo fin consiste en direccionar la inversión del sector agropecuario.

El presente documento contiene cuatro secciones: la primera presenta antecedentes del sector de acuerdo con su importancia a nivel nacional y los antecedentes de zonificación del maíz; 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, los cuales se estudian desde los criterios físico, socioecosistémico y socioeconómico; la tercera expone la metodología de la zonificación, desde la definición del tipo de utilización de la tierra (TUT) hasta la evaluación y la comparación de las matrices multicriterio (biofísica y socioeconómica); la cuarta desarrolla, por una parte, los resultados de la zonificación, representados en el mapa de aptitud para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) tradicional en Colombia a escala 1:100.000; y, por otra, las conclusiones y fuentes de información bibliográfica. Finalmente, a manera de anexo, se dan a conocer las fichas metodológicas para cada uno de los criterios y variables utilizados en la zonificación de aptitud, los cuales describen, entre otros aspectos, la definición y su importancia, los rangos de calificación, los mapas de salida que soportan el proceso metodológico y las fuentes de información.

Se identificaron 21 criterios: 9 físicos, 5 socioecosistémicos y 7 socioeconómicos, así como 60 variables, a partir de los cuales se obtuvo el mapa de aptitud para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) tradicional en Colombia a escala 1:100.000. En el mapa de maíz tradicional se identificó que Colombia tiene 29.719.325 hectáreas aptas para el cultivo, equivalentes al 26,1 % de ocupación del territorio nacional continental y al 75,7 % de la frontera agrícola nacional. De estas áreas, 9.918.399 hectáreas obtuvieron *aptitud alta* (A1); 10.269.847, *aptitud media* (A2); y 9.531.079, *aptitud baja* (A3).

Palabras clave: maíz tradicional, criterios físicos, criterios socioecosistémicos, criterios socioeconómicos, análisis multicriterio, mapa de aptitud, zonificación.



Tabla de contenido

Resumen....6
Índice de tablas....10
Índice de figuras....12
Glosario....14
Lista de abreviaturas....18
Lista de símbolos....20
Intoducción....21

1

Antecedentes....15

1.1. Antecedentes sobre zonificación del sector maicero en Colombia....28

1.2. Contexto sectorial....30
1.2.1. Clasificación taxonómica y morfología....31
1.2.2. Variedades del maíz en Colombia....32
1.2.3. Requerimientos ambientales del cultivo del maíz....34
1.2.4. Aspectos fitosanitarios....34

1.3. Contexto mundial....37

1.4. Contexto nacional....40

1.5. Alcances y limitaciones....48

2

Marco conceptual....50

3

Marco metodológico....56

3.1. Definición del tipo de utilización de la tierra (TUT)....62

3.2. Criterios de análisis jerárquico....63
3.2.1. Criterios físicos....64
3.2.2. Criterios socioecosistémicos....72
3.2.3. Criterios socioeconómicos....77

3.3. Rangos de aptitud y exclusiones técnicas 85
3.3.1. Criterios y variables del componente físico 85
3.3.2. Criterios y variables del componente socioecosistémico 89
3.3.3. Criterios y variables del componente socioeconómico 93

3.4. Exclusiones legales y condicionantes legales 97

3.5. Análisis multicriterio 110
3.5.1. Proceso analítico jerárquico 110
3.5.2. Matriz del proceso analítico jerárquico 112

3.6. Análisis espacial y modelo cartográfico 117

3.7. Proceso de socialización y validación de los mapas 119

4

Resultados 124

5

Conclusiones 134

6

Bibliografía 138

7

Anexo: fichas metodológicas 150

Índice de tablas

Tabla 1. Principales plagas y enfermedades del maíz 34

Tabla 2. Producción de maíz en los principales países en millones de toneladas 38

Tabla 3. Consumo de maíz en los principales países en millones de toneladas, periodo 2016-2020 39

Tabla 4. Exportaciones de maíz de los principales países en millones de toneladas, periodo 2016-2020 40

Tabla 5. Principales países importadores de maíz en millones de toneladas, periodo 2016-2020 40

Tabla 6. Área sembrada, producción y rendimiento del maíz tradicional por semestre, periodo 2016-2021 41

Tabla 7. Indicadores de producción nacional para el maíz tradicional, periodo 2016-2021 42

Tabla 8. Área sembrada de maíz tradicional por departamento, periodo 2016-2021 43

Tabla 9. Producción de maíz amarillo tradicional en toneladas por departamento, periodo 2016-2021 44

Tabla 10. Rendimiento promedio de maíz tradicional por departamento, periodo 2016-2021 45

Tabla 11. Consumo nacional de maíz en toneladas, periodo 2016-2021 45

Tabla 12. Consumo nacional per cápita de maíz blanco y amarillo, periodo 2016-2021 47

Tabla 13. Importaciones en toneladas de mercados proveedores de maíz, periodo 2016-2021 47

Tabla 14. Variables del subcomponente climático 65

Tabla 15. Criterios y variables del subcomponente edáfico 66

Tabla 16. Variable del subcomponente fitosanitario del cultivo del maíz 71

Tabla 17. Criterios y variables del componente socioecosistémico....74

Tabla 18. Criterios y variables del componente socioeconómico....80

Tabla 19. Categorías para la zonificación de aptitud de cultivos....85

Tabla 20. Rangos de aptitud definidos desde el componente físico....86

Tabla 21. Rangos de aptitud definidos desde el componente socioecosistémico para el cultivo del maíz tradicional....90

Tabla 22. Rangos de aptitud definidos desde el componente socioeconómico para el cultivo del maíz tradicional....93

Tabla 23. Exclusiones legales....99

Tabla 24. Condicionantes legales....104

Tabla 25. Escala de importancia dentro del proceso analítico jerárquico....111

Tabla 26. Esquema de la matriz de comparación a nivel de criterio....112

Tabla 27. Matriz de evaluación multicriterio para la zonificación de aptitud del cultivo del maíz tradicional para los componentes físico y socioecosistémico....113

Tabla 28. Matriz de evaluación multicriterio para la zonificación de aptitud del cultivo del maíz tradicional para el componente socioeconómico....115

Tabla 29. Matriz de paso para el cruce de componentes para la zonificación de aptitud del cultivo del maíz tradicional....116

Tabla 30. Áreas para el desarrollo del cultivo del maíz tradicional en Colombia según categorías de aptitud....126

Tabla 31. Áreas aptas por departamento para el cultivo del maíz tradicional en Colombia a escala 1:100.000....128

Tabla 32. Principales municipios con aptitud alta (A1) para el cultivo del maíz tradicional en Colombia....130

Tabla 33. Principales municipios con aptitud media (A2) para el cultivo del maíz tradicional en Colombia....131

Tabla 34. Principales municipios con aptitud baja (A3) para el cultivo del maíz tradicional en Colombia....132

Índice de figuras

Figura 1. Morfología de la planta del maíz 32

Figura 2. Producción mundial de maíz, año 2020 37

Figura 3. Producción nacional de maíz tradicional en toneladas, periodo 2010-2021 41

Figura 4. Participación porcentual de las importaciones de maíz por país de origen, periodo 2016-2021 48

Figura 5. Marco conceptual para la zonificación de aptitud de cadenas productivas 53

Figura 6. Tipos de criterios usados en la zonificación de aptitud de cultivos 60

Figura 7. Esquema metodológico de la zonificación de aptitud de cultivos 60

Figura 8. Criterios y variables del componente físico 64

Figura 9. Relación entre los atributos y los criterios de estructura, función y dinámica para la interpretación socioecosistémica 73

Figura 10. Criterios y variables del componente socioecosistémico 74

Figura 11. Criterios y variables del componente socioeconómico 79

Figura 12. Mapa de exclusiones legales 98

Figura 13. Mapa de condicionantes legales 103

Figura 14. Proceso de análisis de información espacial para la obtención del mapa de zonificación de aptitud 118

Figura 15. Modelo cartográfico integral 120

Figura 16. Estrategia de socialización y validación de la zonificación de aptitud 122

Figura 17. Cultivo del maíz tradicional en Pitalito (Huila) 122

Figura 18. Preparación del terreno en Buesaco (Nariño) para el cultivo del maíz tradicional 122

Figura 19. Cultivo del maíz tradicional en Timbío (Cauca) 123

Figura 20. Cultivo del maíz tradicional en Dibulla (La Guajira) 123

Figura 21. Mapa de zonificación de aptitud para el cultivo del maíz tradicional en Colombia a escala 1:100.000 127

Figura 22. Clasificación de aptitud por departamento para el cultivo del maíz tradicional en Colombia: principales departamentos con aptitud alta (A1) 130

Figura 23. Principales municipios con aptitud alta (A1) para el cultivo del maíz tradicional en Colombia 131

Figura 24. Municipios con mayor aptitud media (A2) para el cultivo del maíz tradicional en Colombia 132

Figura 25. Municipios con aptitud baja (A3) para el cultivo del maíz tradicional en Colombia 133

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*.

Aptitud de la tierra: es el potencial para establecer un tipo de utilización de la tierra, resultado del análisis de combinaciones de criterios físicos, socioecosistémicos y socioeconómicos, enmarcados en una frontera agrícola (Massiris, 2017).

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).

Competitividad: es el determinante fundamental del modelo de crecimiento y desarrollo sectorial. Se asocia al uso eficiente de los factores de producción; a la consolidación de los altos niveles de innovación en los sistemas productivos; a la diversificación y ampliación de los mercados; a la articulación de los mercados regionales; y a la población rural, no sólo para desarrollar el potencial productivo, sino también para elevar la calidad de vida (Porter, 1990, como se citó en Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA], 2014).

Componente: composición de elementos que se agrupan para dar significancia parcial a la aptitud. En la evaluación de tierras, esos elementos están tipificados como componentes físicos, socioecosistémicos y socioeconómicos (Massiris, 2017).

Condicionante legal: se relaciona con las áreas donde las actividades agropecuarias pueden ser permitidas, restringidas o prohibidas de acuerdo con las condiciones impuestas por la ley (Resolución 0261 de 2018, MADR).

Criterio: conjunto de requisitos, parámetros o variables que definen las decisiones de aptitud de uso específico de un territorio rural (Massiris, 2017).

Cultivar: nombre genérico que se utiliza para referirse indistintamente a variedades, líneas, híbridos y clones que se estén utilizando como materiales comerciales para la siembra.

Cultivo transitorio: nombre que reciben los cultivos cuyo ciclo vegetativo es menor a un año. También se definen como los cultivos que, una vez cosechados, deben volverse a sembrar para obtener una nueva cosecha.

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, como se citaron en UPRA, 2014).

Evaluación de tierras: proceso de determinación y predicción del comportamiento de una porción de tierra usada para fines específicos que abarca aspectos físicos, económicos y sociales. La evaluación de tierras considera las condiciones económicas del uso propuesto, las consecuencias sociales tanto para la gente del área como del país y las repercusiones, ya sean benéficas, ya adversas, para el medio ambiente (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 1976).

Evaluación multicriterio: método diseñado para cubrir un objetivo específico cuando se requiere la evaluación de determinados criterios. Un criterio es la base para una decisión, que puede medirse o evaluarse. Existen en este contexto dos tipos de criterio: *factor*, para el cual se definen los niveles de aptitud; y *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 estas alternativas (Eastman, Weigen, Kyem, & Toledano, 1995).

Exclusión legal: es una zona en la cual, por mandato legal, no se permite el desarrollo de proyectos productivos del sector agropecuario.

Fitomejoramiento: se conoce como el arte de alterar o modificar la herencia de las plantas para obtener *cultivares* (variedades o híbridos) superiores.

Federación Nacional de Cultivadores de Cereales, Leguminosas y Soya (Fenalce): es una entidad gremial del sector agropecuario, de derecho privado, sin ánimo de lucro, entendida como la máxima representante de los cultivadores de cereales y leguminosas de grano en Colombia.

Frontera agrícola nacional: se define así, según la Resolución 261 del 2018, al límite del suelo rural que separa las áreas donde se desarrollan las actividades agropecuarias, las áreas condicionadas, las áreas protegidas, las de especial importancia ecológica y las demás áreas cuyas actividades agropecuarias están excluidas por mandato de la ley (MADR, 2018).

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

Híbrido: individuo obtenido mediante el cruzamiento de dos especies diferentes (*híbridos interespecíficos*) o dos géneros diferentes (*híbridos intergenéricos*).

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

Maíz baby: anglicismo que se refiere a una variedad de maíz para ser consumido en fresco.

Maíz ceroso: es un tipo de maíz que se caracteriza por presentar una textura cerosa y opaca de sus granos; cuenta con gran humedad, por lo que es utilizado como alimento en muchas regiones. Además, tiene una cualidad que lo diferencia de los otros tipos de maíz: su composición no es almidón, sino amilopectina, un polisacárido de fácil digestión que resulta de gran utilidad para aumentar el rendimiento de deportistas, pues el organismo lo puede absorber rápidamente.

Maíz de corteza dura: este tipo de maíz se caracteriza por tener unos granos redondos y duros, como su nombre lo indica, y cuyo almidón es parte de la composición principal. Una de sus principales ventajas es que es altamente resistente a plagas y enfermedades, lo que ha hecho que sea el más utilizado para la alimentación humana y de ciertos animales. Este maíz también se utiliza para crear productos derivados, como la fécula de maíz, más popularmente conocida como *maicena*.

Maíz dentado: el grano de esta variedad de maíz se encuentra compuesto principalmente de almidón blando; en las partes extremas se encuentra, de forma parcial, almidón duro. Este maíz tiene un proceso de secado cuyos granos toman la forma de un diente, de ahí su nombre. A pesar de ser uno de los tipos de maíz más cultivados, es uno de los que más demoran en su proceso de secado para ser cosechado, además de ser susceptible a padecer enfermedades. El uso más común de este maíz es como alimento para humanos y animales.

Maíz dulce: es un tipo de maíz que se distingue por sus granos blandos, debido a que aún conservan cierto grado de humedad; además, contiene un alto grado de azúcares, lo que proporciona un sabor dulce.

Maíz de harina: el contenido en almidones de esta variedad lo hace muy blando e idóneo para la molienda y elaboración de harinas. Del maíz harinoso se destacan sus granos, pues son los más blandos de entre todos los tipos de maíz; además, se pueden encontrar en una amplia variedad de colores. Se utiliza, principalmente, para la alimentación humana, en su mayoría, bebidas.

Maíz reventón: es un tipo de maíz con granos regulares, propicios para elaborar las llamadas *palomitas de maíz* —también: *maíz pira, crispetas, pochoclo, cotufa o cabritas*—, que se someten a cocción en seco.

Maíz tradicional: sistema propio del cultivo de economía campesina, de pequeños agricultores, del uso de variedades criollas y, en general, de baja tecnología (Quintero, 1998).

Maíces nativos o criollos: son los *cultivares* que se dan en cada localidad o que han sido domesticadas regionalmente y que se obtuvieron de manipular plantas silvestres.

Organismo genéticamente modificado (OGM): es un organismo cuyo material genético ha sido artificialmente modificado para dotarlo de alguna nueva propiedad.

Semilla certificada: semilla que proviene de una básica o registrada. Es sometida al proceso de certificación y debe cumplir con los requisitos para ser incluida en esta categoría.

Tipo de utilización de la tierra (TUT): se refiere al uso específico cuyo nivel de detalle es apropiado según la escala de evaluación de tierras en función de la producción, el contexto social y económico, las principales características físicas, agronómicas y productivas, los costos y los ingresos generados por la actividad de producción (UPRA y Universidad Nacional de Colombia, 2013).

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

Uso eficiente del suelo rural: se ocupa de la armonización espacial o temporal de todos los usos del suelo en un área determinada. Además, garantiza el bienestar humano para alcanzar la sostenibilidad económica, social y ambiental del territorio (UPRA y Universidad Nacional de Colombia, 2013). En este sentido, la eficiencia se determina tanto por la sostenibilidad integral como por la competitividad de los sistemas productivos (UPRA, 2014).

Variable: 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 legal, social, cultural o ambiental para el desarrollo del cultivo por establecer (FAO, 1976; UPRA, 2014).

Zonificación: proceso que identifica y delimita las áreas con potencial para el establecimiento y desarrollo de una actividad agropecuaria determinada bajo un marco legal, normativo y técnico que las define y diferencia de otros usos posibles. Es una herramienta técnica para el desarrollo de iniciativas de inversión que permite orientar la formulación de políticas y la destinación de recursos públicos y privados del sector (Massiris, 2017).

Lista de abreviaturas

AC: Áreas críticas para especies migratorias en agroecosistemas

ACES: Área de concentración de especies sensibles en el territorio

Agrosavia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

AHP: Proceso analítico jerárquico (Analytic Hierarchy Process)

AICA: Áreas de importancia para la conservación de aves

APC: Áreas prioritarias de conservación

CECN: Conectividad estructural de las coberturas naturales

CIAT: Centro Internacional de Agricultura Tropical

CIC: Capacidad de intercambio catiónico

CIMMYT: Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo

Corpoica: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia, a partir de noviembre de 2018)

DANE: Departamento Administrativo Nacional de Estadística

DHR: Disponibilidad hídrica real

DMI: Distrito de manejo integrado

DNP: Departamento Nacional de Planeación

ETP: Evapotranspiración potencial

ETR: Evapotranspiración real

FAG: Fondo Agropecuario de Garantías

FAO: Food and Agriculture Organization (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación)

Fenalce: Federación Nacional de Cultivadores de Cereales, Leguminosas y Soya

Finagro: Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario

FOB: *Free on board* (libre a bordo).

IAvH: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt

ICA: Instituto Colombiano Agropecuario

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

IPM: Índice de pobreza multidimensional

ISRIC: International Soil Reference and Information Centre

IUA: Índice de uso del 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

Mintransporte: Ministerio de Transporte

m s. n. m.: Metros sobre el nivel del mar

PET: Población en edad de trabajar

pH: Potencial de hidrógeno (medida de acidez o alcalinidad)

PIB: Producto interno bruto

PNN: Parques Nacionales Naturales de Colombia

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: Shuttle Radar Topography Mission (Misión Topográfica Shuttle Radar)

TUT: Tipo de utilización de la tierra

Unesco: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura)

UPRA: Unidad de Planificación Rural Agropecuaria

USDA: United States Department of Agriculture (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos)

Zidres: Zonas de interés de desarrollo rural económico y social

ZOMAC: Zonas más afectadas por el conflicto armado

Lista de símbolos

>	mayor que
<	menor que
≥	mayor o igual que
≤	menor o igual que
°C	grado Celsius
bar	unidad de presión
cm	centímetro
cmol	centimol (10^{-2} mol)
dS	decisiemens (10^{-1} S)
h	hora
ha	hectárea
kg	kilogramo
km	kilómetro
km^2	kilómetro cuadrado
kPa	kilopascal (10^3 Pa)
ln	logaritmo natural
m	metro
me	miliequivalentes
m^3	metro cúbico
m^2	metro cuadrado
mm	milímetro
Mm^3	millones de metros cúbicos
mol	cantidad de sustancia
Pa	pascal (unidad de presión)
ppm	partes por millón
S	siemens (medida de conductancia eléctrica)
t	toneladas métricas

Introducción

En cumplimiento de la Ley 1955 de 2019, la UPRA ejerce las funciones del Decreto 4145 de 2011, que crea la unidad, respecto al uso eficiente del suelo, la adecuación de tierras, el ordenamiento social de la propiedad, el mercado de tierras y el seguimiento/evaluación sobre la materia señalada anteriormente. De igual forma, 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 formularon y registraron 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*. Este proyecto tiene como objetivo principal «Fortalecer la orientación de la política de planificación y la gestión del territorio para usos agropecuarios».

La UPRA fue creada por el Decreto 4145 de 2011 como una unidad administrativa especial de carácter técnico y especializado, sin personería jurídica, adscrita al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, con autonomía presupuestal, administrativa, financiera y técnica. De acuerdo con lo señalado en el artículo 5 del decreto, se establecen para la UPRA, entre otras, las siguientes funciones: planificar el uso eficiente del suelo; definir los criterios y crear los instrumentos requeridos para el efecto, previendo el 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, lo cual debe fundamentar la definición de políticas que sean consideradas por las entidades territoriales en los planes de ordenamiento territorial.

Considerando que al proyecto formulado se le asignaron recursos de inversión para la vigencia 2020 del presupuesto general de la nación (PGN), éste se enmarca en los programas del nuevo catálogo de cuentas del Ministerio de Hacienda y Crédito Público-Departamento Nacional de Planeación (DNP) y en la alineación del presupuesto del programa *1704-Ordenamiento social y uso productivo del territorio rural*, cuyos resultados se orientan a las intervenciones para mejorar el acceso, uso y aprovechamiento adecuado de las tierras rurales.

El programa constituye la planificación del ordenamiento productivo para el uso eficiente del suelo rural, el ordenamiento social de la propiedad rural y el desarrollo/aplicación de lineamientos para la regulación del mercado de tierras. En este sentido, la Dirección de Uso Eficiente del Suelo y Adecuación de Tierras (DUESAT) de la UPRA propuso desarrollar estudios para generar instrumentos técnicos con el fin de definir políticas públicas a cargo tanto del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) como de sus entidades adscritas.

En Colombia, el análisis de las problemáticas de las zonas rurales y la definición de alternativas de manejo espacial ha sido limitado, dado que se ha centrado en los aspectos climáticos y edáficos. Sin embargo, ha dejado subordinados —e incluso, olvidados— los procesos socioecosistémicos, sociales, culturales y políticos, fundamentales en la planificación integral del territorio y de políticas más acordes con el medio geográfico.

De acuerdo con lo anterior, la UPRA decidió proponer zonificaciones para los sectores agrícola, pecuario, forestal, acuícola y pesquero, los cuales se abordan desde un enfoque interdisciplinario. Para ello, se parte del principio según el cual la zonificación, como instrumento de planificación para las áreas rurales, facilita la identificación de áreas geográficas con la combinación de características físicas, biológicas, humanas e institucionales aptas para un uso determinado, que pueden ser interpretadas según los objetivos para la gestión. La aplicación de este instrumento

debe estar respaldada por información adecuada para analizar los procesos físicos, socioecológicos y socioeconómicos que describen tanto la heterogeneidad como la particularidad de cada área geográfica (Ortiz-Lozano, Granados-Barba, & Espejel, 2009).

Desde el año 2013, la UPRA ha venido realizando adaptaciones a la metodología de evaluación de tierras de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), por lo que la 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 y Universidad Nacional de Colombia, 2013). Para ello, se basó en el enfoque de la FAO en lo relativo a la manera de aplicar e incorporar los factores socioeconómicos —sobre la competitividad de las áreas—, políticos y de gobernabilidad, metodología fundamentada en el análisis multicriterio. Este análisis, cuyos criterios y variables de los componentes tanto físicos como socioecosistémicos pertenecen a una matriz (biofísica), mientras que los socioeconómicos a otra, son ponderados de acuerdo con las características de una cadena productiva, con lo cual se consolida al final una matriz de paso entre los dos mapas intermedios para obtener resultados de zonas aptas para un determinado uso.

En el marco de esta dinámica, la UPRA adelanta estudios de referencia para la actividad misional de la unidad o como medio para la validación de las metodologías, lineamientos y criterios propuestos en las demás actividades. Desde el año 2014, la UPRA ha realizado ejercicios de zonificación de cultivos que ya suman más de 36 cadenas productivas, entre las cuales se destacan las agrícolas, a saber: cacao, palma de aceite, papa, maíz tecnificado de clima cálido, arroz secano mecanizado, aguacate hass, mango, papaya, fresa, piña, cebolla de bulbo, ají tabasco, pimentón, algodón, banano de exportación y caña panelera. Por su parte, la zonificación forestal agrupa las 33 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.

Las zonificaciones pecuarias en la UPRA iniciaron con la zonificación de aptitud para la avicultura en el año 2016; seguida del mapa de zonificación de aptitud para el sector porcícola a nivel nacional en el año 2018; y las zonificaciones de aptitud para la producción de carne y leche bovina en pastoreo. Igualmente, se logró la identificación de zonas potenciales para el establecimiento de ocho grupos de gramíneas para el pastoreo. Para el año 2020, se inició con la definición de zonas aptas para la producción de búfalos y de ovinos en Colombia.

En cuanto a la presente zonificación de aptitud, se destacan los siguientes objetivos específicos: a) plantear los lineamientos técnicos y metodológicos para la zonificación de aptitud del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) tradicional en Colombia a escala 1:100.000 mediante la disposición de criterios y variables que inciden en la delimitación de áreas con aptitud; b) definir los procesos de integración de los criterios para la zonificación y la estandarización de la información geográfica disponible en las bases de datos asociadas; y elaborar, con base en la metodología propuesta, los mapas semestrales de zonas aptas para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) tradicional a escala 1:100.000 en Colombia.

El documento técnico en descripción se divide en cuatro partes: en la primera se desarrolla un contexto general del tema, que incluye la importancia económica del subsector maicero mundial y nacional; en la segunda se describen los fundamentos conceptuales sobre los cuales se basa la zonificación de aptitud; en la tercera se plantea la metodología empleada, que incluye los criterios usados en los tres componentes, la evaluación y la ponderación para obtener el mapa de zonificación de aptitud y las técnicas de análisis utilizadas; en la cuarta se presentan los resultados obtenidos en la identificación de las áreas aptas para el cultivo de maíz tradicional, las respectivas conclusiones y las referencias bibliográficas de consulta.



Al final, se incluye el anexo que contiene las fichas metodológicas de los criterios y las variables considerados en la zonificación. En el documento se indica la definición e importancia de cada criterio y de cada variable; se exponen los limitantes de la evaluación, la metodología empleada, los rangos para la asignación de valores de aptitud y la representación cartográfica; y se citan las fuentes de información utilizadas.





1 Antecedentes



1.1. Antecedentes sobre zonificación del sector maicero en Colombia

1.2. Contexto sectorial

1.3. Contexto mundial

1.4. Contexto nacional

1.5. Alcances y limitaciones

Desde el año 2014, la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA) ha efectuado diversas zonificaciones de aptitud a escala 1:100.000 para todo el territorio colombiano. Entre ellas, cabe resaltar las siguientes: plantaciones forestales comerciales, caucho, cacao, palma de aceite, papa genérica, maíz tecnificado de clima cálido, arroz secano mecanizado, aguacate hass, mango, papaya tainung, fresa, piña MD-2, cebolla de bulbo, ají tabasco, pimentón, algodón, caña de azúcar para la producción de panela, banano de exportación y papa de la variedad diacol capiro para uso industrial. Actualmente, se viene adelantando la revisión de los mapas de aptitud para los cultivos comerciales de la soya y la granadilla.

En cuanto al sector pecuario, se desarrollaron las zonificaciones de aptitud para avicultura en granjas, porcicultura tecnificada, ganadería bovina vacuna, tanto de leche como de carne en pastoreo, ganadería ovina y ganadería caprina; actualmente, está en proceso la publicación sobre ganadería bufalina. De igual forma, se vienen actualizando las zonificaciones de aptitud de especies acuícolas y pesqueras para los cultivos comerciales en estanques en tierra de tilapia, cachama, trucha, camarón blanco, pirarucú, pesca marina artesanal de camarón, bocachico del Magdalena y tres especies ícticas nativas de Colombia: yamú, bocachico y bagre rayado.

Así pues, el mapa de zonificación del cultivo de maíz tradicional en Colombia a escala 1:100.000 contribuye a cumplir con los objetivos y funciones de la UPRA, pues no sólo fortalece el desarrollo de políticas del sector al priorizar los eventuales núcleos productivos, sino que también brinda orientación sobre inversiones a escala nacional o regional. En pocas palabras: la zonificación es parte del proceso de planificación agrícola, por lo que se constituye como una herramienta indicativa para la toma de decisiones.

1.1 Antecedentes sobre zonificación del sector maicero en Colombia

En el norte del departamento del Cauca, en pisos térmicos que oscilan entre los de tipo cálido, frío y muy frío, se analizaron diversos tipos de utilización de la tierra (TUT), entre los que se destacan el cultivo del maíz. Este proceso se llevó a cabo a partir de la evaluación de cualidades de la tierra, como el clima, la disponibilidad de oxígeno, las condiciones de enraizamiento, la humedad

disponible, la disponibilidad de nutrientes y la posibilidad de laboreo. En cuanto a la clase de aptitud biofísica, se determinaron *zonas aptas sin restricción* (S1), *zonas moderadamente aptas* (S2), *zonas parcialmente aptas* (Sn), *zonas no aptas desde lo biofísico* (N) y otras que incluyen bosques, páramos, parques nacionales naturales y reservas forestales según la Ley 2 de1959 (UPRA y Universidad Nacional de Colombia, 2013).

Un estudio, relacionado con la zonificación para el maíz en el país, analizó la caracterización agroclimática de los departamentos del Huila y del Tolima, y las amenazas en la zona maicera (Gómez, 2015). Se trata de una revisión bibliográfica de los estudios realizados en Huila y Tolima enfocados en el manejo agrícola, visitas de campo a la zona y una recopilación de información meteorológica, para lo cual el autor examinó las variables climatológicas y heladas de las estaciones existentes.

Para el año 2018, la UPRA realizó la zonificación del cultivo comercial de maíz tecnificado de clima cálido a escala 1:100.000, en la cual se analizaron los aspectos del cultivo en los componentes físico, socioecosistémico y socioeconómico, con sus respectivos criterios (22) y variables (61). De tal modo, se obtuvieron los mapas de aptitud para los dos semestres agrícolas del año (UPRA y Federación Nacional de Cultivadores de Cereales, Leguminosas y Soya [Fenalce], 2018).

Los resultados del primer semestre agrícola mostraron que Colombia dispone de 16.046.413 hectáreas aptas para el cultivo de maíz tecnificado de clima cálido, de las cuales 7.759.745 correspondieron a *aptitud alta* (A1); 4.706.933, a *aptitud media* (A2); y 3.579.735, a *aptitud baja* (A3). En cuanto al segundo semestre agrícola, se encontró que el país dispuso de 16.034.205 hectáreas aptas para el cultivo de maíz tecnificado de clima cálido, de las cuales 8.211.897 correspondieron a *aptitud alta* (A1); 4.931.635, a *aptitud media* (A2); y 2.890.673, a *aptitud baja* (A3). Esto permite afirmar que el potencial de este cultivo se acerca al 41 % de la frontera agrícola nacional (UPRA y Fenalce, 2018).

1.2 Contexto sectorial

El maíz se siembra en 135 países, lo que lo convierte en el cultivo más importante del mundo, por encima del trigo y del arroz. La diversidad de los ambientes bajo los cuales se desarrolla el maíz supera a cualquier otro cultivo. Aunque su origen y evolución se suele hallar en las zonas tropicales y subtropicales, también se cultiva entre los 58° de latitud norte en Canadá y Rusia, y los 40° de latitud sur en Argentina y Chile (Fenalce, 2010). Se estima que, durante el período 2009-2010, se produjeron en el mundo 795,9 millones de toneladas de maíz, de las cuales el 90 % correspondió a maíz amarillo y el 10 %, a maíz blanco. El maíz ocupa el segundo lugar en área de siembra en el mundo, con alrededor de 140 millones de hectáreas; mientras que el comercio internacional supera 90 millones de toneladas al año (Fenalce, 2010).

De acuerdo con el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y el Centro International de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), en Colombia «el maíz es el tercer cultivo con mayor superficie de siembra después del café y el arroz. A pesar de ello, es el país con mayor volumen de importaciones en Suramérica y el séptimo en el mundo» (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2019, como se citó en Centro Internacional de Agricultura Tropical [CIAT] y Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo [CIMMYT], 2019).

De acuerdo con la FAO (2019, como se citó en CIAT y CIMMYT), el consumo de maíz se destaca en Colombia por su aporte, cercano al 9 % del suministro energético, producto de diversas preparaciones, entre ellas, las arepas y la mazamorra. Sin embargo, el incremento en la demanda de este cereal responde al alto consumo de alimentos balanceados para animales.

El cultivo del maíz se efectúa en la mayor parte del territorio nacional, principalmente, como monocultivo, y en menor proporción en asocio con el fríjol, el ñame y la arveja; en relevo, con el fríjol y la papa; e intercalado, con la yuca, la caña, el café y otros cultivos perennes en la etapa de instalación. Entre las formas de cultivo que existen en Colombia, se consideran dos grandes sistemas de producción: *el tecnificado y el tradicional*.

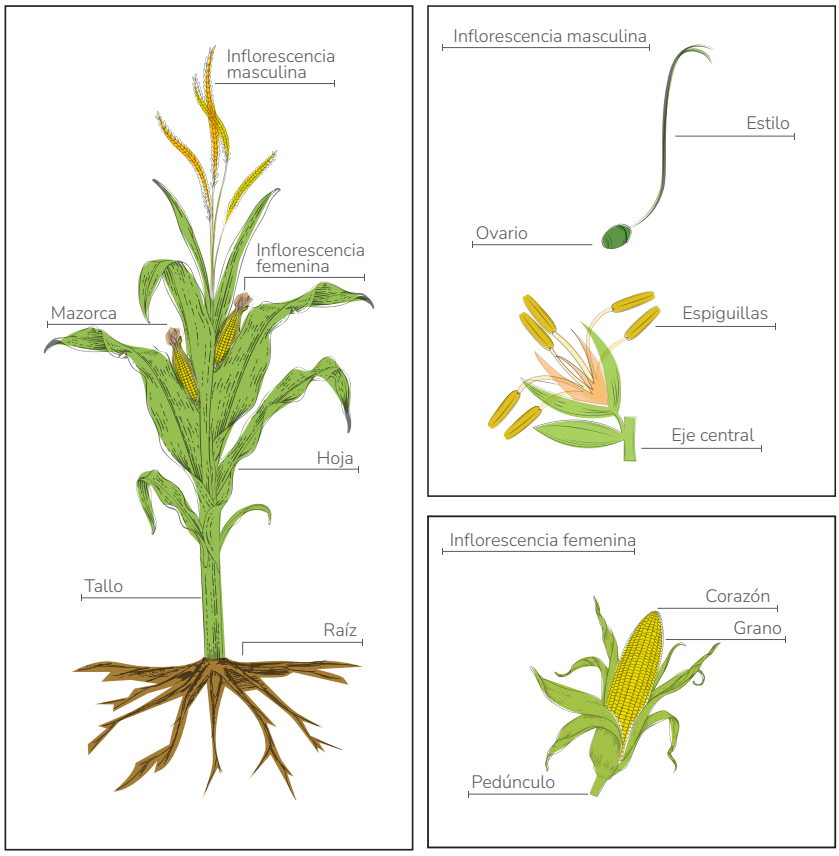
El sistema tecnificado se suele localizar en zonas con buena oferta ambiental. Así mismo, hace uso de la mecanización, de semillas certificadas y mejoradas, de fertilizantes y de plaguicidas; tiene acceso a créditos, cuenta con asistencia técnica y aplica paquetes tecnológicos, lo que le permite obtener altos rendimientos, que fluctúan entre 4,5 y 11 toneladas por hectárea. En varias zonas del Valle del Cauca, Córdoba, Meta, Huila, Tolima y la zona cafetera, los rendimientos superan con frecuencia las 7 toneladas por hectárea.

En el sistema tradicional, predomina la economía campesina en predios menores a cinco hectáreas. La mano de obra es familiar; se siembra con capital propio y con un limitado uso de créditos extrabancarios, aunque el crédito en especie mediante suministro de insumos pagados con la cosecha es frecuente. El cultivo se basa en variedades criollas, baja utilización de híbridos y uso de semillas de baja calidad. La mecanización y el uso de agroquímicos es muy baja; mientras que la preparación del suelo se limita al uso de bueyes y al azadón, así como la siembra *a chuzo*. Habitualmente, se siembra para rotaciones con otros cultivos, en suelos pobres, lo que genera bajos rendimientos (Quintero, 1998, como se citó en Salgar, 2004).

1.2.1 Clasificación taxonómica y morfología.

De acuerdo con NaturalistaCo (2023), el maíz es una planta que pertenece a la familia *Poaceae*, género *Zea*, especie *Zea mays* L. Su pariente más cercano es el maíz silvestre o *teocintle* (Xochicentli, 2020). El maíz es una planta completamente domesticada, por lo que no crece de manera silvestre (Fenalce, 2010). Paliwal (2001) la describe como una planta alta, con abundantes hojas y un sistema radical fibroso; normalmente, con un sólo tallo que tiene hasta treinta hojas. El maíz es una planta hermafrodita: produce flores masculinas y femeninas separadas en la misma planta. Las yemas axilares de las hojas se transforman en una inflorescencia femenina que origina una mazorca, la cual está envuelta por hojas. La flor masculina o ***panoja*** se ubica en la parte terminal de la planta (ver Figura 1).

Figura 1. Morfología de la planta de maíz



Fuente: Elaboración propia.

1.2.2. Variedades del maíz en Colombia.

Los primeros maíces colombianos corresponden a *cultivares* pertenecientes a las razas cultivadas por los indígenas, como es el caso del *kamuchasain* en La Guajira; el *común* en el occidente del país; el *montaña* en la región fría moderada de Antioquia; el *cacao* en Santander y el *cacao sabanero* en el altiplano cundiboyacense, en Tolima, en Huila y otras regiones. Los primeros trabajos de investigación de fitomejoramiento del maíz en Colombia surgieron en el año 1934 en La Granja de Palmira. Las primeras variedades e híbridos obtenidos en Colombia fueron conocidos como *rocol*, que luego fueron nombrados como *diacol*. Posteriormente, se produjo la variedad ETO, en reconocimiento a la Estación Experimental Tulio Ospina.

A inicios de la década de 1960, se produjo el diacol H 104 e ICA H 154 para Córdoba; el ICA H 207 para el Valle del Cauca; y el ICA V

552 para el altiplano cundiboyacense. Tiempo después, se entregaron el ICA V 503, el ICA V 553, el ICA V 106 y el ICA H 302. En el año 1969, se comercializaron los primeros maíces de alto valor nutritivo, con el gen *opaco-2*, a saber: ICA H 208 e ICA H 255. En 1971 se comercializó por primera vez un híbrido sencillo, de dos líneas: el ICA HS 209 (Fenalce, 2010).

Durante los años 1973 y 1983, el ICA entregó los híbridos ICA H 211 e ICA H 260. A comienzos de los 80, Fenalce y el ICA entregaron las variedades ICA V 109 e ICA V 156 para el Caribe húmedo; así como ICA V 214 e ICA V 261 para siembras intercaladas y de diversificación en la zona cafetera. En el 2002, se entregaron el ICA V 354 y el ICA V 305 para la zona cafetera. Después de esto, Fenalce, en colaboración con el CIMMYT y la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC), obtuvo ocho híbridos para los climas medios y cálidos del país. En la actualidad, se cuenta con materiales extranjeros, introducidos por empresas dirigidas a la siembras tecnificadas.



1.2.3. Requerimientos ambientales del cultivo del maíz.

Debido a la gran variabilidad genética del maíz, existe una muy amplia adaptación de la especie a diversas condiciones ambientales. Sin embargo, la planta no tolera temperaturas muy bajas, como las de las heladas, las cuales provocan daño en el desarrollo cuando sucede en etapa reproductiva; ni temperaturas muy altas, que pueden afectar la viabilidad del polen por deshidratación. Además, el cultivo del maíz requiere de buena humedad y distribución de la lluvia a lo largo del periodo de crecimiento. La deficiencia de agua o los excesos generan alteraciones en el crecimiento y desarrollo de la planta. El maíz exige suelos que oscilan entre profundos y moderadamente profundos; de texturas francas; con pH moderadamente ácidos; bien drenados; con buenos contenidos de materia orgánica; estructuras friables y buena fertilidad. No soporta encharcamientos, inundaciones prolongadas ni suelos salinos o muy ácidos (Deras, 2020).

1.2.4. Aspectos fitosanitarios.

A continuación, en la Tabla 1, se describen las principales enfermedades y plagas del cultivo de maíz en Colombia, de acuerdo con los reportes de Varón y Sarria (2007), Sarria, Vanegas y Narro (2005) y Granados (2001).

Tabla 1. Principales plagas y enfermedades del maíz

Nombre común	Agente causal	Daño
Enfermedades		
Complejo mancha de asfalto o mancha de alquitrán	*Phyllachora maydis* (Maublanc) *Monographella maydis* (Muller & Samuels) *Coniothyrium phyllachorae* (Maublanc)	Se observan en las hojas pequeños círculos negros, brillantes, ligeramente elevados y de apariencia aceitosa, cuya presencia avanza desde las hojas bajeras hasta las hojas superiores. Las manchas se expanden y se juntan hasta formar grandes áreas secas de apariencia pajiza y necrótica, que provocan el marchitamiento de la planta, el deficiente llenado de la mazorca y la formación de granos flácidos y deshidratados.

Nombre común	Agente causal	Daño
Enfermedades		
Complejo mancha gris	*Cercospora zeae maydis* (Tehon & Daniels) *Cercospora sorghi maydis* (Ellis & Everh)	Inicia con pequeñas manchas cloróticas alargadas, traslúcidas y limitadas por las nervaduras secundarias de las hojas. Posteriormente, las manchas se tornan color pardo, con un delgado halo clorótico que se unen y forman zonas cloróticas rectangulares con un color que va de naranja a gris hasta verde oliva. Al final, la planta se marchita por la presencia de la toxina cercosporina en cultivares susceptibles, lo que genera una baja producción del cultivo.
Manchas foliares por *Helminthosporium* sp.	*Setosphaeria turcica* (Luttr.) (Leonard & Suggs) [anamorfo de *Exserohilum turcicum* (Pass.) (Leonard & Suggs) Syn. *H. turcicum* (Pass)] *Cochliobolus carbonum* (Nelson) [anamorfo de *Bipolaris zeicola* Syn. *H. carbonum*, (Ullstrup)] *Cochliobolus heterostrophus* (Dreschler) [anamorfo de *Bipolaris maydis* (Nisikado)] Shoemaker Syn. *H. maydis* (Nisik & Miy)	En Colombia se presenta, principalmente, la S. *turcica*, que inicia con pequeñas lesiones ovaladas de color pajizo y forma de huso en las hojas bajeras de la planta y que crecen paralelas a la nervadura central. Con el avance de la enfermedad, necrosa prematuramente, buena parte de la lámina foliar se forma con la consecuente reducción del rendimiento del cultivo.
Mildeo velloso	*Peronosclespora sorghi* (Weston & Uppal) *Sclerophthora macrospora* (Sacc.) (Thirum, Shaw & Naras)	La enfermedad presenta una zona clara en la mitad de la lámina foliar y otra de color verde normal de la otra mitad; genera un polvillo blanco que contiene las estructuras de diseminación del hongo. La enfermedad afecta las inflorescencias masculina y femenina, lo que disminuye la producción del cultivo.

Nombre común	Agente causal	Daño
Enfermedades		
Pudrición por diplodia	*Stenocarpella maydis* (Berk) Sutton Syn. *Diplodia maydis* (Sacc.) (Berk.) *Stenocarpella macrospora* (Earle) Sutton Syn. *Diplodia macrospora* (Earle)	En las mazorcas, el capacho presenta una coloración pajiza, con presencia de una masa blanca y, en algunas ocasiones, puntos negros sobre la lesión. Dentro de la mazorca se observa un micelio blanco debajo de los granos y entre las hileras. En ataques severos, las mazorcas se tornan color café oscuro, lo cual genera pérdida del valor comercial.
Carbón común	*Ustilago maydis* (D.C.) (Corda)	El hongo desarrolla agallas de color verde o gris oscuro, de tamaño variable. En el interior de las agallas se encuentra una masa de esporas negras por las que se disemina patógeno.
Achaparramiento	Mayze Bushy Stunt Disease (MBSD) Corn Stun Spiroplasma (CSS)	Los dos mollicutes (fitoplasmas) generan bandas blancas o cloróticas, que luego se tornan amarillas o púrpuras, y pueden llegar a cubrir toda la hoja. La infección avanza de forma sistémica y produce plantas pequeñas con entrenudos cortos, con proliferación de brotes o mazorcas en los nudos. Además, genera esterilidad masculina o excesiva ramificación, lo que produce plantas improductivas.
Insectos plaga		
Cogollero o gusano cogollero	*Spodoptera frugiperda* (Smith)	Las primeras larvas consumen el tejido foliar por un lado sin perforarlo ni dañar la capa epidérmica del haz de la hoja. Los instares intermedios dejan una hilera de orificios en las hojas, mientras que los últimos estadios pueden ocasionar defoliación completa y sólo dejan los tallos de las plantas. Las larvas dañan las hojas del cogollo antes de que la planta emita la panoja; también dañan la panoja y los granos en crecimiento. Esto se traduce en pérdida de plantas y disminución del rendimiento.
Chicharrita, cigarrita, lorito o salta hoja del maíz	*Dalbulus maidis*	El insecto es vector del achaparramiento del maíz y del virus del rayado fino (*Marafivirus*).

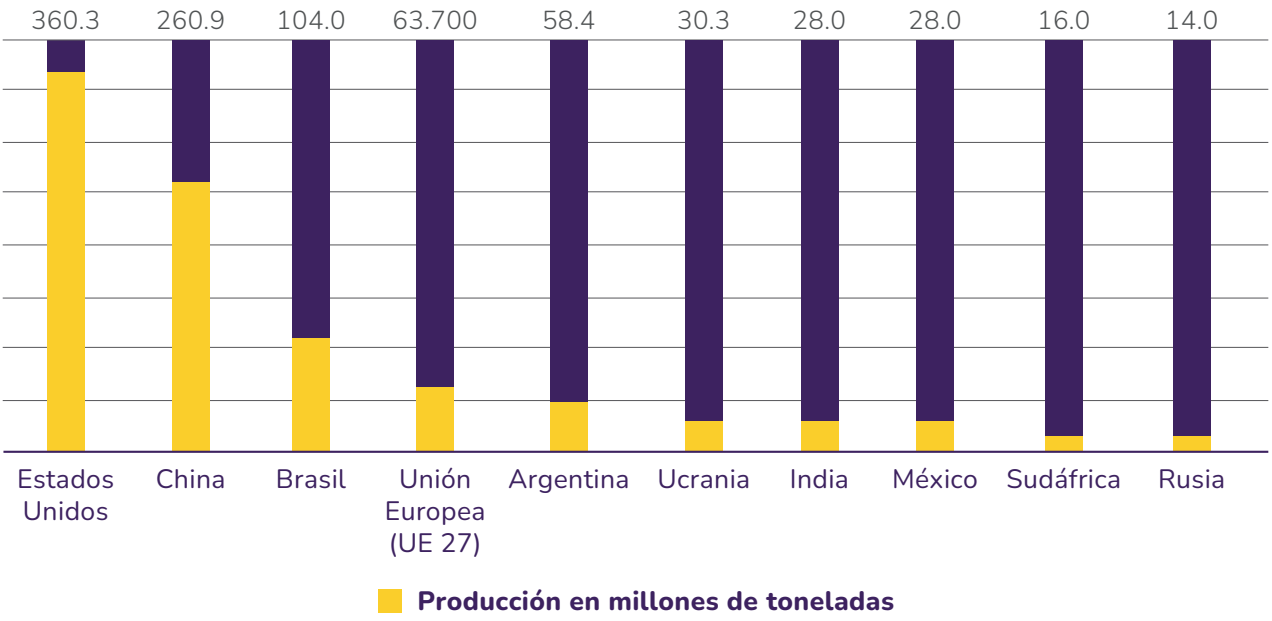
Fuente: elaboración propia.

1. 3 Contexto mundial

A continuación, se presenta información acerca de la producción mundial de maíz durante el período 2016-2020 y los datos del comercio referentes a las exportaciones e importaciones. Con respecto a la producción mundial de maíz en el periodo 2015-2020, se reportaron valores de entre 1.053 y 1.162 millones de toneladas, con un área cosechada que osciló entre 191 y 201 millones de hectáreas (FAOSTAT, 2022). En la Figura 2 se puede observar la relación de los productores de maíz en el mundo para el año 2020, de lo cual se destaca que el 32 % de la producción se concentró en Estados Unidos; seguido de China, con 22 %; Brasil, con 9 %; Unión Europea, con 5 %; y Argentina, con 4 %. El rendimiento promedio fue de 5,72 toneladas para este mismo periodo.

En relación con el comportamiento de la producción para el periodo 2016-2020 por país, la Tabla 2 muestra que en los años 2019 y 2020 se presentaron las mayores producciones; mientras que el año 2018 fue el de menor producción. Cabe destacar que Brasil aumentó su producción en el periodo analizado, lo cual contribuyó anualmente al total mundial.

Figura 2. Producción mundial de maíz, año 2020



Fuente: IndexMundi, 2021.

Tabla 2. Producción de maíz en los principales países en millones de toneladas

País	2016	2017	2018	2019	2020
Estados Unidos	412,3	371,1	364,3	346,0	360,3
China	263,8	259,3	257,3	261,0	260,9
Brasil	64,2	97,9	82,4	101,1	104,0
Argentina	39,8	49,5	43,5	56,9	58,4
Ucrania	28,1	24,7	35,8	35,9	30,3
Otros	583,1	595,6	598,4	601,5	609,5
Total	**1391,2**	**1398,0**	**1381,6**	**1402,3**	**1423,2**

Fuente: FAOSTAT, 2022.



En cuanto al consumo mundial, gran parte del maíz producido en el mundo se consume dentro de los mismos países que lo producen, lo que permite concluir que los principales productores son los principales consumidores (Hoyos y Ocampo, 2018). Estados Unidos, China, la Unión Europea, Brasil, México e India fueron los mayores consumidores de maíz en el mundo para el año 2020. El 51 % del consumo mundial total de este alimento se concentró en Estados Unidos y China (IndexMundi, 2021). En la Tabla 3 se puede consultar el consumo de maíz durante el periodo 2016-2020, el cual se ha visto incrementado con el tiempo, con excepción al año 2019, en el que se presentó una disminución del 8 % respecto al año anterior.

Tabla 3. Consumo de maíz en los principales países en millones de toneladas, periodo 2016-2020

País	2016	2017	2018	2019	2020
Estados Unidos	298,8	313,8	314,0	309,9	315,0
China	229,0	255,0	263,0	275,0	279,0
Unión Europea	73,5	74,0	76,5	87,0	81,5
Brasil	57,5	60,5	64,5	66,5	69,5
México	37,3	40,4	42,5	43,9	45,5
Otros	285,7	341,8	329,6	225,8	354,5
Total	**981,8**	**1085,5**	**1090,1**	**1008,1**	**1145,0**

Fuente: USDA, 2020

Respecto al comercio de maíz en el mundo, éste ha sido influenciado no sólo por la fuerte demanda del cereal para la elaboración de alimentos balanceados para animales y de biocombustibles, sino también por sus bajos precios en las últimas décadas (Maluenda, 2021). Estados Unidos fue el mayor exportador mundial para el año 2020, con un 35 %; le sigue Brasil, con un 16 %; Argentina, con 13 %; y Ucrania, con 12 %. Estos cuatro países representan el 76 % del total de toneladas exportadas (IndexMundi, 2021). En la Tabla 4 se puede observar el porcentaje de participación de los principales países en el total de exportación mundial de maíz, según lo cual se destacan Estados Unidos, Brasil y Argentina.

Tabla 4. Exportaciones de maíz de los principales países en millones de toneladas, periodo 2016-2020

País	2016	%	2017	%	2018	%	2019	%	2020	%
Estados Unidos	56,0	36	53,0	33	70,1	40	41,6	22	51,8	27
Brasil	21,9	14	29,3	18	23,6	14	42,8	23	34,4	18
Argentina	24,5	16	23,7	15	23,2	13	36,1	20	36,9	19
Ucrania	17,3	11	19,4	12	21,4	12	25,4	14	28,0	14
Rumania	3,4	2	3,8	2	4,6	3	6,7	4	5,7	3
Otros	30,9	21	32,4	20	30,8	18	32,1	17	36,1	19
Total	**154,0**	**100**	**161,6**	**100**	**173,7**	**100**	**184,7**	**100**	**192,9**	**100**

Fuente: FAOSTAT, 2022.

Para el mismo periodo analizado, México y Japón se convirtieron en los mayores importadores de maíz en el mundo, con una participación máxima del 10 % cada uno; le sigue Corea del Sur y Vietnam, ambos con un 6 %; y China, con un aumento del consumo de entre el 4 y el 8 % (ver Tabla 5).

Tabla 5. Principales países importadores de maíz en millones de toneladas, periodo 2016-2020

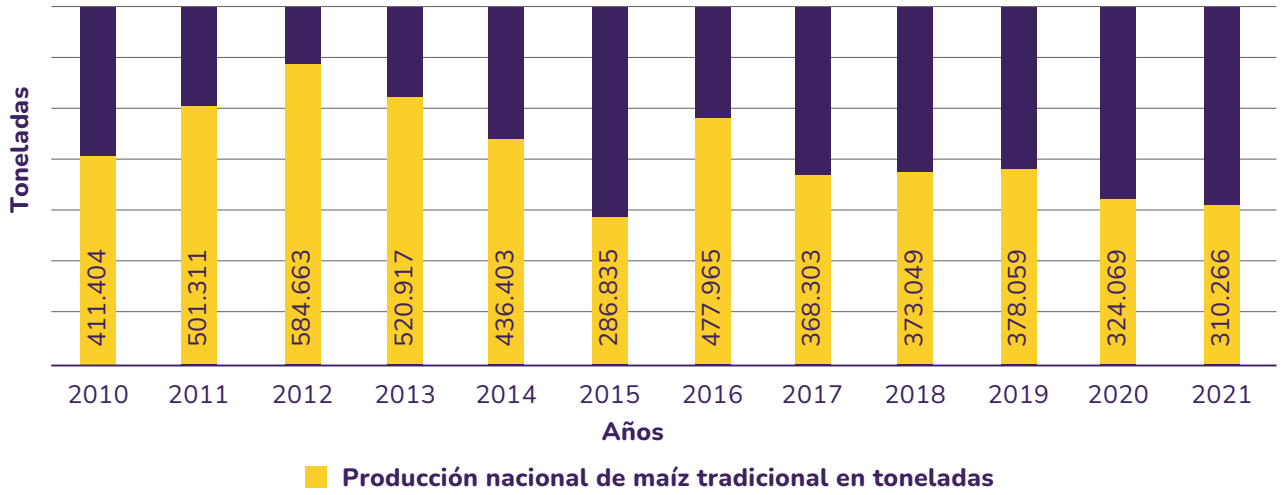
País	2016	%	2017	%	2018	%	2019	%	2020	%
México	14,1	9	15,3	10	17,1	10	16,5	9	16,0	8
Japón	15,3	10	2,5	2	15,8	9	16,0	8	15,8	8
Corea del Sur	9,8	6	9,3	6	10,2	6	11,4	6	11,7	6
Vietnam	8,4	5	7,7	5	9,7	5	11,4	6	12,1	6
China	7,4	5	7,3	5	7,7	4	9,6	5	15,7	8
Otros	103,8	65	109,7	72	117,9	66	128,7	66	129,7	65
Total	**158,8**	**100**	**151,8**	**100**	**178,4**	**100**	**193,6**	**100**	**201,0**	**100**

Fuente: FAOSTAT, 2022.

1.4 Contexto nacional

En cuanto a Colombia, la producción de maíz se presenta mediante los sistemas de tecnificado y tradicional, pero es este último sobre el cual se prioriza la información. Como se puede consultar en la Figura 3, la producción de maíz tradicional promedio en el periodo 2010-2021 en el país fue de 414.437 toneladas, con un máximo de 584.663 alcanzadas en el año 2012 y un mínimo de 286.835, en el 2015 (Fenalce, 2021).

Figura 3. Producción nacional de maíz tradicional en toneladas, periodo 2010-2021*



*Las cifras de producción fueron calculadas a partir de las siembras del mismo año agrícola.

Fuente: Fenalce, 2021.

De acuerdo con Fenalce, para el periodo 2016-2021, el área sembrada y la producción fueron mayores en el segundo semestre con respecto al primero, exceptuando los años 2017 y 2018. En lo referente a los valores máximos, cabe destacar la mayor área sembrada y la producción para el año 2016. El mejor rendimiento lo reportó el segundo semestre del año 2019, con 2,24 toneladas por hectárea (ver Tabla 6).

Tabla 6. Área sembrada, producción y rendimiento del maíz tradicional por semestre, periodo 2016-2021

Semestre/año	Área (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)
I/2016	115.406	218.817	1,90
II/2016	118.607	259.148	2,18
I/2017	97.603	197.707	2,03
II/2017	87.393	170.597	1,95
I/2018	97.035	191.729	1,98
II/2018	86.135	181.320	2,11
I/2019	84.660	177.387	2,14
II/2019	89.713	200.672	2,24
I/2020	78.514	147.516	1,88

Semestre/año	Área (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)
II/2020	91.713	176.554	1,93
I/2021	76.680	141.935	2,01
II/2021	92.469	168.331	2,12

Fuente: Fenalce, 2021.

En la Tabla 7, se puede consultar la información sobre el área sembrada y la producción de maíz tradicional amarillo y blanco para el periodo 2016-2021, a partir de lo cual evidencia que la superficie sembrada y el volumen de producción de maíz amarillo han sido mayores a los del maíz blanco.

Tabla 7. Indicadores de producción nacional para el maíz tradicional, periodo 2016-2021

Áreas sembrada (ha)						
Año	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**
Maíz amarillo tradicional	138.044	113.667	116.104	110.937	104.337	105.222
Maíz blanco tradicional	95.969	71.329	67.066	63.436	65.890	63.927
Producción (t)						
Año	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**
Maíz amarillo tradicional	264.126	229.427	214.604	241.957	205.491	197.205
Maíz blanco tradicional	213.839	138.877	131.445	136.102	118.578	113.061

Fuente: Fenalce, 2021.

En la Tabla 8, se expone el comportamiento del área sembrada del maíz tradicional amarillo y blanco durante el periodo 2016-2021. Los departamentos de Córdoba, Huila y Antioquia reportaron la mayor área sembrada promedio de maíz amarillo tradicional para los dos semestres. En cuanto al área sembrada de maíz blanco, el departamento de Antioquia lideró las cifras, seguido de Córdoba y Huila.

Tabla 8. Área sembrada de maíz tradicional por departamento, periodo 2016-2021

Área sembrada (ha)						
Maíz amarillo tradicional						
Departamento	**2016***	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**
Córdoba	30.720	19.900	20.000	20.000	23.000	19.500
Huila	15.400	15.450	16.000	15.400	15.740	15.000
Antioquia	11.709	12.895	12.540	10.791	11.793	14.453
Santander	12.200	13.900	13.650	10.950	6.000	2.500
Bolívar	5.980	8.160	6.032	4.220	500	1.578
Otros	62.035	43.362	47.882	49.576	47.304	105.222
Total	**138.044**	**113.667**	**116.104**	**110.937**	**104.337**	**158.253**
Maíz blanco tradicional						
Departamento	**2016***	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**
Antioquia	18.533	15.758	17.357	14.533	14.165	10.845
Córdoba	13.056	9.300	9.400	9.400	10.400	11.100
Huila	7.950	7.850	7.790	7.500	7.700	7.200
Cesar norte	8.960	3.760	2.680	3.040	5.897	5.230
Bolívar	4.610	5.650	4.880	7.190	500	1.115
Otros	42.860	29.011	24.959	21.773	27.229	27.807
Total	**95.969**	**71.329**	**67.066**	**63.436**	**65.890**	**63.297**

*Datos que consideran la afectación del fenómeno de El Niño durante este año.

Fuente: Fenalce, 2021.

Respecto a la producción del maíz amarillo tradicional durante el periodo 2016-2021, Córdoba, Santander y Huila lideraron las cifras; mientras que la producción de maíz blanco la encabezó Antioquia, Córdoba y Tolima (ver Tabla 9).

El rendimiento promedio departamental tanto para el maíz blanco como para el amarillo durante el periodo 2016-2021 en los dos semestres lo lideraron Nariño y Tolima para el maíz blanco; mientras que Caldas y Risaralda, para el maíz amarillo. Como lo indica la Tabla 10, el rendimiento promedio nacional para el maíz tradicional fue de 0,98 toneladas por hectárea para el maíz blanco y de 1,0 para el amarillo (Fenalce, 2022).

Tabla 9. Producción de maíz amarillo tradicional en toneladas por departamento, periodo 2016-2021

Maíz amarillo tradicional (t)						
Departamento	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**
Córdoba	53.072	37.800	36.950	39.500	49.080	39.400
Santander	28.230	34.660	36.120	30.200	17.000	4.010
Huila	24.096	24.569	24.000	23.100	23.610	22.500
Tolima	31.043	8.321	19.904	6.820	4.100	—
Bolívar	10.317	15.836	13.071	19.388	1.900	3.422
Otros	117.368	108.241	111.559	122.949	109.801	127.873
Total	**264.126**	**229.427**	**241.604**	**241.957**	**205.491**	**197.205**
Maíz blanco tradicional (t)						
Departamento	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**
Antioquia	54.593	25.650	28.556	24.442	19.926	15.639
Córdoba	22.906	17.300	16.750	17.800	20.170	19.440
Tolima	28.217	9.660	13.538	4.875	4.100	—
Cesar norte	15.802	6.444	5.382	15.107	10.587	9.179
Bolívar	8.022	11.986	9.927	15.550	1.500	2.025
Otros	84.299	67.837	57.292	58.328	62.295	—
Total	**213.839**	**138.877**	**131.445**	**136.102**	**118.578**	**113.061**

Fuente: Fenalce, 2021.

Respecto al consumo, la Tabla 11 muestra las cifras tanto para el maíz amarillo como para el blanco durante el periodo 2016-2021, pero sin diferenciar entre el tecnificado y el tradicional. Según esta información, el consumo de maíz blanco decreció 17,2 %; mientras que el amarillo creció 21,7 % al comparar las cifras del 2021 y del 2016. Fue el año 2021 el de mayor consumo de maíz amarillo, con 6.778.030 toneladas, aunque el del blanco fue menor (Fenalce, 2021).

Tabla 10. Rendimiento promedio de maíz tradicional por departamento, periodo 2016-2021

Departamento	Rendimiento (t/ha)	Departamento	Rendimiento (t/ha)
Maíz blanco tradicional		Maíz amarillo tradicional	
Nariño	3,40	**Caldas**	2,50
Tolima	1,83	**Risaralda**	2,48
Santander	1,24	**Meta (piedemonte)**	2,14
Cesar sur	1,25	**Tolima**	1,85
Sucre	1,15	**Putumayo**	1,67
Promedio nacional	**0,98**	**Promedio nacional**	**1,00**

Fuente: Fenalce, 2022.

Tabla 11. Consumo nacional de maíz en toneladas, periodo 2016-2021

Consumo (t)						
Año	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Maíz amarillo	5.300.515	5.641.679	6.086.365	6.394.784	6.397.327	6.778.030
Maíz blanco	905.741	883.102	827.993	1.022.444	878.567	772.646

Fuente: Fenalce, 2021.



Por su parte, en la Tabla 12 se puede observar el comportamiento del consumo per cápita del maíz amarillo y del blanco durante el periodo 2016-2021, sin discriminar entre el tecnificado y el tradicional. De acuerdo con estos datos, el consumo per cápita de maíz amarillo creció hasta un 11,3 % entre el 2016 y el 2021; mientras que el maíz blanco decreció un 25,7 %.

Tabla 12. Consumo nacional per cápita de maíz blanco y amarillo, periodo 2016-2021

Consumo per cápita (kg)						
Año	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**
Maíz amarillo	119,24	126,92	133,77	139,25	139,31	132,77
Maíz blanco	20,38	19,87	18,20	22,92	19,13	15,14

Fuente: Fenalce, 2021.

En cuanto a las importaciones, en la Tabla 13 se puede contemplar que, durante el mismo periodo analizado, el 99 % de las importaciones provinieron principalmente de tres países: Estados Unidos, con una participación promedio de 85,3 %; Argentina, con 9,0 %; y Brasil, con 5,3 %. Las importaciones de Estados unidos se vieron altamente influenciadas por el Tratado de Libre Comercio suscrito con Colombia en el año 2012 (Govaerts *et al*. 2019).

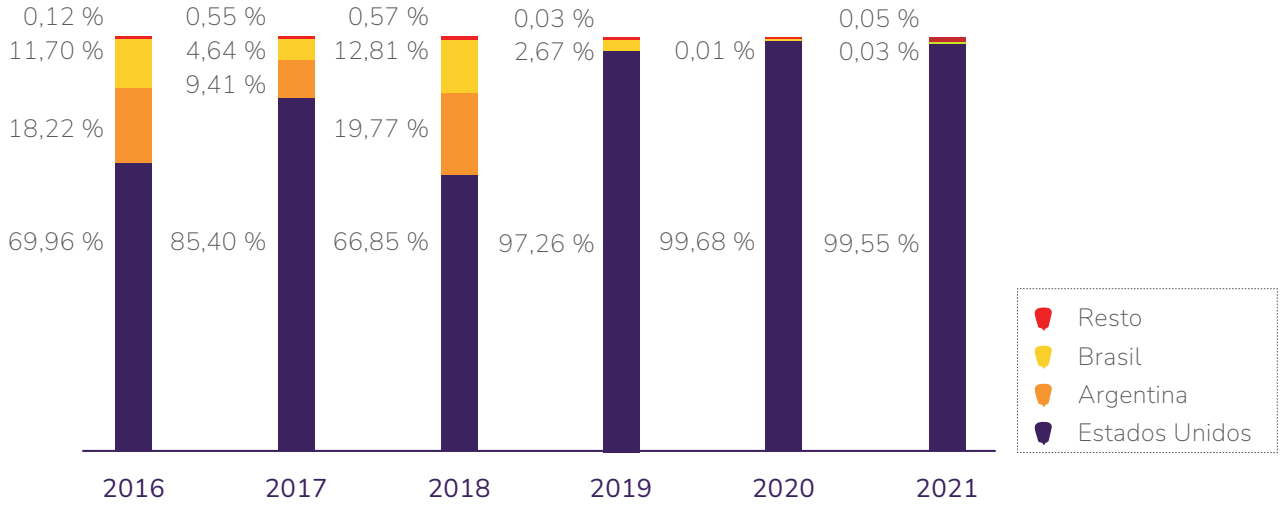
Tabla 13. Importaciones en toneladas de mercados proveedores de maíz, periodo 2016-2021

Cantidad importada de maíz (t)						
Exportadores	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**
Estados Unidos	4.565.430	4.914.294	5.261.462	3.850.914	5.262.820	4.225.388
Argentina	17.250	12.360	144.391	1.138.738	579.654	1.100.317
Brasil	2.253	2.751	2.319	737.829	286.084	706.906
Ecuador	—	—	—	5.245	—	4.838
Honduras	895	364	845	584	763	717
Otros	256	295	536	26.861	33.043	1.454
Total de importaciones	**4.586.084**	**4.930.064**	**5.409.553**	**5.760.171**	**6.162.364**	**6.039.620**

Fuente: Trade Map, 2022.

Más allá de los datos anteriores, Argentina y Brasil han aumentado desde el año 2019 su participación en el volumen de las importaciones hacia Colombia, hasta llegar al 19,8 % y al 12,8 %, respectivamente (ver Figura 4).

Figura 4. Participación porcentual de las importaciones de maíz por país de origen, periodo 2016-2021



Fuente: Trade Map, 2022.

1.5 Alcances y limitaciones

El mapa de zonificación de aptitud para el cultivo de maíz tradicional en Colombia a escala 1:100.000 contribuye a cumplir con los objetivos y funciones de la UPRA, para lo cual prioriza la consolidación de posibles núcleos de desarrollo y orienta inversiones tanto a escala nacional como regional. Del mismo modo, se constituye en una herramienta para la planificación rural agropecuaria y el ordenamiento territorial.

La zonificación considera todo el territorio continental colombiano y es un instrumento de carácter indicativo según su escala de trabajo. Por tal razón, no es un instrumento de regulación o reglamentación de uso del suelo, cuya competencia corresponde a los entes territoriales en el área de jurisdicción, ni reemplaza la elaboración de proyectos de inversión puntuales. Estos proyectos requieren de análisis e información más detallada, en los que se evalúe a nivel local los requerimientos específicos de acuerdo con la especie y las condiciones de competitividad relacionadas con la ubicación del proyecto, los objetivos de la producción, los productos a obtener, el mercado y el flujo de caja. Así pues, la zonificación de aptitud para el cultivo de maíz tradicional se desarrolla a partir de las siguientes disposiciones:

- La zonificación prioriza las áreas más competitivas para el desarrollo del cultivo del maíz tradicional, por lo cual se identifican los territorios con mejores condiciones en cada criterio de análisis.
- Define el tipo de utilización de la tierra (TUT) y los requerimientos específicos a partir de la información existente sobre el cultivo del maíz.
- Las áreas con restricción legal son catalogadas como excluyentes y predominan bajo esta clasificación, independientemente de la aptitud identificada en los criterios.
- Establece las áreas donde aplique la normativa de tipo ambiental, social y cultural que condicione el uso a otros procesos o instrumentos vigentes, como los territorios colectivos. Las áreas deben ser analizadas de forma diferencial, con el fin de proteger tanto el patrimonio cultural material e inmaterial colombiano como el derecho a la autodeterminación de las comunidades.
- El cultivo del maíz tradicional no pondrá en riesgo áreas naturales o con potencial en calidad de ecosistemas estratégicos para la provisión de servicios ecosistémicos, como bosques, subpáramos, páramos, rondas hídricas o zonas de recarga de acuíferos, para las cuales prima el criterio de exclusión técnica y legal.
- 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 que pueden ser relevantes no se contemplan en la metodología hasta que la información sea entregada de manera oficial por la entidad encargada para desarrollarla.
- El mapa de zonificación de aptitud para el cultivo del maíz tradicional en Colombia a escala 1.100.000 toma, como base para su elaboración, la información secundaria proveniente de las entidades oficiales, la cual contiene, en algunos casos, 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 plantea la necesidad de actualizar permanentemente la zonificación 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



La gestión sostenible del ambiente, de la sociedad y de la economía se ha convertido en tema central para el diseño de las políticas y las decisiones de planificación sectorial en la mayor parte del mundo (Rodiek, 2009). Para una planificación efectiva del uso del suelo con fines productivos, las entidades encargadas de la planificación rural agropecuaria requieren de información sobre la capacidad de la tierra para apoyar sus diversos usos (Harms *et al*., 2015). 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, lo cual está sujeto a la distribución y calidad de los recursos disponibles.

El modelo conceptual de la zonificación de aptitud adoptado por la UPRA parte de un enfoque multidisciplinario que, para aplicarse, considera los principios del esquema de evaluación de tierras con respecto a la definición y evaluación de la aptitud. Para ello, se tienen en cuenta dos aspectos fundamentales: a) la integración de los componentes biofísicos y socioeconómicos, que no sólo enmarcan las características de un tipo de utilización de tierras desde el punto de vista de la productividad —a partir de los criterios edafoclimáticos que abarca el esquema de la FAO—, sino que también fortalece el TUT mediante la incorporación de criterios de competitividad; b) la sostenibilidad, que se desarrolla a través de la evaluación de los criterios que involucran los componentes adicionados (ver Figura 5).

Para integrar los componentes, la zonificación emplea un proceso analítico jerárquico como técnica de análisis multicriterio: el Analytic Hierarchy Process (AHP), que permite generar las alternativas de decisión más adecuadas de uso del suelo, incluyendo la participación de diversos actores dentro del proceso de planificación. Estos actores asignan una calificación a partir de criterios y después lo llevan a un programa estadístico (PriEsT) en el que se le asignan pesos a cada criterio.

Dentro del proceso metodológico que implica la construcción de los mapas, la UPRA utiliza una primera matriz AHP para integrar los componentes físicos y socioecosistémicos, denominada *integrado biofísico*, y una segunda que agrupa los criterios socioeconómicos en un solo mapa, denominado *integrado socioeconómico*. Posterior a esto, se genera un árbol de decisión mediante una matriz de paso para obtener el mapa final de la zonificación de aptitud, proceso que se explicará más adelante en lo concerniente al ítem sobre procesos analíticos jerárquicos.

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



Fuente: UPRA, 2021.

El enfoque de productividad basa su metodología en la evaluación de tierras, proceso que permite identificar y valorar los usos específicos que se adaptan a las condiciones específicas de las tierras evaluadas (FAO, 2007). En general, la finalidad consiste en proponer sistemas de uso apropiados y sostenibles a largo plazo. A pesar de que la FAO presenta limitaciones por centrarse básicamente en el aspecto físico, ha sido 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 cualidades y características para ser empleadas en el proceso de evaluación de tierras, denominadas, en este desarrollo metodológico, *criterios* y *variables*, respectivamente, cuyo número es flexible y está determinado por los objetivos de aplicación, la escala de trabajo y los datos disponibles (FAO, 2007). Ahora bien: dentro de la zonificación, el proceso de evaluación de tierras se aborda de manera multidisciplinaria, pues brinda los elementos necesarios 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, es importante que, por medio del análisis de sus elementos en un espacio territorial, se pueda determinar, en primera instancia, la aptitud o no de un territorio para soportar un tipo de producción definido. De acuerdo con los estudios agronómicos realizados para el cultivo del maíz, se han precisado algunas características desde este componente que identifican criterios y variables para su aplicación, los cuales están agrupados en tres subcomponentes: el climático, el edáfico y el fitosanitario.

El enfoque socioecosistémico considera el patrimonio natural, entendido como la biodiversidad, la funcionalidad ecosistémica y los bienes/servicios ecológicos vinculados estrechamente 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 responden de forma adaptativa a los cambios de la naturaleza. De esta forma, los procesos socioecosistémicos que se dan en estos sistemas complejos han de buscar permanentemente el ideal de la sostenibilidad (UPRA, 2014).

El objetivo de una visión socioecosistémica consiste en plasmar, en el desarrollo productivo, 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. Estas características aportan a la productividad y a la competitividad del sistema, en desarrollo del paradigma de conservación para el bienestar humano (MADS, 2012; Martín-López *et al.*, 2009, como se citaron en UPRA, 2014).

En cuanto a los criterios de orden socioecosistémico, la aptitud representa el potencial del territorio para establecer y hacer permanecer 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 que contribuye a mejorarlos. Esta visión, dentro de la zonificación, incorpora los fundamentos para conservar el capital natural, es decir, la biodiversidad, la integridad ecológica y los servicios ecosistémicos. Para ello, se distribuye más equitativamente los beneficios e incluye a la sociedad, la economía y la cultura en nuevas actividades que propenden no sólo hacia la armonización entre la producción y la conservación, sino también hacia la reducción de procesos de degradación del patrimonio natural de Colombia (UPRA, 2016).

Respecto a la competitividad, se ha definido a partir de la habilidad con la que un país utiliza sus recursos humanos, económicos y naturales para la producción de bienes y servicios de mayor calidad y menor precio que otros productores domésticos e internacionales (Porter, 1980). Constituye el factor determinante del modelo de crecimiento y desarrollo del sector agropecuario, puesto que no sólo se conforma como la condición de viabilidad de los productos en el mercado, sino que también genera oportunidades sostenibles para todos los habitantes del campo (Dirección Nacional de Planeación [DNP], 2010).

En relación con la zonificación de una cadena productiva, la competitividad se expresa en la capacidad de una región (municipio) para generar las condiciones de producción que promueven el desarrollo sostenido del sistema productivo. En tal sentido, permite mejorar constantemente las condiciones de vida y el bienestar de los habitantes de esa región, en particular, de los empresarios y familias dedicados al negocio. Es decir: la competitividad implica que un cultivo exige requerimientos y condiciones multidimensionales para desarrollarse.

Rossiter (2009) plantea contemplar unos lineamientos significativos en una evaluación de tierras, que representan el enfoque dado en la zonificación de aptitud de las cadenas productivas. Así pues, el autor considera un enfoque multidisciplinario y sectorial para la zonificación de una cadena productiva; utiliza una perspectiva paralela en la que cada criterio se aborda de manera conjunta y se obtiene directamente una clasificación para cada una; reconoce las múltiples funciones de la tierra, no sólo para la producción de alimentos, sino también para la conservación del medioambiente; 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 ampliamente la sostenibilidad para incluir la productividad, la equidad social y los aspectos medioambientales; y valora la tierra, dentro del contexto ambiental, como un factor que provee bienes y servicios a la población.



3

Marco metodológico



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

3.2. Criterios de análisis jerárquico

3.3. Rangos de aptitud y exclusiones técnicas

3.4. Exclusiones legales y condicionantes legales

3.5. Análisis multicriterio

3.6. Análisis espacial y modelo cartográfico

3.7. Proceso de socialización y validación de los mapas

La zonificación de aptitud para el cultivo de maíz tradicional en Colombia a escala 1:100.000 se basa en los principios del *Esquema de evaluación de tierras* (FAO, 1976), las directrices y guías de la *Evaluación de tierras para la agricultura en regadío* (FAO, 1990) y del 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 en 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 es la comparación de las cualidades de cada unidad de tierra con los requerimientos de cada uso del suelo mediante diversos procedimientos descritos en publicaciones posteriores (FAO, 1976).

Partiendo del enfoque concebido por la FAO (1976), en la presente zonificación de aptitud para el del cultivo de maíz tradicional se llevó a cabo una adaptación que involucró técnicas frecuentemente empleadas para la determinación del emplazamiento óptimo para los métodos de evaluación multicriterio, que permiten obtener mapas de aptitud. La evaluación multicriterio es un método que se ha diseñado para evaluar un criterio dado, entendido como la base para una decisión que puede medirse o evaluarse. Existen dos tipos de criterios: *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 las alternativas (Eastman *et al*., 1995).

En la evaluación multicriterio, una de las técnicas más sencillas y frecuentemente aplicadas es la suma lineal ponderada. El propósito principal de la evaluación multicriterio consiste en plantear pautas para combinar la información de varios criterios y formar así un índice único de evaluación. En el caso de los criterios restrictivos, se utiliza la lógica *booleana*, es decir: sí o no, existe la restricción o no, por lo que sólo da lugar a una de esas calificaciones. En el caso de los factores, se utiliza generalmente 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 así obtener el mapa de aptitud (Eastman *et al*., 1995).

La metodología planteada para la presente zonificación se fundamentó en el análisis de tres componentes: el físico, el socioecosistémico y el socioeconómico, los cuales fueron evaluados a partir de una serie de 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); una variable es un atributo de la tierra que puede medirse o estimarse y es utilizado como un medio para describir las cualidades de la tierra o el criterio. Para efectos de la zonificación en descripción, los criterios se clasificaron en los siguientes cuatro tipos:

Criterios de análisis jerárquico. Son factores para los cuales se definen los niveles de aptitud. Un factor es un criterio que mejora o reduce la aptitud para el cultivo del maíz tradicional.

Criterios de exclusión técnica. Se aplican a zonas en las cuales, por condiciones técnicas de tipo físico o socioecosistémico, no es factible el establecimiento del cultivo del maíz tradicional.

Criterios de exclusión legal. Se consideran 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. Se aplican en zonas con condicionante legal o técnico que, independientemente de la categoría de aptitud, requieren de un análisis complementario de tipo social, cultural, ambiental o de bioseguridad para el desarrollo de actividades agropecuarias con fines comerciales.

En la Figura 6 se muestra el tipo de criterios que se abordaron en el desarrollo de la presente zonificación y la manera como interactúan.

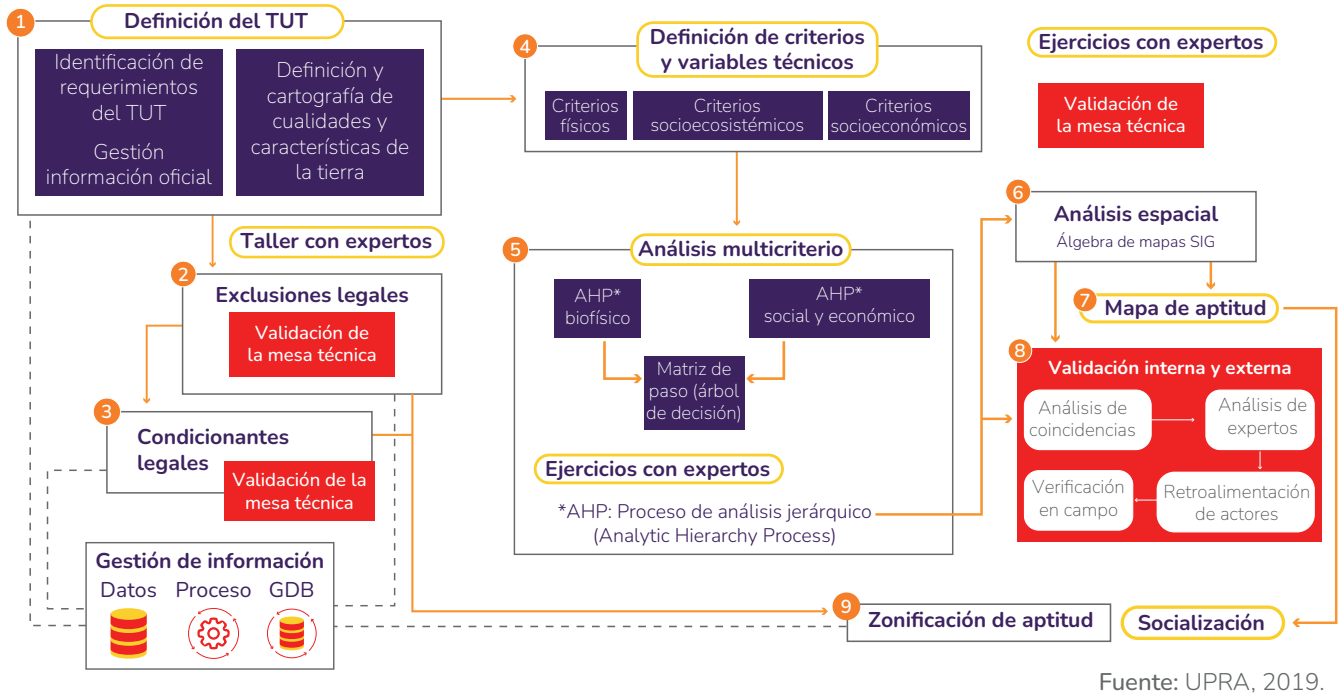
Figura 6. Tipos de criterios usados en la zonificación de aptitud de cultivos



Fuente: UPRA, 2015.

El esquema metodológico para la zonificación de aptitud del cultivo de maíz tradicional se presenta en la Figura 7.

Figura 7. Esquema metodológico de la zonificación de aptitud de cultivos



Fuente: UPRA, 2019.

Durante todo el proceso, se contó con el acompañamiento y con las discusiones tanto con el sector maicero como con los profesionales, quienes aportaron conocimientos y experticia, no sólo en la definición de los criterios y variables, sino también en la demostración de la importancia para 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 zonificación con base en los requerimientos físicos, socioecosistémicos y socioeconómicos. Así mismo, se determinaron los criterios y las variables objeto de la cartografía.

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

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

Definición y selección de criterios y variables técnicas. Según el TUT planteado, se seleccionaron los criterios y variables para realizar la zonificación, listado concertado con los 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 el método diseñado para evaluar la importancia de los criterios y ponderarlos dentro del modelo de zonificación de aptitud a través de matrices de proceso analítico jerárquico (método AHP). La primera matriz correspondió al componente biofísico, compuesto de 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 (árbol de decisión).

Análisis espacial. A la par de las actividades mencionadas, los análisis espaciales formaron parte de las fases, desde la consecución/organización de la información y la normalización/estandarización de los datos, hasta la obtención de los mapas de variables y criterios. Además, se aplicó el método jerárquico para la generación de mapas intermedios y la aptitud para el cultivo del maíz tradicional.

Mapa de aptitud. Es el resultado de la aplicación de la metodología propuesta. De este modo, se presentaron las zonas aptas y no aptas para el cultivo del maíz tradicional y los resultados en el orden nacional, departamental y municipal.

Validación de resultados. Se socializaron los resultados de las zonas aptas y no aptas para el cultivo del maíz tradicional en el orden nacional, departamental y municipal; luego se validaron estos resultados.

Resultados. Se obtuvo la representación cartográfica de las zonas aptas y no aptas para el cultivo del maíz tradicional con las respectivas estadísticas en el orden nacional, departamental y municipal.

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. Entre otros factores, se consideran el tipo de cultivo, los objetivos de producción, el tipo de manejo, la intensidad de mecanización y el capital, la infraestructura requerida, el tamaño y la tenencia de la tierra (FAO, 2003).

Así mismo, el TUT se define como una descripción, a un nivel apropiado de detalle, del uso de la tierra. Incluye las características del sistema de producción y los contextos tanto socioeconómico como ecológico que le confieren rasgos diferenciadores al cultivo del maíz tradicional desde un punto de vista de evaluación de tierras. Es decir: los rasgos pueden ser expresados como requisitos de uso de la tierra con valores cualitativos o cuantitativos en el país o que sirven para delimitar las opciones de uso eficiente de la tierra.

De acuerdo con lo anterior, el tipo de utilización de la tierra evaluado en el presente documento correspondió a: "**Cultivo de maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización**". Para obtener el TUT del cultivo del maíz tradicional, se consideraron los componentes físico, socioecosistémico y socioeconómico, junto a los criterios y variables de cada uno.

3.2 Criterios de análisis jerárquico

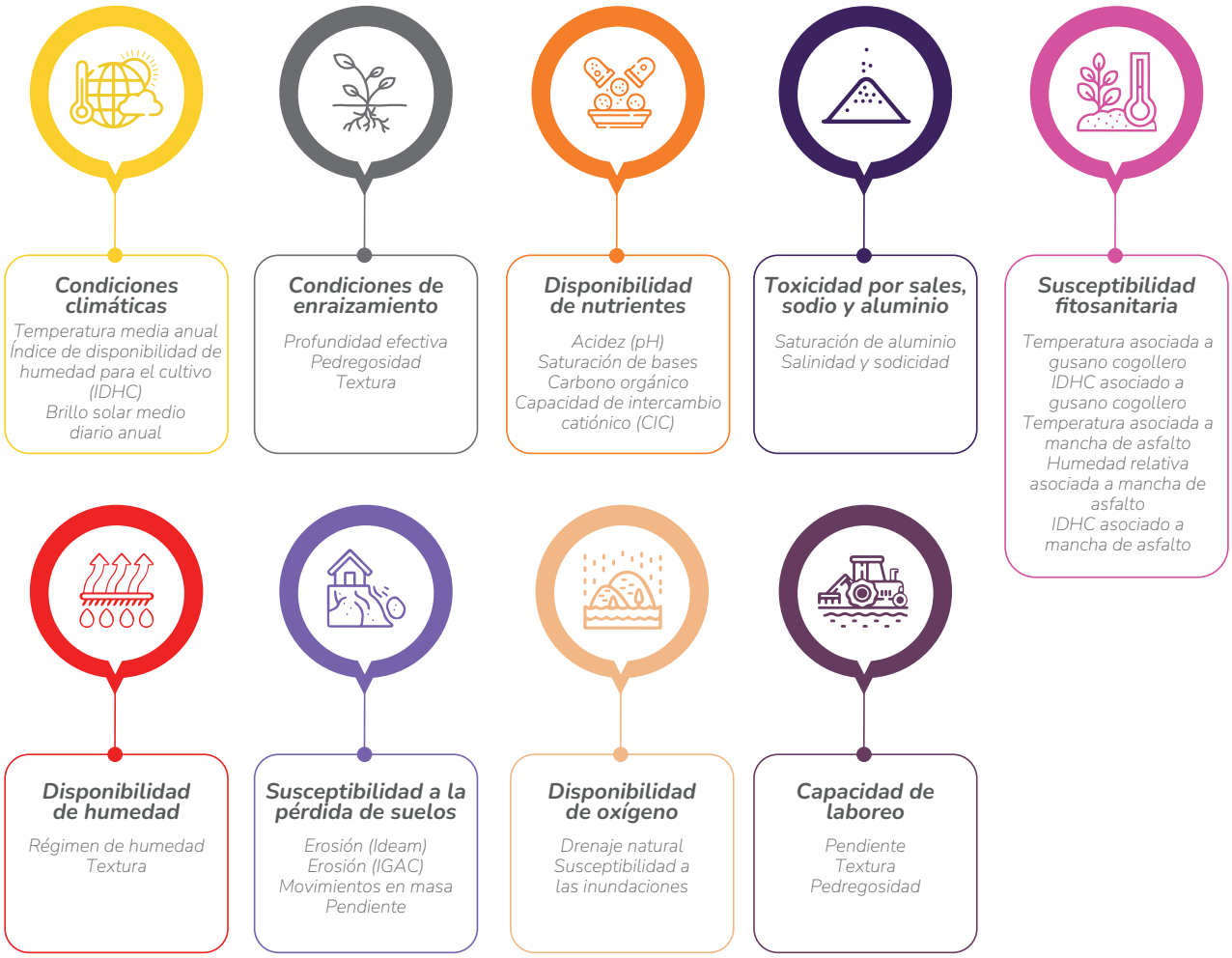
A continuación, se presentan los criterios y variables de los componentes físico, socioecosistémico y socioeconómico que generan la aptitud para el cultivo de maíz tradicional en Colombia a escala 1:100.000. Esta información está contenida en las fichas metodológicas de criterios y variables de análisis jerárquico —incluidas en los anexos del presente documento—, las cuales exponen datos relacionados con la definición, la importancia, los rangos de evaluación, los limitantes, la metodología utilizada para el procesamiento, la representación cartográfica y las fuentes de información.



3.2.1 Criterios físicos.

La importancia del componente físico radica en que, gracias al análisis de sus elementos en un espacio territorial, es posible determinar, en primera instancia, la aptitud o no de un territorio para soportar un tipo de producción definido. Según los requerimientos agronómicos para el cultivo del maíz tradicional, se han precisado algunas cualidades de la tierra a partir de este componente, las cuales identifican criterios y variables para la aplicación, y se agrupan en tres subcomponentes: el climático, el edáfico y el fitosanitario (ver Figura 8).

Figura 8. Criterios y variables del componente físico



Fuente: Elaboración propia.

Subcomponente climático. Según los estudios agroclimáticos realizados sobre el cultivo del maíz, para la zonificación de aptitud se precisan los elementos climáticos que tienen mayor incidencia en las fases del cultivo, como la temperatura media anual, el balance de humedad o el índice de disponibilidad de humedad de cultivo (IDHC) y el brillo solar (ver Tabla 14).

Tabla 14. Variables del subcomponente climático

Criterio	Definición	Variables (definición)
Condiciones climáticas	Conjunto de elementos climáticos o propiedades del sistema climático, definidas como variables, que interactúan en las capas inferiores de la atmósfera y que afectan directamente la fisiología de las plantas (FAO, 1976; UPRA y Universidad Nacional de Colombia, 2013).	***Temperatura media anual:*** medida del estado térmico del aire con respecto a la habilidad de transmitir calor a su alrededor. Depende de la latitud y la altitud; se toma generalmente como índice de balance calórico, expresado en grados centígrados (Ideam, 2014).
		Índice de disponibilidad de humedad del cultivo (IDHC): índice de la relación mensual entre la precipitación y la evapotranspiración actual del cultivo. Se refiere no sólo a la cantidad de agua que suministra la precipitación en un determinado mes y que es evapotranspirada, sino también a la evapotranspiración del cultivo mensual llevado a una medida de tendencia anual, expresada en valores que oscilan entre 0 y 1.
		Brillo solar medio diario anual: cantidad de horas en la que los rayos del sol llegan directamente sobre la superficie terrestre. Además de *brillo solar*, recibe el nombre de *insolación* (Ideam 2014).

Fuente: Elaboración propia.

Subcomponente edáfico. Como cuerpo natural y complejo, el suelo cumple una función vital en el desarrollo de los cultivos, ya que la supervivencia de las especies vegetales depende en gran medida de sus características. Así pues, el cultivo del maíz requiere de condiciones óptimas para la siembra, establecimiento, crecimiento, desarrollo y cosecha, cuyas principales cualidades se refieren a la a disponibilidad de nutrientes, la capacidad de laboreo, las condiciones de enraizamiento, la disponibilidad de humedad y la disponibilidad de oxígeno (ver Tabla 15).

Tabla 15. Criterios y variables del subcomponente edáfico

Criterio	Definición	Variables (definición)
Condiciones de enraizamiento	Conjunto de características físicas del suelo que permiten el desarrollo de las raíces, tanto de forma vertical como horizontal.	***Profundidad efectiva:*** espacio en el que las raíces de las plantas pueden penetrar sin restricciones para conseguir el agua y los nutrientes indispensables. También se define como 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 un diámetro inferior a dos milímetros (Malagón y Montenegro, 1990). Se relaciona con la resistencia que ejerce el suelo en la penetración 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). Se relaciona con el efecto sobre el volumen y el espacio de exploración de las raíces.
Disponibilidad de nutrientes	Cualidad de un suelo que permite proporcionar compuestos en cantidades y un balance apropiados para el crecimiento de plantas específicas, 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+) e iones hidróxido (OH–) en la solución del suelo que define el grado de acidez o alcalinidad de un suelo, expresado como un valor de pH (Soil Science Society of America [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 total determinada a un pH de 7 y normal. A menudo, se expresa como un porcentaje (SSSA, 2018).
		Carbono orgánico: el carbono orgánico del suelo se encuentra en el humus no sólo en forma de residuos orgánicos alterados de plantas, animales y microorganismos, tanto vivos como muertos; sino también en forma muy condensada, casi como carbono elemental, es decir, carbón vegetal, grafito y carbón (Jackson, 1958).

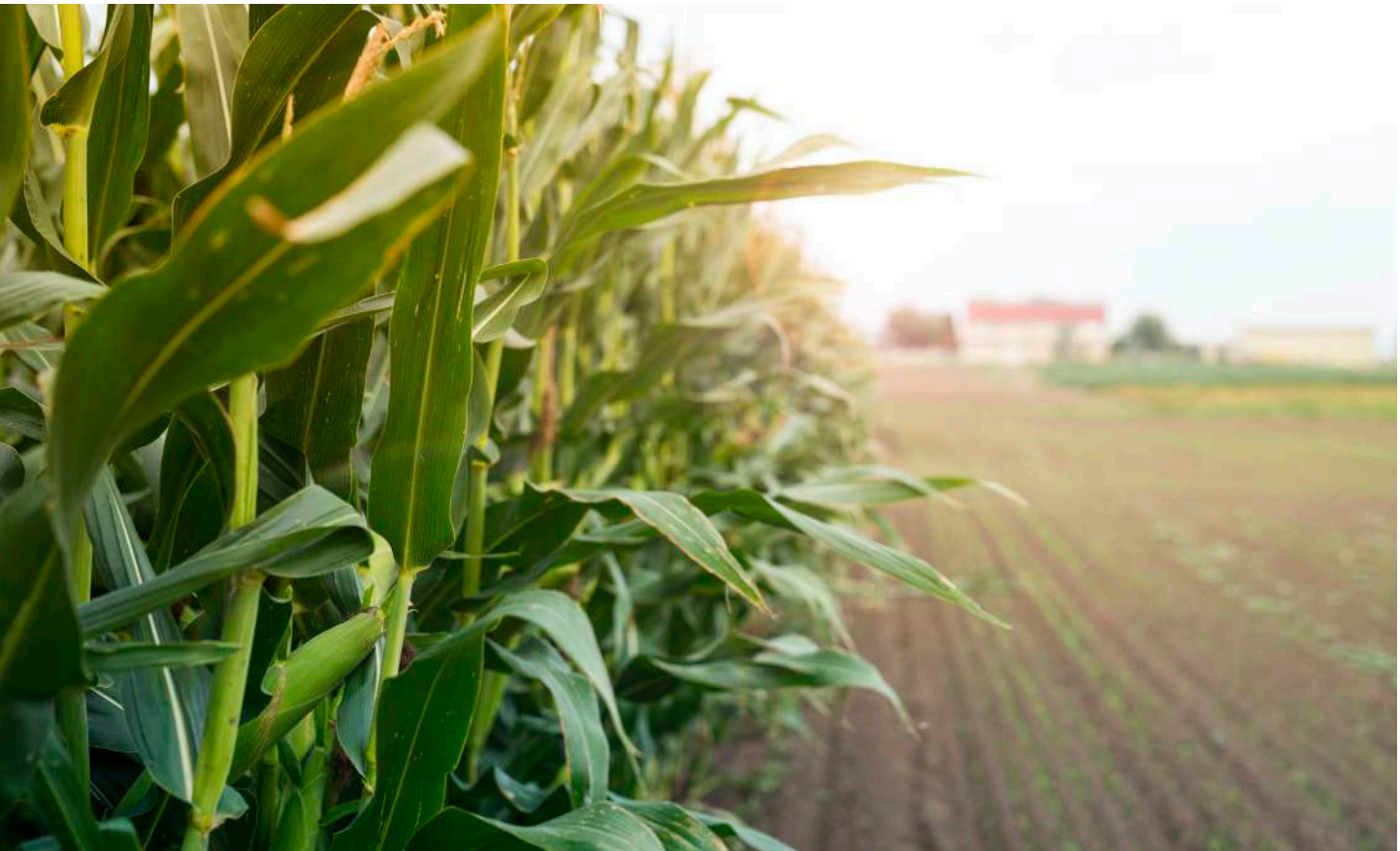
Criterio	Definición	Variables (definición)
Disponibilidad de nutrientes	Considera las relaciones químicas en la zona radicular del suelo, de cara a las posibilidades de absorción de nutrientes disponibles para el crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas. Estas relaciones, según las características de las unidades de tierra a escala 1:100.000, están en función de la acidez (pH), la capacidad de intercambio catiónico, la saturación de bases y el contenido de carbono orgánico (FAO, 1976).	Se relaciona con la cantidad disponibilidad de nitrógeno en el suelo, cuyo aporte mineral es escaso. La materia orgánica también modifica el grado de acidez hacia valores cercanos a los neutros; aumenta la solubilidad de varios nutrientes; y proporciona coloides de alta capacidad de intercambio catiónico. ***Capacidad de intercambio catiónico (CIC):*** de acuerdo con Chapman (como se citó en Malagón y Montenegro, 1990), los cationes que están retenidos tanto en la superficie de minerales del suelo como dentro del enrejado cristalino de algunos minerales y los que hacen parte de ciertos compuestos orgánicos pueden ser reversiblemente reemplazados por los de soluciones salinas y ácidas. La suma de estos cationes se define como la capacidad de intercambio catiónico, que se suele expresar en miliequivalentes por cada cien gramos de suelo, centimoles por kilogramo de suelo, milimoles de carga por kilogramo de suelo o del material edáfico al que se le determinó. La capacidad de intercambio de cationes y aniones es una de las características más importantes del suelo, ya que, independientemente de otras interpretaciones, 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).
Toxicidad por sales, sodio y aluminio	Presencia de elementos en el suelo en concentraciones mayores a las requeridas que son tóxicos para las plantas de maíz tradicional, lo cual no sólo restringe el crecimiento y la producción, sino que también produce efectos adversos sobre algunas propiedades de los suelos.	***Salinidad o sodicidad:*** contenido alto de sales solubles o sodio intercambiable en el suelo. El contenido de sales se determina normalmente en términos de la conductividad eléctrica (CE), pero también puede expresarse con cantidad o porcentaje de sales en el suelo y con cantidad de aniones en la fracción de cambio. El sodio se determina como el porcentaje de sodio intercambiable (PSI).

Criterio	Definición	Variables (definición)
Toxicidad por sales, sodio y aluminio	Presencia de elementos en el suelo en concentraciones mayores a las requeridas que son tóxicos para las plantas, lo cual no sólo restringe el crecimiento y el desarrollo vegetal, sino que también genera efectos adversos sobre algunas propiedades de los suelos.	La salinidad y la sodicidad pueden presentarse en forma natural o adquirida. En forma natural, se asocian con el fenómeno climático de aridez y con los materiales de origen ricos 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 relacionan con los riegos prolongados con aguas de altos contenidos de sales, así como con aguas de buena calidad pero mal manejadas en climas con regímenes de humedad ústico (Garavito, 1979).
		Saturación de aluminio: proporción de iones de aluminio en el complejo de cambio y en la solución del suelo. Se debe a los iones de aluminio y de hidrógeno intercambiables (desplazables) con una sal neutra (KCl). También incluye pequeñas cantidades de hierro, manganeso y zinc intercambiables (Garavito, 1979). La saturación de aluminio del suelo hace referencia a la acidez debida al ion aluminio que es soluble en suelos ácidos con pH menor a 5,5, lo cual afecta el desarrollo de las plantas, pues inhibe la división celular, causa deficiencias de fósforo e impide la absorción del calcio, del magnesio y del potasio.
Disponibilidad de humedad	Capacidad que tienen los suelos de almacenar y suministrar agua para las plantas en cantidades suficientes para su desarrollo en condiciones naturales. Se relaciona con el contenido y el movimiento interno del agua en el suelo y con la posibilidad de retención de humedad durante el año, que depende de las clases texturales de los suelos y de los regímenes pluviométricos.	***Régimen de humedad:*** se refiere a la presencia o ausencia de un manto freático o del agua retenida a una tensión inferior a los 1500 kilopascales en la sección del control de humedad del suelo durante un periodo correspondiente a un año (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 un diámetro inferior a dos milímetros (Malagón y Montenegro, 1990). Se relaciona con la capacidad de almacenar agua.

Criterio	Definición	Variables (definición)
Susceptibilidad a la pérdida de suelos	Grado de vulnerabilidad de las tierras de ser afectadas por los agentes erosivos. Aunque suele ser un proceso natural, puede incrementarse por el uso y manejo inadecuado que podría originar una disminución de la productividad (FAO, 1976).	***Fases por grado de erosión:*** desgaste actual de la superficie de la tierra por 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 del viento, que es mediada por los seres humanos y trae 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 causado o inducido por la acción humana de modo accidental en función de la probabilidad de ocurrencia espacial y temporal (Ávila *et al*., 2016).
Disponibilidad de oxígeno	Cualidad que indica las condiciones de aireación del suelo. Cuando el suelo está libre de saturación de agua, los poros del suelo permiten la libre circulación de dióxido de carbono hacia la atmósfera y la entrada del oxígeno del exterior para ser absorbida por las raíces.	***Susceptibilidad a inundaciones:*** desbordamiento del agua fuera de los confines considerados 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 remoción del agua del suelo por la escorrentía y el flujo a través del suelo a los espacios subterráneos (Klingebiel & Montgomery, 1961). El drenaje natural combina los drenajes interno y externo del suelo; además, tiene en cuenta la relación de la pendiente, la escorrentía y la infiltración con las evidencias de procesos de óxido-reducción, los colores gley y la profundidad a la cual aparece el nivel freático (Cortés y Malagón, 1984).

Criterio	Definición	Variables (definición)
Capacidad de laboreo	La labranza se define como la manipulación química, física o biológica de los suelos para optimizar la germinación, la emergencia de las plántulas y el establecimiento del cultivo. Hoy en día, esta definición incluye todas las operaciones involucradas en la producción de un cultivo, aun cuando el suelo no se haya intervenido, lo cual tendrá una marcada influencia en la condición edáfica (Siemens, Dickey, & Threadgill, 1992).	***Pendiente:*** grado de inclinación de una superficie desde la horizontal, generalmente expresada en porcentaje o grados (SSSA, 2018). Se relaciona con las condiciones para el desplazamiento de las personas y elementos de trabajo a través del cultivo.
		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 un diámetro inferior a dos milímetros (Malagón y Montenegro, 1990). Se relaciona con la resistencia que ejerce el suelo en las diferentes 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 *et al*., 1987). Incide en la integridad de los implementos agrícolas, pues limita las prácticas de laboreo y disminuye el área útil por unidad de superficie. 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.

Fuente: Elaboración propia.



Subcomponente fitosanitario. Comprende lo relacionado con plagas y enfermedades de importancia económica. Para la presente zonificación de aptitud, se analizó el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y el complejo de la mancha de asfalto (*Phyllachora maydis*, *Monographella maydis* y *Coniothyrium phyllachorae*), pues son los principales problemas fitosanitarios en condiciones de campo (ver Tabla 16).

Tabla 16. Variables del subcomponente fitosanitario del cultivo del maíz

Criterio	Definición	Variables (definición)
Susceptibilidad fitosanitaria	Conjunto de condiciones ambientales que favorecen la presencia de plagas o enfermedades de importancia económica para el cultivo, que, para el caso del maíz tradicional, se asocian al gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y a la mancha de asfalto, causada por el complejo *Phyllachora maydis*, *Monographella maydis* y *Coniothyrium phyllachorae*.	***Temperatura asociada al gusano cogollero:*** relación existente entre la temperatura y la plaga. A mayor temperatura, se presenta menor aptitud.
		IDHC asociado al gusano cogollero: relación existente entre el balance de humedad y la plaga. A mayor índice de disponibilidad de humedad del cultivo, se presenta mayor aptitud.
		Temperatura asociada a la mancha de asfalto: relación existente entre la temperatura y la enfermedad. A mayor temperatura, se presenta menor aptitud.
		IDHC asociado a la mancha de asfalto: relación existente entre el balance de humedad y la enfermedad. A mayor índice de disponibilidad de humedad del cultivo, se presenta menor aptitud.
		Humedad relativa asociada a la mancha de asfalto: relación existente entre la humedad y la enfermedad. A mayor humedad relativa, se presenta menor aptitud.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2 Criterios socioecosistémicos.

El enfoque socioecosistémico considera la biodiversidad, los bienes y los servicios ecológicos vinculados estrechamente a los sistemas sociales en los que el hombre, la sociedad y la cultura, como componentes centrales de los ecosistemas, modelan y se adaptan a los cambios de la naturaleza. De esta manera, como un enfoque cuyas estrategias de gestión deben considerar la dinámica tanto en las escalas de la organización biológica como en las interacciones entre los sistemas ecológicos y sociales, el objeto último del enfoque socioecosistémico es no sólo el uso sostenible de los bienes y servicios de los ecosistemas, sino también el mantenimiento de la integridad ecológica, paradigma de conservación para el bienestar humano (Martín-López *et al.*, 2009, como se citaron en UPRA, 2014; MADS, 2023, como se citó en UPRA, 2014).

En la zonificación de aptitud del cultivo del maíz tradicional, este enfoque adquirió una relevancia trascendental, puesto que, transversal a los demás componentes de análisis, fundamentó el mantenimiento equitativo del capital natural, a saber: la biodiversidad, la integridad ecológica y la prestación de bienes y servicios ambientales. Para ello, incluye a la sociedad, la economía y la cultura, sin sesgar el desarrollo de nuevas actividades por una conservación a ultranza o por puntos de vista desarrollistas y utilitaristas.

La aptitud de la tierra se entiende como la adaptabilidad de un territorio para una actividad determinada, por lo que el proyecto de zonificación se estableció desde el componente socioecosistémico, que está en estrecha relación con el potencial de uso del cultivo de maíz tradicional. Sin embargo, esta actividad no debe producir deterioros frente a los intereses de protección y conservación de la biodiversidad. Para establecer este potencial en la escala de trabajo a nivel nacional (1:100.000), se identificaron algunos atributos ecosistémicos y de paisaje, cuyas implicidad y alto valor predictivo y de síntesis permitieron obtener una interpretación desde una visión sistémica de la estructura, función y dinámica ecológica (ver Figura 9). Estos 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 *amenazas a incendios de la cobertura vegetal* (dinámica).

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

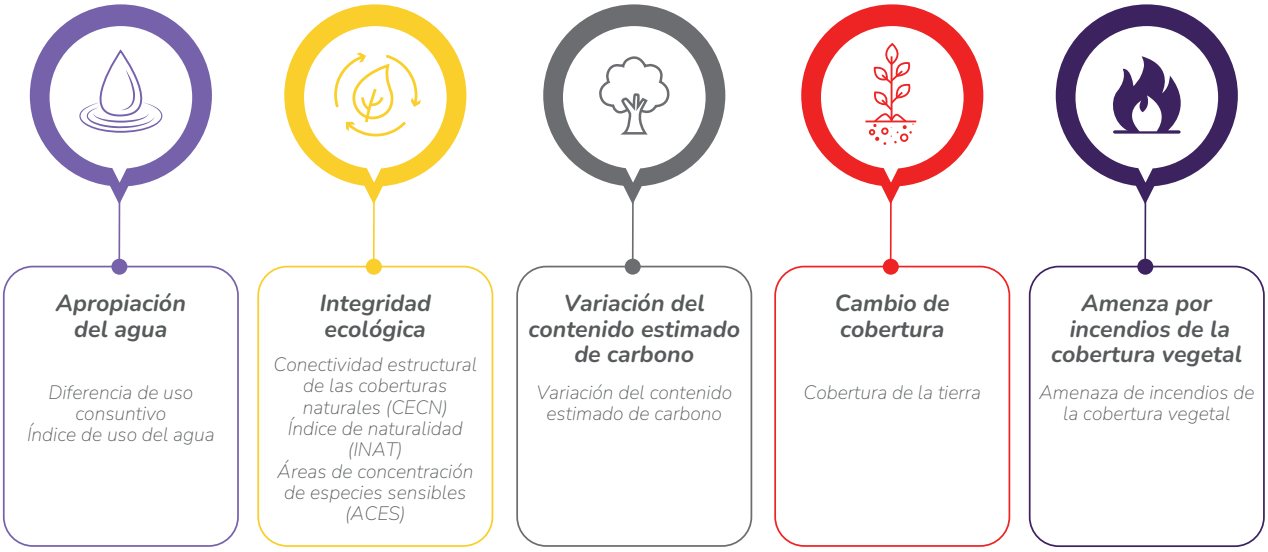


Fuente: UPRA, 2014.

Desde el componente socioecosistémico, la aptitud representa el potencial del territorio para el desarrollo del cultivo de maíz tradicional y la permanencia de la actividad. De este modo, 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. Este componente aporta a la zonificación una perspectiva estructural, funcional y dinámico-ecológica de las coberturas introducidas, no sólo en paisajes culturales, sino también en áreas con mosaicos de transformación de sus coberturas naturales.

El componente socioecosistémico aborda tres grupos: el que conforma los criterios que delimitan las áreas de aptitud (factores); el que condiciona o alerta sobre la utilización de un área para el establecimiento y desarrollo del cultivo, dados los parámetros legales —en nuestro caso, el maíz tradicional—; y el que, por aspectos normativos y legales, excluye cualquier actividad asociada a esta cadena. Para este componente, se identificaron cinco criterios y sus respectivas variables para aplicarse en la definición de la aptitud para el cultivo de maíz tradicional. En la Figura 10 y en la Tabla 17 se puede consultar el detalle de los criterios y variables del componente socioecosistémico.

Figura 10. Criterios y variables del componente socioecosistémico



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17. Criterios y variables del componente socioecosistémico

Criterio (definición)		Variable (definición)
Apropiación del agua	Representa la cantidad de agua retenida del flujo de la cuenca para satisfacer la demanda de la especie, tanto para el crecimiento como para la materia prima del sustento del cultivo. De esta agua captada por el cultivo, una parte queda contenida en la biomasa de la especie; otra retorna a la cuenca en forma de excesos o menores rendimientos de aprovechamiento del riego; y otra se pierde en el balance hídrico de la cuenca, porque queda contenida en el producto que se exporta de ella para ser aprovechada por evapotranspiración desde el cultivo.	***Uso consuntivo:*** es la diferencia entre la cantidad de agua que necesita el cultivo del maíz para la evapotranspiración y la construcción celular, desde la siembra hasta la cosecha, en un régimen climático específico, de acuerdo con el uso consuntivo de las coberturas actuales.
		Índice de uso del agua (IUA): es la relación entre la oferta de una subzona hidrográfica y la demanda sectorial, incluida la del cultivo del maíz tradicional.

Criterio (definición)		Variable (definición)
Integridad ecológica	Capacidad del ecosistema de soportar el capital natural sin degradarse y de funcionar permanentemente de forma saludable o apropiada. Es una condición indispensable para la prestación, regulación y flujo de servicios ecosistémicos requeridos para la sostenibilidad de los sistemas productivos y del territorio. 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». La IE 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. En consecuencia, vincula el bienestar humano actual y futuro con el cuidado y protección tanto de la tierra como de los ecosistemas, hábitat de todas las especies (Mackey, 2005; Ciontescu, 2012).	***Conectividad estructural de las coberturas naturales (CECN):*** medida a escala del paisaje transformado que permite obtener una aproximación rápida de la continuidad de los hábitats como espacio vital requerido para el mantenimiento de la biodiversidad natural y el desarrollo de las funciones ecosistémicas.
		Índice de naturalidad por subzona hidrográfica (INAT): cantidad del espacio natural para el desarrollo de procesos ecológicos naturales esenciales y hábitats funcionales tanto para la generación de servicios ecosistémicos y la sostenibilidad del territorio como para satisfacer la demanda sobre el capital natural.
		Áreas de concentración de especies sensibles (ACES): establece lugares donde se concentran especies sensibles mediante 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. De igual forma, se integran las áreas de importancia para la conservación de aves silvestres (AICAS), por lo que, cuanto mayor sea la concentración de estas especies, dada su sensibilidad, tanto menor la aptitud para el establecimiento del cultivo de maíz tradicional. Así pues, 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 cultivo de maíz tradicional es mayor.

Criterio (definición)		Variable (definición)
Variación del contenido estimado de carbono	Es el balance resultante entre emisiones de dióxido de carbono y la captura de carbono que se generarían por el desarrollo del cultivo del maíz tradicional en las zonas con potencial y aptitud para la implementación en el país. De acuerdo con 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; de allí la importancia de incorporar la variación del contenido estimado de carbono en los procesos de zonificación de aptitud para el establecimiento y producción del cultivo del maíz tradicional.	***Variación del contenido estimado de carbono:*** permite determinar 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, los cuales pretenden disminuir la huella de carbono.
Cambio de cobertura	Es el grado de favorabilidad del cambio de la cobertura para establecer el cultivo del maíz tradicional, determinado en el marco de la sostenibilidad del territorio bajo los principios de grado de transformación de las coberturas; la importancia ecológica y ambiental de cada tipo de cobertura, de acuerdo con sus características; y la importancia de la cobertura frente a la producción agropecuaria.	***Cambio de cobertura:*** permite identificar áreas con vegetación natural sujetas a exclusiones y áreas transformadas donde es favorable establecer el cultivo del maíz tradicional bajo una visión integral del territorio. Así mismo, posibilita calificar la cobertura de acuerdo con el contexto ecológico y productivo, para lo cual identifica las zonas de menor impacto socioecosistémico como producto del cambio para el establecimiento del cultivo.
Amenaza por incendios de la cobertura vegetal	Permite medir no sólo la probabilidad que posee un área cualquiera de verse afectada por un incendio de la cobertura vegetal, sino también cómo puede afectar en mayor o menor medida los cultivos del maíz tradicional establecidos en una zona determinada.	***Amenaza por incendios de la cobertura vegetal:*** los incendios de la cobertura vegetal es uno de los mayores peligros para cualquier tipo de cultivo, ya que pueden afectar unos pocos individuos o, incluso, destruir un cultivo por completo. Con ello, se generan pérdidas económicas e impactos ambientales negativos en el suelo, la fauna y la flora cercana.

Criterio (definición)		Variable (definición)
Amenaza por incendios de la cobertura vegetal		La amenaza total de incendios de la cobertura vegetal se debe entender como un peligro latente que representa la posible manifestación de este fenómeno. Esta amenaza se expresa como la probabilidad de que un evento de este tipo se presente con cierta intensidad, en un sitio específico y en un tiempo determinado.

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). En este sentido, la competitividad constituye el factor determinante del modelo de crecimiento y desarrollo del sector agropecuario, puesto que no sólo se conforma como la condición de viabilidad de los productos en el mercado, sino que también genera oportunidades sostenibles para todos los habitantes del campo (DNP, 2010).

Tanto la sostenibilidad como el crecimiento en los niveles de competitividad dependen del logro del uso eficiente de los factores de producción; de la consolidación de altos niveles de 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 su potencial productivo y elevar la calidad de vida de la población de esas regiones. En relación con la zonificación de aptitud para el cultivo del maíz tradicional, la competitividad se expresa como la capacidad de una región (municipio) de generar las condiciones de producción que promuevan el desarrollo sostenido del cultivo del maíz. Con ello, es posible mejorar permanentemente las condiciones de vida y el bienestar de los habitantes, en particular, de los agricultores.

Con fundamento en la definición planteada, la competitividad del cultivo del maíz tradicional implica un proceso que considera los requerimientos multidimensionales para desarrollar la producción, los cuales se constituyen en criterios o variables estructurales que conducen a la competitividad y cuyo logro se traduce en mejores condiciones de vida para las comunidades. Estas mejoras en la calidad de vida evidencian la competitividad, en nuestro caso, del cultivo del maíz tradicional.

Por ser un cultivo tradicional, el maíz hace parte de la agricultura familiar, pues las actividades para la producción son desarrolladas por sus integrantes, quienes se encargan de la mano de obra, es decir: realizan las labores de preparación de la tierra, siembra y cosecha, para lo cual utilizan como semilla el material vegetal de cosechas anteriores. Esta producción es la base de la alimentación de la familia, pero, cuando genera excedentes, éstos son comercializados en mercados locales para obtener algunos ingresos adicionales dedicados a sostener y mejorar su calidad de vida.

Por lo general, la familia es dueña de algunos o todos los medios de producción, entre ellos, la tierra, que puede ser heredada de generación en generación. De tal modo, la familia puede caer inmersa en problemas de formalidad por falsas tradiciones que las excluyen temporalmente del mercado de tierras y podrían limitar el acceso a créditos formales. Incluso, algunas de estas actividades podrían necesitar contratación de mano de obra adicional para la cosecha, que suele ser cubierta por vecinos y amigos de las familias, sin que se trate de grandes producciones. Entonces, no se generan mayores excedentes para comercializar el producto, pues muchas veces se dificulta por la falta de infraestructura vial que permita transportarlo a los centros de comercialización más cercanos.

Este tipo de producciones se realizan en pequeñas parcelas de manera muy tradicional, puesto que no tienden a contar con recursos para la tecnificación. No obstante, cabe resaltar que esta actividad garantiza que el grupo familiar tenga un mínimo de alimento en su mesa, sin depender de las fluctuaciones del mercado, que pueden convertirse en una barrera de acceso a la alimentación de las personas con menores recursos. En la Figura 11 y en la Tabla 18 se pueden consultar los criterios y las variables que hacen parte del componente socioeconómico.

Figura 11. Criterios y variables del componente socioeconómico



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18. Criterios y variables del componente socioeconómico

Criterio (definición)		Variable (definición)
Asociatividad e institucionalidad	Presencia institucional del Estado, de los gremios o de las organizaciones de base de la cadena productiva, cuyo apoyo conduce a la competitividad. Identifican condiciones internas y externas a la cadena en términos de la oferta institucional y del fortalecimiento del sector del maíz tradicional.	***Cercanía a las asociaciones:*** facilidad con la que se puede alcanzar, desde otros puntos en el territorio, una asociación de productores de maíz tradicional.
		Cercanía al gremio: facilidad con la que se pueden alcanzar, desde otros puntos en el territorio, una sede de la Federación Nacional de Cultivadores de Cereales, Leguminosas y Soya (Fenalce) en los municipios productores del país.
		Cercanía a las EPSEA: facilidad con la que se pueden alcanzar, desde otros puntos en el territorio, las entidades prestadoras del servicio de extensión agropecuaria (EPSEA), las cuales tienen no sólo las capacidades humanas técnico-productivas, de mercadeo y comercialización, sino también las competencias sociales integrales y de fortalecimiento de la asociatividad, desarrollo empresarial, innovación y de investigación.
		Cercanía a Agrosavia: facilidad con la que se puede alcanzar, desde otros puntos en el territorio, un centro de Agrosavia, entidad cuya función consiste en desarrollar y ejecutar actividades de investigación, tecnología y transferencia de procesos de innovación tecnológica en el sector agropecuario.
		Cercanía al ICA: facilidad con la que se puede alcanzar, desde otros puntos en el territorio, una sede del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), entidad oficial que se encarga de elevar el estatus sanitario para mejorar las condiciones de inocuidad de la producción agroalimentaria nacional y aumentar la competitividad de las actividades agropecuarias.

Criterio (definición)		Variable (definición)
Infraestructura y logística	Conjunto de medios técnicos, bienes, servicios e instalaciones necesarios para el desarrollo de las actividades de producción, comercialización y distribución del maíz tradicional.	***Existencia de cultivos:*** corresponde a los predios donde se encuentran cultivos con área sembrada georreferenciada.
		Cercanía a centros de comercialización local: facilidad con la que se puede acceder a las plazas de mercado de los centros urbanos con menos de 30.000 habitantes como alternativa viable para la comercialización del maíz tradicional.
		Cercanía a centros de servicios: facilidad con la que se pueden alcanzar áreas donde existe oferta de bienes y servicios para abastecer las necesidades del cultivo del maíz tradicional. El centro de servicios se define como poblaciones con más de 30.000 habitantes que sintetizan sus oportunidades de contacto e interacción.
		Cercanía a centros de almacenamiento: facilidad con la que se puede acceder a un centro logístico donde se almacenan y se establecen las directrices para la salida de los productos (silos y secadoras) mediante un sistema de distribución y transporte al comercio tanto minorista como mayorista.
		Cercanía a plantas procesadoras: facilidad con la que se puede acceder, desde un punto del territorio, a una planta de procesamiento industrial donde se transforma la materia prima fresca en harina, arepas y otros productos.
Disponibilidad de mano de obra	Identifica las condiciones que afectan la disponibilidad de mano de obra a nivel municipal, teniendo en cuenta el nivel de cualificación y las posibilidades de acceso a programas de formación académica, de acuerdo con las necesidades de los productores del maíz tradicional.	***Densidad poblacional rural en edad de trabajar/km²:*** 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 programas de educación técnica y tecnológica relacionados con la producción agrícola.
		Oferta educativa técnica, tecnológica y universitaria: cercanía a programas de pregrado, relacionados con la agronomía y la ingeniería agronómica en Colombia.

Criterio (definición)		Variable (definición)
Dinámica del mercado de tierras	Busca identificar el impacto del tamaño, la formalidad, el arriendo rural y el precio de los predios mediante el avalúo catastral como un *proxi* de su tendencia en la actividad agrícola, con el fin de focalizar las inversiones en el sector.	***Tamaño predial:*** superficie de terreno en rangos de tamaños definidos de acuerdo con las dimensiones consideradas óptimas para una productividad competitiva.
		Avalúo catastral rural: definición, por parte de una entidad de orden público pertinente, del valor de los predios, el cual se ha obtenido a través de estudios y análisis estadísticos del mercado de inmuebles. Se determina por la adición de los avalúos parciales practicados de amera independiente tanto para los terrenos como para las edificaciones en él comprendidas (IGAC, 2023)
		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 determinado.
		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 a la propiedad, de acuerdo con el principio constitucional del derecho a la propiedad privada
Condiciones de vida	Mide el grado de privación de los hogares en un conjunto de dimensiones y permite determinar tanto la naturaleza de la privación como su intensidad y profundidad.	***Trabajo:*** porcentaje de hogares de los centros poblados y rurales dispersos con privaciones combinadas en las variables *trabajo informal* y *tasa de dependencia*.
		Salud: porcentaje de hogares de los centros poblados y rurales dispersos con privaciones combinadas en las variables *barreras de acceso a servicios* y *sin aseguramiento en salud*.
		Condiciones de niñez y juventud: porcentaje de hogares de los centros poblados y rurales dispersos con privaciones combinadas en las variables *barreras de acceso a servicios para cuidado de la primera infancia*, *trabajo infantil*, *inasistencia* y *rezago escolar*.

Criterio (definición)		Variable (definición)
Condiciones de vida	Este índice permite observar patrones de pobreza distintos a los de la pobreza monetaria.	***Condiciones de vivienda y servicios públicos*:** porcentaje de hogares de los centros poblados y rurales dispersos con privaciones combinadas en las variables *hacinamiento crítico, inadecuada eliminación de excretas, material inadecuado de paredes y pisos* y *sin acceso a fuentes de agua mejorada.*
		Condiciones educativas: porcentaje de hogares de los centros poblados y rurales dispersos con privaciones combinadas en las variables *analfabetismo* y *bajo logro educativo.*
Indicadores económicos	Muestra el grado de endeudamiento y los incentivos tributarios a las zonas más afectadas por el conflicto y la contribución de este renglón a la generación de valor agregado y al apalancamiento económico en los municipios.	***Créditos otorgados:*** Créditos otorgados: créditos otorgados, a nivel municipal, por parte de las líneas especiales subsidiadas en tasa de interés por Finagro y respaldo colateral del Fondo Agrícola de Garantías (FAG), y en valores para el año 2020 del promedio anual 2016-2020.
		Valor agregado agrícola municipal: aproximación al valor generado por actividades agrícolas en un municipio.
		Desempeño municipal: Mide y compara el desempeño municipal de las entidades territoriales. Se entiende como la capacidad de gestión y de resultados de desarrollo, es decir, el aumento de la calidad de vida de la población, teniendo en cuenta las capacidades iniciales para incentivar una mejor gestión, la calidad del gasto y la inversión orientada a resultados (DNP, 2017).
		Zonas más afectadas por el conflicto armado (ZOMAC): estímulo tributario que se aplica a las zonas más afectadas por el conflicto armado, las cuales están constituidas por 344 municipios que son considerados como los más golpeados por la violencia.

Criterio (definición)		Variable (definición)
Seguridad ciudadana	Ausencia de peligro o afectaciones a la integridad física, de riesgo de pérdida de la libertad y del patrimonio por situaciones adversas. Es una situación en la que las personas pueden vivir libres de la violencia y el delito.	***Hurtos rurales:*** «Acto con el cual alguien se apodera de una cosa mueble ajena, con el propósito de obtener provecho para sí o para otro. Se considera hurto calificado si se cometiere con violencia sobre las cosas, colocando a la víctima en condiciones de indefensión o inferioridad o aprovechándose de tales condiciones mediante penetración o permanencia arbitraria, engañosa o clandestina en lugar habitado o en sus dependencias inmediatas, aunque allí no se encuentren sus moradores, con escalamiento o con llave sustraída o falsa, ganzúa o cualquier otro instrumento similar, o violando o superando seguridades electrónicas u otras semejantes» (Policía Nacional de Colombia [PONAL], 2023a).
		Homicidios rurales: La palabra *homicidio* deriva del vocablo latino *homicidium*, y se 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 puede definir 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)» (PONAL, 2023b).
		Extorsiones rurales: «Acto en el que se obliga a una persona, a través del uso de violencia o intimidación, a realizar u omitir un acto jurídico o negocio jurídico con ánimo de lucro y con la intención de producir un perjuicio de carácter patrimonial». Quien comete este delito está definido en el Código Penal colombiano como el que constriña a otro a hacer, tolerar u omitir alguno con el objetivo de aprovecharse ilícitamente o cualquier utilidad o beneficio ilícito para sí mismo o un tercero (PONAL, 2023b).
		Secuestros rurales: «Acto en el que se detiene ilegalmente a una o más personas en contra de su voluntad, mediante el empleo de la fuerza, amenazas, el engaño, 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).

Fuente: Elaboración propia.

3.3 Rangos de aptitud y exclusiones técnicas

Para efectos de la zonificación de aptitud del cultivo del maíz tradicional, se tomaron como referencia las categorías que la UPRA ha utilizado en los ejercicios de zonificación desarrollados hasta el año 2021, que corresponden a las categorías de aptitud competitiva, a saber: *aptitud alta* (A1), *aptitud media* (A2), *aptitud baja* (A3) y *no apto* (N1). Así mismo, se tuvieron en cuenta las categorías de *exclusiones* y *condicionantes legales* (ver Tabla 19).

Tabla 19. Categorías para la zonificación de aptitud de cultivos

Categoría		Definición
Aptitud		
A1	**Alta**	Zonas con las mejores condiciones desde el punto de vista físico, socioecosistémico y socioeconómico.
A2	**Media**	Zonas con limitaciones moderadas de tipo físico, socioecosistémico o socioeconómico.
A3	**Baja**	Zonas con fuertes limitaciones de tipo físico, socioecosistémico o socioeconómico, las cuales podrían adecuarse con grandes inversiones o el desarrollo de nuevas tecnologías.
N1	**No apta**	Zonas con restricciones físicas y socioecosistémicas que imposibilitan el desarrollo de la actividad.
Exclusiones legales		
N2	**Exclusión legal**	Zonas en las cuales, por mandato legal, no se permite el desarrollo del cultivo del maíz tradicional.
Condicionantes legales		
C1	**Condicionante legal**	Zonas que, independientemente de la categoría de aptitud, requieren de un análisis complementario de tipo legal, social, cultural o ambiental para el desarrollo del cultivo del maíz tradicional.

Fuente: UPRA, 2014.

3.3.1. Criterios y variables del componente físico.

En cuanto al componente físico, se definieron las áreas de aptitud, para lo cual se diferenciaron las de aptitud alta (A1), las de aptitud moderada (A2) y las de aptitud baja (A3). Del mismo modo, se definieron las áreas de exclusión técnica (N1), donde, dados los requerimientos específicos del cultivo en términos de clima y suelos, se presentan restricciones que imposibilitan el desarrollo de la actividad. En la Tabla 20 se registran los rangos de aptitud para calificar el componente físico para el cultivo del maíz tradicional, que incluye las exclusiones técnicas (N1).

Tabla 20. Rangos de aptitud definidos desde el componente físico

Subcomponente	Criterios	Variables	Unidad de medida	Aptitud			
				Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	No apta (N1)
Climático	*Condiciones climáticas*	***Temperatura media anual***	°C	>13	10-13	8-10	<8
		Índice de disponibilidad de humedad para el cultivo (IDHC)	Cualitativa	0,75-0,95	0,6-0,75 y 0,95-0,99	0,4-0,6 y >0,99	<0,4
		Brillo solar medio diario anual	Horas/día	>4	3-4	<3	—
Edáfico	*Condiciones de enraizamiento*	***Profundidad efectiva***	cm	Muy profundo, profundo, moderadamente profundo (>50)	Superficial 25-50	Muy superficial <25	*Lithic, petroferric, petrocalcic, petrogypsic* (consociaciones)
		Textura	Cualitativa (clases texturales)	F, FL, FA, L, FArA, FArL FAr	ArA, ArL, A, AF, orgánicos (oxisoles, ultisoles, subgrupos *oxic*, arcillosos)	Ar	—
		Pedregosidad	Cualitativa (fases cartográficas de pedregosidad)	Sin fase de pedregosidad	Con fase de pedregosidad	—	—
	Disponibilidad de nutrientes	***Acidez (pH)***	pH	5,0-7,3	4,5-4,9 y 7,4-8,4	<4,5 y >8,4	—
		Saturación de bases	Porcentaje (%)	>35	10-35	<10	—
		Carbono orgánico	Porcentaje (%)	1,7-10 (andisoles ≤15)	0,5-1,7 >10 (andisoles >15)	<0,5	Histosoles
		Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	cmol/kg de suelo	>20	10-20	<10	—

Subcomponente	Criterios	Variables	Unidad de medida	Aptitud			
				Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	No apta (N1)
Edáfico	*Toxicidad por sales, sodio y aluminio*	***Salinidad o sodicidad***	ds/m	≤2	2-4	4-8	>8
			PSI	<15 (no sódico)	—	—	>15 (sódico, salino-sódico)
		Saturación de aluminio	Porcentaje (%)	<30	30-60	>60	—
	Disponibilidad de humedad	***Régimen de humedad***	Cualitativa (régimen de humedad)	Údico, perúdico	Ústico,	Ácuico	Perácuico, arídico
		Textura	Cualitativa (clases texturales)	FAr, FArA, FArL, Ar, ArA, ArL, F, FL (andisoles)	FA, L (orgánicos)	A, AF (*psamments*)	—
	Susceptibilidad a la pérdida de suelos	***Fases por grado de erosión***	Cualitativa, producto de la combinación de fases de erosión, degradación de suelos por erosión, pendiente y amenaza por movimientos en masa	Baja susceptibilidad a la pérdida de suelo para la producción del cultivo	Condiciones que presentan moderada susceptibilidad a la pérdida de suelo para la producción del cultivo	Condiciones que presentan fuerte susceptibilidad a la pérdida de suelo para la producción del cultivo	Restricciones por susceptibilidad a la pérdida de suelo que imposibilitan la producción del cultivo
		Degradación de suelos por erosión					
		Pendiente					
		Amenaza por movimientos en masa					
	Disponibilidad de oxígeno	***Susceptibilidad a inundaciones***	Cualitativa (fases cartográficas de inundabilidad)	—	Cortas	Largas, muy largas	—
		Drenaje natural	Cualitativa (clases de drenaje)	Bueno	Moderado, moderadamente excesivo, excesivo	Imperfecto y pobre	Muy pobre

Subcomponente	Criterios	Variables	Unidad de medida	Aptitud			
				Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	No apta (N1)
Edáfico	*Capacidad de laboreo*	***Pendiente***	Porcentaje (%)	<25	25-50	50-75	>75
		Textura	Cualitativa (clases texturales)	F, FL, FA, FArA, FArL, FAr,	ArA, ArL, L, orgánicos (oxisoles, ultisoles subgrupos *oxic*, arcillosos)	A, AF, Ar	—
		Pedregosidad	Cualitativa (fases cartográficas de pedregosidad)	Sin fase de pedregosidad	Con fase de pedregosidad	—	—
Fitosanitario	*Susceptibilidad fitosanitaria*	***Temperatura asociada a la mancha de asfalto***	°C	<22	22-28	>28	—
		Humedad relativa asociada a la mancha de asfalto	%	<80	80-85	>85	—
		IDHC asociado a la mancha de asfalto	Cualitativa	>0,8	0,8-0,9	>0,9	—
		Temperatura asociada al gusano cogollero	°C	<22	22-26	>26	—
		IDHC asociado al gusano cogollero	Cualitativa	>0,8	0,75-0,8	<0,75	—

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 se asocian a tres categorías: la primera, ***cambio de cobertura***, se refiere a las áreas de exclusión identificadas que, por sus características naturales o por algún valor de identidad sociocultural reconocido, deben ser protegidas y mantener la cobertura actual, por lo que no puede establecerse el cultivo del maíz; la segunda, ***ecosistemas estratégicos***, considera los ecosistemas de manglares y bosques secos como zonas de importancia ambiental que se han priorizado para la protección y conservación debido a la importancia ecosistémica o al nivel de amenaza, por lo que son incompatibles con el cultivo del maíz; la tercera, ***coberturas de bosques***, abarca las áreas que fueron deforestadas después del año 2010 y que fueron identificadas con el análisis de la cuantificación de la deforestación en Colombia (Cabrera *et al.*, 2011), zonas que no podrán ser objeto de ningún tipo de actividad agrícola.

De tal modo, se tomó el año 2010 como fecha límite, en concordancia con la *Tercera comunicación nacional de Colombia ante la Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático*, donde se evidencia que Colombia es un país altamente vulnerable a los efectos de la variabilidad del clima y del cambio climático. Esto pone en riesgo la sostenibilidad del desarrollo y hace necesaria la

implementación de estrategias para la adaptación a los impactos que tendrán estos fenómenos sobre la población, el medio ambiente y la economía del país.

De acuerdo con lo anterior, la exclusión de las áreas deforestadas después del 2010 se enmarcó en la *Estrategia colombiana de desarrollo bajo en carbono* del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS, 2023) y la *Estrategia nacional para la reducción de las emisiones debidas a la deforestación y la degradación forestal en los países en desarrollo*. En la Tabla 21 se pueden observar los rangos de aptitud para la calificación de variables del componente socioecosistémico.

Tabla 21. Rangos de aptitud definidos desde el componente socioecosistémico para el cultivo del maíz tradicional

Criterio	Variable	Unidad de medida	Aptitud			
			Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	No apta (N1)
Apropiación del agua	*Diferencia de uso consuntivo*	mm/año	El cultivo evapotranspira menos que la cobertura actual. El uso consuntivo es menor <422	La evapotranspiración del cultivo es similar a la de la cobertura actual. El uso consuntivo es moderado 422-902	La cobertura actual evapotranspira menos que el cultivo. El uso consuntivo es alto o muy alto >902	—
	Índice de uso del agua	Mm^3	>3000	1000-3000	<1000	—
Integridad ecológica			**IE = *a*(CECN) + *b*(INAT) + *c*(ACES), donde *a*=0,6175; *b*=0,2968; *c*=0,0856**			
	Conectividad estructural de las coberturas naturales (CECN)	Costo-distancia acumulada	Conectividad baja >17.000.000	Conectividad media 0-17.000.000	Conectividad alta 0	—

Criterio	Variable	Unidad de medida	Aptitud			
			Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	No apta (N1)
Integridad ecológica	*Índice de naturalidad por subzona hidrográfica (INAT)*	%	Naturalidad muy baja-vital (0-5 %) Naturalidad baja-estratégica (5-30 %) Naturalidad moderada (30-50 %)	Naturalidad media-alta (50-75 %)	Naturalidad muy alta-protección (75-100 %)	—
	Áreas de concentración de especies sensibles (ACES)		**Áreas prioritarias de conservación (APC)**			
			Áreas sin identificación de APC (*Ln*(*D*) < –10,02)	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)	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)	—
			Áreas de importancia para la conservación de aves (AICA)			
			Zonas de muy baja densidad de especies sensibles <2,3 Áreas sin identificación o baja presencia de APC Ausencia de AICAS *Ln*(*D*) <–8,085) Áreas sin importancia para especies migratorias 1,5-2,75	Zonas de baja densidad de especies sensibles 1,6-2,3 APC con alta presencia de especies sensibles AICAS con densidad muy baja o baja de especies sensibles *Ln*(*D*) = de –8,085 a –4,189) Áreas de importancia moderada o alta para especies migratorias 1,0-1,5	Zonas de moderada, alta y muy alta densidad de especies sensibles 1-1,6 APC con densidad muy alta asociada a coberturas naturales AICAS con moderada, alta y muy alta densidad de especies sensibles *Ln*(*D*) = de –4,189 a 1,670) Áreas de importancia muy alta para especies migratorias 0,7-1,0	—

Criterio	Variable	Unidad de medida	Aptitud			
			Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	No apta (N1)
Variación del contenido estimado de carbono		**Áreas críticas para especies migratorias en paisajes agropecuarios**				
			>1,911	1,658-1,911	<1,658	—
		tC/ha/año	El cultivo es sumidero de carbono <85	El cultivo está en equilibrio entre la emisión y la captura de carbono 85-93	El cultivo es fuente de emisión de carbono >93	—
Cambio de cobertura	***Cobertura de la tierra***	Favorabilidad del cambio de cobertura	Zonas de alta favorabilidad para el establecimiento del cultivo de maíz tradicional, donde predominan los cultivos transitorios dedicados a la producción de alimentos, como arroz, maíz, hortalizas y papa; y los cultivos permanentes para la producción de materias primas, industriales como caña y algodón. Predominan, además, áreas de pastos limpios, enmalezados y arbolados, y zonas quemadas; mosaico de cultivos y mosaicos de pastos y cultivos	Zonas de moderada favorabilidad para el establecimiento del cultivo de maíz tradicional. Son dedicadas a usos agrícolas, donde predominan los cultivos permanentes herbáceos y arbustivos; algunos pastos limpios y enmalezados; mosaicos de pastos y cultivos; y mosaicos de cultivos, pastos y espacios naturales	Zonas con favorabilidad marginal para el establecimiento del cultivo de maíz tradicional. Corresponden a coberturas en donde predominan los cultivos de ciclo corto o permanentes dedicados a la producción de alimentos humanos, plantaciones forestales y cultivos agroforestales; mosaicos que involucran espacios naturales; y algunas unidades de coberturas naturales, como los herbazales densos de tierra firme y herbazales densos inundables	Zonas no favorables para el establecimiento del cultivo de maíz tradicional. Son excluidas técnicamente y se asocian a las coberturas naturales y seminaturales; las áreas húmedas; las superficies de aguas; y los territorios artificializados
Amenaza por incendios de la cobertura vegetal	***Amenaza por incendio de la cobertura vegetal***	Categoría de amenaza	Amenaza baja y muy baja: áreas con mínima probabilidad de incendios de la cobertura vegetal	Amenaza moderada: áreas con moderada probabilidad de incendios de la cobertura vegetal	Amenaza alta y muy alta: áreas con alta probabilidad de incendios de la cobertura vegetal	—

Fuente: Elaboración propia.

A partir del componente socioeconómico, los rangos presentaron solamente tres categorías de aptitud: *alta*, *media* y *baja*. Ninguno se clasificó como *no apto* (N1), dado que la mayoría de las variables analizadas fueron índices sintéticos, cuya variación respondió a factores exógenos. En la Tabla 22 se presentan los rangos de aptitud para la calificación de variables del componente socioeconómico.

3.3.3. Criterios y variables del componente socioeconómico.

Tabla 22. Rangos de aptitud definidos desde el componente socioeconómico para el cultivo del maíz tradicional

Criterios	Variables	Unidad de medida	Aptitud (A1)	Aptitud (A2)	Aptitud (A3)
Asociatividad e institucionalidad	*Cercanía a asociaciones*	Tiempo de desplazamiento (horas)	<1/2	1/2-1	>1
	Cercanía al gremio	Tiempo de desplazamiento (horas))	<1/2	1/2-2	>2
	Cercanía a las EPSEA	Tiempo de desplazamiento (horas)	<1/2	1/2-2	>2
	Cercanía a Agrosavia	Tiempo de desplazamiento (horas)	<1/2	1/2-2	>2
	Cercanía al ICA	Tiempo de desplazamiento (horas)	<1/2	1/2-1	>1
Infraestructura y logística	*Cercanía a centros de comercialización local*	Tiempo de desplazamiento (horas)	<1/2	1/2-1	>1
	Existencia de cultivos	Predios	Con cultivo	Colindante al predio con cultivo	Resto
	Cercanía a centros de servicios	Tiempo de desplazamiento (horas)	<1/2	1/2-2	>2
	Cercanía a centros de almacenamiento	Tiempo de desplazamiento (horas)	<1/2	1/2-1	>1

Criterios	Variables	Unidad de medida	Aptitud (A1)	Aptitud (A2)	Aptitud (A3)
Infraestructura y logística	*Cercanía a plantas procesadoras*	Tiempo de desplazamiento (horas)	<1/2	1/2-1	>1
Dinámica del mercado de tierras	*Tamaño predial rural*	Predio (ha)	<5	5-10	>10
	Arriendo rural	Pesos/ha	<600.000	600.000-1.000.000	1.000.000
	Avalúo catastral rural	Millones de pesos/ha	<2,8	2,8-7,3	>7,3 y predios en propiedad horizontal (PH y condominio) y con destinos económicos industriales, comerciales y recreativos
	Tendencia a la formalidad	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; y predios con resolución de inscripción en el registro 1 de la ley de tierras despojadas y abandonadas forzosamente
Disponibilidad de mano de obra	*Densidad de la población rural en edad de trabajar*	Número de habitantes rurales en edad de trabajar por km^2	>24,8	11,9-24,8	<11,9
	Oferta educativa técnica y tecnológica	Tiempo de desplazamiento (horas)	<1	1-2	>2
	Oferta educativa universitaria	Tiempo de desplazamiento (horas)	<1	1-2	>2

Criterios	Variables		Unidad de medida	Aptitud (A1)	Aptitud (A2)	Aptitud (A3)
Condiciones de vida	*Trabajo*	*Trabajo informal*	Porcentaje de hogares con privaciones (%)	85,3	92,6	94,7
		Tasa de dependencia		30,3	45,3	69,1
	Salud	*Barreras de acceso a servicios*	Porcentaje de hogares con privaciones (%)	3,3	13,5	6,6
		Sin aseguramiento en salud		12,7	13,4	33
	Condiciones de la niñez y la juventud	*Barreras de acceso al cuidado*	Porcentaje de hogares con privaciones (%)	1,7	3,3	13
		Trabajo infantil		1,7	3,2	3,5
		Inasistencia escolar		4,2	8,0	16,4
		Rezago escolar		15,7	26,3	42,5
	Condiciones de vivienda y servicios públicos	*Hacinamiento crítico*	Porcentaje de hogares con privaciones (%)	6,7	9,0	16,7
		Inadecuada eliminación de excretas		16,3	41,0	46,3
		Inadecuado material de paredes exteriores		2,8	3,0	8,8
		Inadecuado material de pisos		13,7	14,7	58,3
		Sin acceso a fuentes de agua mejorada		22,7	67,4	51,2
	Condiciones educativas del hogar	*Analfabetismo*	Porcentaje de hogares con privaciones (%)	12,2	18,5	33,75
		Bajo logro educativo		59,9	81,6	82,9
Indicadores económicos	*Créditos otorgados*		Millones de pesos	>255	<255	6,6
	Valor agregado agrícola municipal		Miles de millones de pesos	>48,8	20,1-48,8	<20,1
	Desempeño municipal		Indicador de desempeño municipal (DNP)	>55	45-55	<45
	Zonas ZOMAC		Municipios	Declarados ZOMAC	Resto	—

Criterios	Variables	Unidad de medida	Aptitud (A1)	Aptitud (A2)	Aptitud (A3)
Seguridad ciudadana	*Hurtos rurales*	Tasa de hurtos rurales por cada 1.000 habitantes	Sin ocurrencia del delito	≤6,464	>6,464
	Homicidios rurales	Tasa de homicidios rurales por cada 1.000 habitantes	Sin ocurrencia del delito	≤0,5652	>0,5652
	Extorsiones rurales	Tasa de extorsiones rurales por cada 1.000 habitantes	Sin ocurrencia del delito	≤0,1852	>0,1852
	Secuestros rurales	Tasa de secuestros rurales por cada 1.000 habitantes	Sin ocurrencia del delito	≤0,0564	>0,0564

Fuente: Elaboración propia.



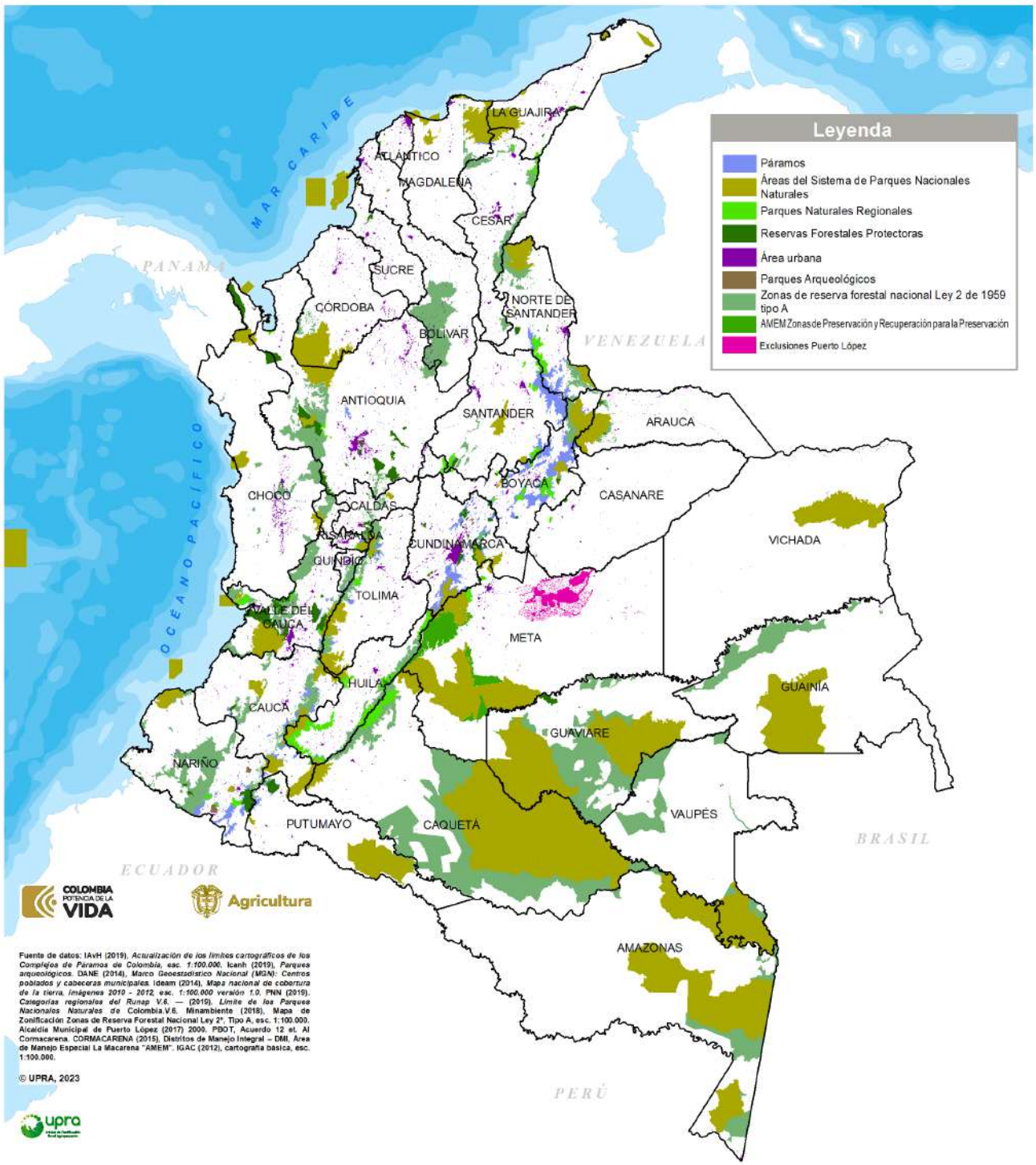
3.4 Exclusiones legales y condicionantes legales

En esta fase de la metodología se identificó la normativa que regula la puesta en marcha de actividades productivas agrícolas, en este caso, para el cultivo del maíz tradicional, ya fuera de forma excluyente, ya condicionante. Los lineamientos correspondieron a las directrices que orientan o excluyen un uso determinado del territorio rural, lo que implicaron restricciones legales o condicionantes 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, a impedimentos directamente relacionados con la normativa que limita el uso del suelo por interés ambiental, cultural y social.

Los condicionantes legales agrupan los factores de orden ecológico o social cuyo soporte involucra que se supediten o puedan modificar algunos elementos de la producción comercial, sin que represente la restricción al uso o la reducción de la aptitud del territorio para su implementación. Por este motivo, se requieren detalles adicionales que deben ser estudiados en conjunto con las autoridades ambientales competentes o con las comunidades allí establecidas. Es decir: las áreas bajo condicionantes podrán ser reclasificadas en la zonificación, de acuerdo con el nivel de conocimiento que se tenga en el futuro, de las solicitudes expresas de autoridades de ciertas áreas —como territorios indígenas y afrocolombianos— o de la aclaración de determinantes legales que puedan ser incluidos en la evaluación.

Desde los puntos de vista socioecosistémico y socioeconómico, en las áreas definidas por su importancia biológica la producción agrícola ha de proceder a través de mecanismos de consulta u otros que determinen la legislación ambiental colombiana. Igualmente, se aplica este principio dado el compromiso internacional adquirido y ratificado por el país para la protección y la conservación de la biodiversidad; además, se considera la preexistencia de comunidades humanas que representan un patrimonio étnico de interés para Colombia, cuyos principios de vida, cultura y relacionamiento con el entorno natural han de respetarse para no ponerse en riesgo. En la Tabla 23 se pueden consultar las exclusiones legales y en la Figura 12, el respectivo mapa.

Figura 12. Mapa de exclusiones legales



EXCLUSIONES LEGALES

Tabla 23. Exclusiones legales

Variable	Áreas de exclusión
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, 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 van en detrimento de éstos. 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 estas labores ponen en riesgo el ecosistema, el Estado podrá expropiar el predio para buscar la restauración y la conservación ambiental. En los ecosistemas de páramos no se podrán adelantar actividades agropecuarias ni de exploración o explotación de hidrocarburos y minerales. Para tales efectos, se considera como referencia mínima 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 una cartografía a escala más detallada (Ley 1450 de 2011, artículo 202, parágrafo 1). 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, dirigida específicamente a preservar este tipo de ecosistema. Lo anterior, no sólo porque es un tipo de bioma que no es común en el mundo, sino también por los importantes servicios ambientales que presta, pues en la actualidad es un ecosistema sometido a intervenciones negativas o disturbios que afectan su supervivencia. La Resolución 0886 de 2018 (MADS, 2018a) establece la norma «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». En este sentido, se ha avanzado en la zonificación de los páramos delimitados en relación con las actividades agropecuarias que se venían desarrollando con anterioridad al 16 de junio de 2011 mediante el diseño de los programas de sustitución, la reconversión de las actividades agropecuarias, la capacitación y la puesta en marcha de estos programas a cargo del Ministerio de Agricultura a través de la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA), la Agencia Nacional de Desarrollo Rural (ADR), la Agencia Nacional de Tierras (ANT) y demás entidades adscritas.

Variable	Áreas de exclusión
Áreas protegidas	**Áreas del Sistema de parques nacionales naturales:** forman parte del Sistema nacional de áreas protegidas (Sinap) y está integrado por los tipos de áreas consagrados en el artículo 329 del 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. 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 artículo 30 del 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, se considera un espacio geográfico en el que paisajes y ecosistemas estratégicos, en la escala regional, mantienen la estructura, la composición y la función, así como los procesos ecológicos y evolutivos que los sustentan, cuyos valores naturales y culturales asociados se ponen al alcance de la población humana para destinarlos a la preservación, restauración, conocimiento y disfrute.
	Reservas forestales protectoras: según el Decreto 2372 de 2010, compendiado en el Decreto 1076 de 2015, único del sector ambiental, se consideran espacios geográficos cuyos ecosistemas de bosque mantienen su 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. Estas zonas de propiedad pública o privada se reservan para destinarlas al establecimiento o mantenimiento y utilización sostenible de los bosques y demás coberturas vegetales naturales.
	Otras áreas protegidas locales: de acuerdo con el Plan básico de ordenamiento territorial (PBOT) del municipio de Puerto López de 2017 y el Acuerdo 12 de 2012 de Cormacarena, se establecieron como exclusiones las siguientes áreas: bosques de galería, rondas de caño y ríos secundarios *buffer* de 30 metros; rondas principales *buffer* de 100 metros; el parque municipal Yucao; la reserva natural del Alto de Menegua; y las microcuencas que surten acueductos.
	Zonas de preservación y recuperación para la preservación del área de manejo especial de La Macarena (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», entre la zonificación de estas áreas se definen 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.

Variable	Áreas de exclusión
Áreas protegidas	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.
Otras áreas protegidas locales	De conformidad con el Plan básico de ordenamiento territorial (PBOT) del municipio de Puerto López de 2017 y el Acuerdo 12 de 2012 de Cormacarena, se establecieron como exclusiones las siguientes áreas: los bosques de galería; las rondas de caño y ríos secundarios *buffer* de 30 metros; las rondas principales *buffer* de 100 metros; el parque municipal Yucao; la reserva natural del Alto de Menegua; y las microcuencas que surten acueductos.
Áreas urbanas	Son áreas conformadas por conjuntos de edificaciones y estructuras contiguas agrupadas en manzanas censales que, por lo general, cuentan con una dotación de servicios esenciales, como acueducto, alcantarillado, energía eléctrica, hospitales y colegios. En esta categoría están incluidos las cabeceras municipales y los centros poblados (DANE, 2018).
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 Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH), para que se pueda permitir 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 de manejo arqueológico cuenta con el apoyo de entidades estatales para asegurar la conservación de estos espacios patrimoniales (ICANH, 2019).
Zonas de reserva forestal nacional, Ley 2, 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 componen de siete reservas forestales nacionales, a saber: las ZRFN del Pacífico; la ZRFN central; la ZRFN del río Magdalena; la ZRFN de la Sierra Nevada de Santa Marta; la ZRFN de la serranía de los Motilones; la ZRFN del Cocuy; y la 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:

Variable	Áreas de exclusión
Zonas de reserva forestal nacional, Ley 2, tipo 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). • 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). • 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). • 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). • 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). • 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). • 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). • 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.



En la Tabla 24 se presentan los condicionantes legales definidos para la zonificación del cultivo del maíz tradicional y en la Figura 13, el respectivo mapa.

Figura 13. Mapa de condicionantes legales

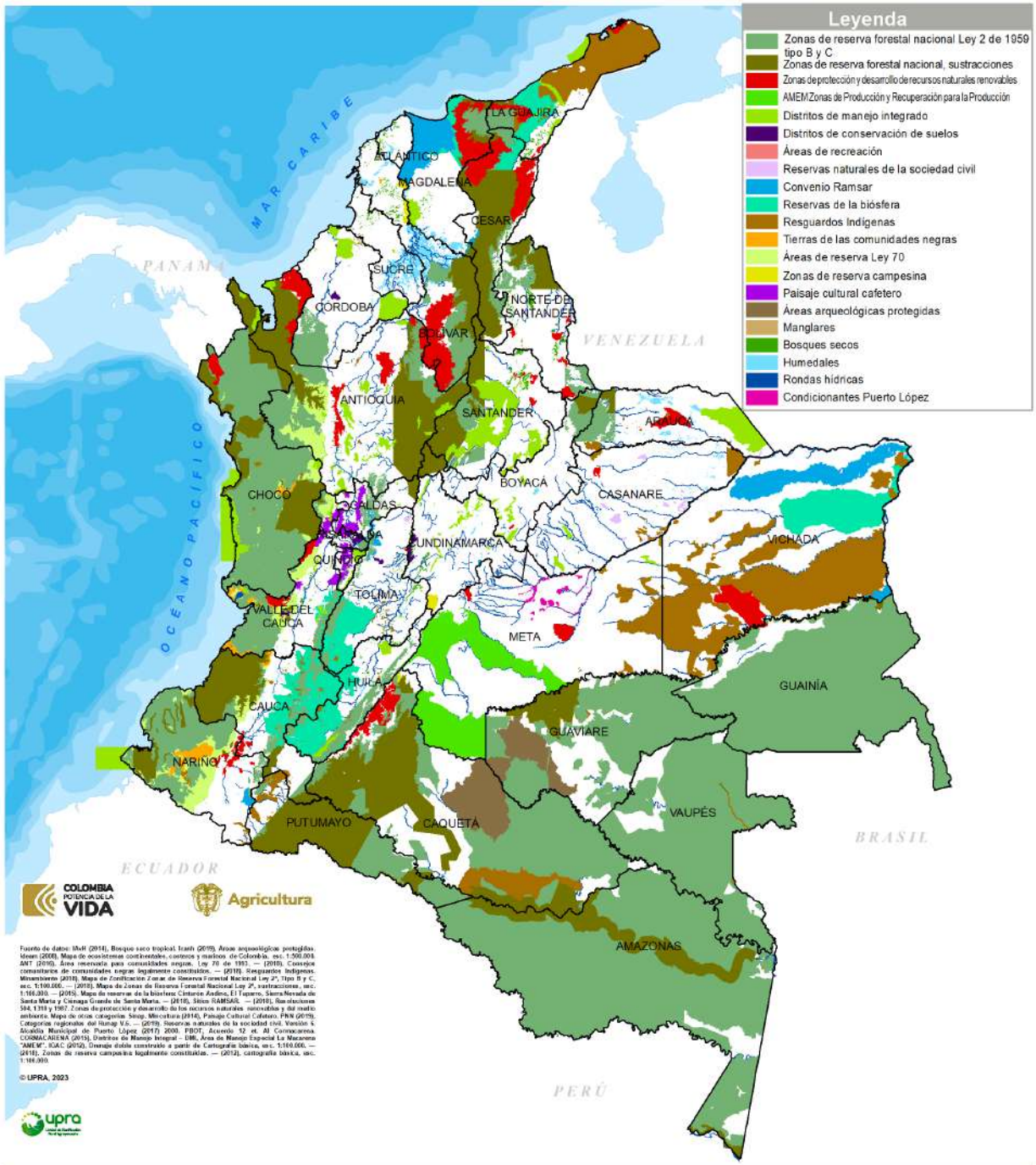


Tabla 24. Condicionantes legales

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, se trata de 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.
	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», entre la zonificación de esta área se definen las zonas de recuperación para la producción occidente, la preservación vertiente oriental; la producción Ariari-Guayabero; la recuperación para la preservación sur; y la recuperación para la producción sur. En este sentido, se consideran condicionantes legales para el distrito de manejo integrado (DMI) Macarena Norte la zona de recuperación para la producción, es decir, las áreas de uso de restauración y áreas de uso sostenible —áreas de uso para el desarrollo y áreas de uso para el aprovechamiento sostenible—; y para el distrito de manejo integrado (DMI) Losada-Perdido, la zona de recuperación para la producción, es decir, las áreas de uso de restauración para la preservación y las áreas de uso de restauración para la 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, los define como espacios geográficos cuyos ecosistemas estratégicos, en la escala regional, mantienen su función, aunque la estructura y composición hayan sido modificadas. Aportan, esencialmente, a la generación de bienes y servicios ambientales, cuyos valores naturales y culturales asociados se hayan puesto al alcance de la población humana para destinarlos a la restauración, uso sostenible, preservación, conocimiento y disfrute, por las restricciones debidas a la 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, se trata de espacios geográficos cuyos paisajes y ecosistemas estratégicos en la escala regional mantienen su función, aunque la estructura y composición hayan sido modificadas, con un potencial significativo de recuperación y cuyos valores naturales y culturales asociados se hayan puesto al alcance de la población humana para destinarlos a la restauración, uso sostenible, conocimiento y disfrute. Por esa razón, esta categoría impone restricciones similares a las de los distritos de manejo integrado.

Condicionante	Descripción
Áreas protegidas	**Reservas naturales de la sociedad civil:** conforme al artículo 1 del Decreto 1996 de 1999 (MMA, 1999), corresponden a la parte o el todo del área de un inmueble que conserve una muestra de un ecosistema natural y sea manejado bajo los principios de la sustentabilidad en el uso de los recursos naturales.
	Zonas de protección y desarrollo de los recursos naturales renovables y del medioambiente: por medio de las resoluciones 1987 (MADS, 2018b) y 1310 de 2018 (MADS 2018c), 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. Ésta es una acción estratégica que pretende aumentar la representatividad ecológica del sistema y 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 los estudios pertinentes.
Otras áreas protegidas	Según el PBOT del municipio de Puerto López de 2017 y el Acuerdo 12 de 2012 de Cormacarena, se consideran condicionantes legales las siguientes áreas: lagunas; zonas de amenaza y riesgo por inundación; zonas de amenaza y riesgos por deslizamientos; y el resguardo Humapo-La Victoria.
Ecosistemas estratégicos	**Rondas hídricas:** el artículo 3 del 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», compendiado en el Decreto 1076 de 2015, único del sector ambiental, establece que los propietarios de los predios rurales tienen la obligación de mantener en cobertura boscosa dentro del inmueble respectivo las áreas forestales protectoras. Se entienden por éstas, entre otras, «una faja no inferior a 30 metros 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 el artículo 10 de la Ley 388 de 1997, es una determinante ambiental que debe ser tenida en cuenta como norma de superior jerarquía tanto por los municipios como por los distritos (Consulta 4120-E1-11525 del 7 de febrero de 2007, MADS). El Código nacional de recursos naturales renovables y de protección del medio ambiente, Decreto-Ley 2811 de 1974, establece una regulación en términos de propiedad en relación con las zonas paralelas a los cauces permanentes. En el artículo 83, literal D, 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 los determinantes para el ordenamiento del suelo rural, en el artículo 4 señala que las rondas hidráulicas hacen parte de la categoría de áreas de conservación y protección ambiental, pues son áreas de especial importancia ecosistémica.

Condicionante	Descripción
Ecosistemas estratégicos	**Manglares:** se definen como ecosistemas de zonas costeras en los que se relacionan especies arbóreas de diferentes 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 su conservación, 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 del manglar 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, MMA).
	Humedales: 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 en ellos. El Decreto 1640 de 2012 plantea, en el artículo 2, la existencia de ecosistemas de importancia estratégica para la conservación de recursos hídricos, los cuales se definen como los que garantizan la oferta de servicios ecosistémicos relacionados con el ciclo hidrológico y con los procesos de regulación de disponibilidad del recurso hídrico en un área determinada.
	Bosques secos: hacen parte de las zonas secas donde dominan especies con características morfofisiológicas con notable adaptación a la sequía. En estas zonas, las sequías son pronunciadas (baja humedad atmosférica) y la evapotranspiración potencial es alta, a menudo asociada con escasez de nutrientes en el suelo. Estas zonas han padecido una veloz pérdida, fragmentación y degradación de sus ecosistemas, por lo que el Ministerio del Medio Ambiente de la época establece el *Plan de acción nacional de lucha contra la desertificación y la sequía (PAN)* en el año 2005, a través del cual se buscó adelantar acciones para el manejo sostenible de los ecosistemas de las zonas secas y aplicar medidas prácticas que permitieran prevenir, detener y revertir procesos degradativos y contribuir al desarrollo sostenible de las zonas afectadas.

Condicionante	Descripción
Distinciones internacionales	Agrupa los lugares que, por factores de orden ecológico, motivan el reconocimiento de su importancia a nivel internacional y que el país ya ha identificado mediante la adscripción a tratados. El soporte legal de estas zonas implica que 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, 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 la presente zonificación de aptitud, se consideraron las siguientes distinciones internacionales: *Convenio Ramsar:* este convenio se refiere a la protección de humedales, definidas como zonas húmedas o humedales, es decir: «cualquier extensión de marisma, pantano o turbera, o superficie cubierta de aguas, sean éstas 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). Respecto al Convenio Ramsar, es importante resaltar que la Ley 1450 de 2011 menciona en el parágrafo 1 del artículo 2002 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, con base en estudios técnicos, económicos, sociales y ambientales adoptados por el Ministerio del Medio Ambiente o quien haga sus veces. Según la norma, en los humedales designados dentro de la lista de importancia internacional de la convención Ramsar no se podrán adelantar tales actividades, aunque sus limitaciones deben obedecer al respectivo plan de manejo, en el que se definen las respectivas zonas de conservación, preservación y uso. *Reservas de la biósfera:* áreas geográficas representativas de la diversidad de hábitats del planeta. Ya sean ecosistemas terrestres, ya marítimos, estas áreas se caracterizan por ser lugares que no son exclusivamente protegidos, sino que pueden albergar a comunidades humanas que vivan de actividades económicas sustentables, pero no pongan 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 el 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.

Condicionante	Descripción
Áreas de protección cultural y social	**Tierras de las comunidades negras:** son las titulaciones colectivas de las comunidades negras. De acuerdo con el artículo 5 de la Ley 70 de 1993, «para recibir en propiedad colectiva las tierras adjudicables, cada comunidad formará un Consejo Comunitario como forma de administración interna, cuyos requisitos determinará el reglamento que expida el Gobierno nacional».
	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, como propiedad colectiva, de acuerdo con sus prácticas tradicionales de producción. El propósito consiste no sólo en proteger la identidad cultural y los derechos de las comunidades negras de Colombia como grupo étnico, sino también fomentar el desarrollo económico y social para 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. El objetivo reside en fomentar la pequeña propiedad rural con sujeción no sólo a las políticas de conservación del área, el medio ambiente y los recursos naturales renovables, sino también 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 tendrá en cuenta, además de los anteriores principios, «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 y decisión regionales y las características de las modalidades de producción».
	Áreas de resguardos indígenas: 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 tanto para el manejo como para la 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 tienen el carácter de inalienables, imprescriptibles e inembargables. De este modo, el condicionante legal se fundamenta en lo establecido por la Constitución Política de Colombia (artículos 63 y 329), la Ley 21 de 1991 y el Convenio OIT 169 (2014).
	Paisaje cultural cafetero: es un área en la que se encuentra el paisaje cultural de producción de café y donde se mezclan elementos naturales, económicos y culturales con un alto nivel de homogeneidad en la estructura tanto de las plantaciones del café como 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, MinCultura).

Condicionante	Descripción
Áreas de protección cultural y social	**Áreas arqueológicas protegidas:** es un polígono o zona delimitada en el territorio de Colombia que, por las características únicas de sus evidencias arqueológicas, requiere de una especial protección y conservación, con el fin de abrir las posibilidades para la investigación, la divulgación y, en algunos casos, el turismo responsable. Estas áreas contienen un plan de manejo arqueológico definido por el ICANH, según el cual se permite la realización de labores de agricultura tradicional, pero se restringe el desarrollo de agricultura mecanizada en las áreas de potencial muy alto.
Zonas de reserva forestal nacional, Ley 2 de 1959, tipos B y C	**Zonas de reserva forestal nacional, Ley 2 de 1959, tipos B y C:** son zonas de reserva forestal que 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), a saber: la ZRFN del Pacífico; la ZRFN central; la ZRFN del río Magdalena; la ZRFN de la Sierra Nevada de Santa Marta; la ZRFN de la serranía de los Motilones; la ZRFN del Cocuy; y la ZRFN de la Amazonia. *Zonas tipo B:* son 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:* son 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, pero 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).
	Sustracciones de las reservas forestales, Ley 2 de 1959: de acuerdo con el numeral 18, artículo 5 de la Ley 99 de 1993, en concordancia con el Decreto 3570 de 2011, se facultó al hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) a reservar, alinderar y sustraer las reservas forestales nacionales. La sustracción se evalúa y se otorga exclusivamente para la actividad que es solicitada, por lo que las zonas sustraídas son sólo para tal fin. Se estableció como condicionante, dado que las sustracciones se realizaron para una actividad determinada con la cual fueron solicitadas y no se puede realizar otro uso.

Fuente: Elaboración propia.

3.5 Análisis multicriterio

Es el método diseñado para alcanzar un objetivo específico mediante la valoración estructurada de varios criterios. Un criterio es la base para una decisión que puede medirse o evaluarse. En el ámbito de la presente zonificación, el análisis multicriterio se empleó en la definición de opciones estratégicas de tipo físico, socioecosistémico y socioeconómico, con el fin de identificar los lugares donde es más adecuado establecer y desarrollar el cultivo del maíz tradicional. Los criterios pueden ser de dos tipos: los ***factores***, en los que se definen los niveles de aptitud; o las ***restricciones***, que tienen un carácter técnico, normativo o técnico-normativo. Un factor es un criterio que mejora o reduce la aptitud de una alternativa específica para el sector productivo en consideración; una restricción es un criterio que limita, condiciona o excluye estas alternativas (Eastman *et al*., 1995).

3.5.1. Proceso analítico jerárquico.

En la evaluación multicriterio, una de las técnicas más usadas es el proceso analítico jerárquico o AHP (Analytic Hierarchy Process), desarrollado por el matemático Thomas Saaty (1980), que consiste en un proceso en el que se formaliza la comprensión intuitiva de problemas complejos mediante la construcción de un modelo jerárquico. El propósito del método es permitir que los agentes decisores (expertos consultados) puedan estructurar un problema multicriterio de forma visual mediante la construcción de un modelo jerárquico.

El AHP se basa en la estructuración jerárquica y en la comparación de pares de alternativas. Permite, mediante la elaboración de una matriz de doble entrada —también denominada *matriz de comparación pareada*—, generar la calificación del grado de incidencia que un factor tiene sobre los otros al compararlos 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, de lo cual surge el valor de la ponderación para poder realizar la suma lineal ponderada en la siguiente fase de análisis.

Una vez construido el modelo jerárquico, se comparan entre pares tales elementos (criterios); se atribuyen valores numéricos a las preferencias señaladas por las personas; y se entrega una síntesis

de esas preferencias al agregar los juicios parciales. El fundamento del AHP está en otorgar valores numéricos a los juicios emitidos por las personas, con lo cual se logra 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 importancia dentro del proceso analítico jerárquico

3	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: Elaboración propia.



3.5.2. Matriz del proceso analítico jerárquico.

Siguiendo el procedimiento planteado, se realizó la comparación de criterios por pares para calificar cada uno de acuerdo con la importancia relativa de un criterio respecto a otro. Esta comparación se efectuó para todos los criterios definidos para el análisis mediante un taller en el que se calificaron los criterios por pares con una escala de importancia. En la Tabla 26 se pueden observar los componentes del proceso, en el 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*** era igual a *j*, el valor de a_{ij} fue 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: Elaboración propia.

Partiendo de la matriz de comparaciones obtenidas para el cultivo del maíz tradicional, se usó el programa PriEsT (Priority Estimation Tool) para calcular las ponderaciones de los criterios y analizar la consistencia estadística (Siraj, Mikhalilov, & Keane, 2013). La entrada de datos con esta herramienta fue la matriz de comparación de pares de criterios, la cual se normalizó por columna: se dividió el valor de cada casilla de la matriz entre el total de la sumatoria de la columna a la cual pertenecía el valor. Tan pronto estuvo normalizada la matriz, se obtuvo el llamado *vector de prioridad asociado*, que representó los pesos de cada uno de los criterios considerados.

De esta manera, se obtuvo el vector de prioridades de cada criterio vinculado a la zonificación de aptitud del cultivo del maíz tradicional y se definió así:

$$(P_1 * criterio_1) + (P_2 * criterio_2) + \ldots + (P_n * criterio_n)$$

donde

n = número de criterios;

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

La Tabla 27 presenta la matriz de evaluación multicriterio para la zonificación de aptitud del cultivo de maíz tradicional en Colombia a escala 1:100.000 para los componentes físico y socioecosistémico. En la Tabla 28 se puede observar la matriz de evaluación multicriterio para el componente socioeconómico.

Tabla 27. Matriz de evaluación multicriterio para la zonificación de aptitud del cultivo del maíz tradicional para los componentes físico y socioecosistémico

Criterios	*Condiciones climáticas*	*Condiciones de enraizamiento*	*Disponibilidad de nutrientes*	*Apropiación del agua*	*Toxicidad por sales, sodio y aluminio*	*Integridad ecológica*	*Disponibilidad de humedad*	*Susceptibilidad a la pérdida de suelo*	*Disponibilidad de oxígeno*	*Variación del contenido de carbono*	*Susceptibilidad fitosanitaria*	*Capacidad de laboreo*	*Cambio de cobertura*	*Amenaza por incendios de la cobertura vegetal*	*(%)*
Condiciones climáticas	1														21,8
Condiciones de enraizamiento	1/3	1													17,0
Disponibilidad de nutrientes	1/3	1/3	1												13,4

Criterios	Condiciones climáticas	Condiciones de enraizamiento	Disponibilidad de nutrientes	Apropiación del agua	Toxicidad por sales, sodio y aluminio	Integridad ecológica	Disponibilidad de humedad	Susceptibilidad a la pérdida de suelo	Disponibilidad de oxígeno	Variación del contenido de carbono	Susceptibilidad fitosanitaria	Capacidad de laboreo	Cambio de cobertura	Amenaza por incendios de la cobertura vegetal	(%)
Apropiación del agua	1/3	1/3	1/3	1											10,8
Toxicidad por sales, sodio y aluminio	1/3	1/3	1/3	1/3	1										8,7
Integridad ecológica	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1									6,7
Disponibilidad de humedad	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1								5,3
Susceptibilidad a la pérdida de suelo	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1							4,2
Disponibilidad de oxígeno	1/5	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1						3,4
Variación del contenido carbono	1/7	1/5	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1					2,6
Susceptibilidad fitosanitaria	1/7	1/7	1/7	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1				2,1

Criterios	Condiciones climáticas	Condiciones de enraizamiento	Disponibilidad de nutrientes	Apropiación del agua	Toxicidad por sales, sodio y aluminio	Integridad ecológica	Disponibilidad de humedad	Susceptibilidad a la pérdida de suelo	Disponibilidad de oxígeno	Variación del contenido de carbono	Susceptibilidad fitosanitaria	Capacidad de laboreo	Cambio de cobertura	Amenaza por incendios de la cobertura vegetal	(%)
Capacidad de laboreo	1/7	1/7	1/7	1/5	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1			1,7
Cambio de cobertura	1/9	1/7	1/7	1/7	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1		1,2
Amenaza por incendios de la cobertura vegetal	1/9	1/9	1/7	1/7	1/7	1/5	1/5	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1,1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28. Matriz de evaluación multicriterio para la zonificación de aptitud del cultivo del maíz tradicional para el componente socioeconómico

Criterio	Asociatividad e institucionalidad	Infraestructura y logística	Dinámica del mercado de tierras	Disponibilidad de mano de obra	Condiciones de vida	Indicadores económicos	Seguridad ciudadana	Pesos
Asociatividad e institucionalidad	1							30,40
Infraestructura y logística	1	1						26,00
Dinámica del mercado de tierras	1/3	1	1					20,40
Disponibilidad de mano de obra	1/3	1/3	1/3	1				11,30
Condiciones de vida	1/5	1/5	1/5	1/3	1			6,20
Indicadores económicos	1/7	1/7	1/5	1/5	1/3	1		3,50
Seguridad ciudadana	1/9	1/9	1/7	1/5	1/5	1/3	1	2,20

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 29 expone la matriz de paso mediante la cual se cruzaron los criterios físico-socioecosistémicos (biofísicos) y los criterios socioeconómicos para la generación del mapa integrado de la zonificación de aptitud del cultivo de maíz tradicional en Colombia a escala 1:100.000.

Tabla 29. Matriz de paso para el cruce de componentes para la zonificación de aptitud del cultivo del maíz tradicional

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

Fuente: Elaboración propia.



De acuerdo con lo anterior, se combinó la información de los criterios considerados en la zonificación mediante una suma lineal ponderada. A los criterios se les aplicaron los pesos calculados para cada uno y se obtuvieron los mapas preliminares de zonificación de aptitud para el cultivo de maíz tradicional, que fueron validados con expertos de la cadena de la siguiente manera:

$$S = \sum W_i * X_i$$

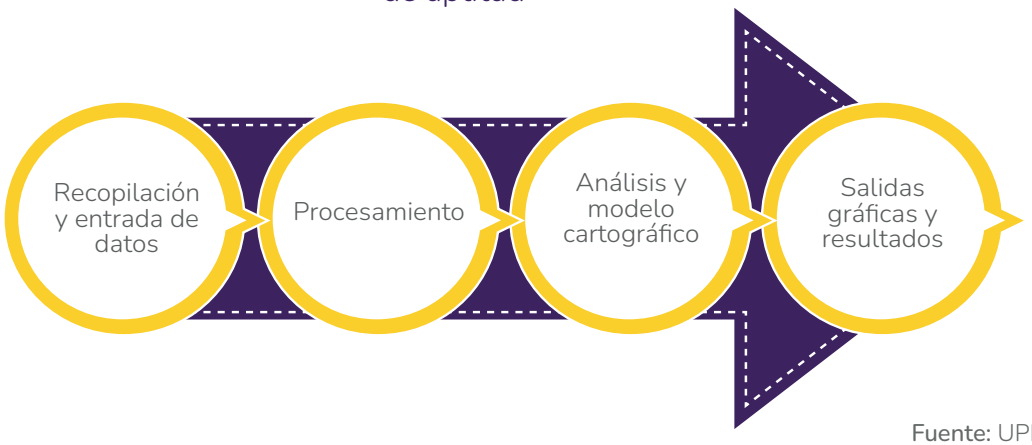
donde

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

El análisis espacial es una herramienta ampliamente utilizada por la mayoría de las ciencias, pues posibilita 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 un fin determinado. Una parte importante de esta fase son las técnicas de análisis espacial, que incluyen un amplio conjunto de operadores o algoritmos que se ejecutan sobre una o varias capas de información (generalmente *raster*) con el propósito de producir una nueva capa de salida. En el proceso de zonificación de aptitud, esta fase soportó muchos de los productos intermedios de tipo espacial para la obtención del mapa de aptitud del cultivo de maíz tradicional. Los pasos recorridos 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. Esta fase consistió en la búsqueda, solicitud y evaluación de la información (espacial y alfanumérica) empleada por los componentes. La información provino de las entidades oficiales relacionadas con la producción de datos.

Procesamiento de la información. Abarcó una serie de procedimientos encaminados a hallar la información en la forma adecuada para poder ser analizada. Una de las operaciones más comunes se trató de los procesos de reclasificación y generalización temática, los cuales se emplearon para la estandarización de las variables, criterios y lineamientos definidos en cada componente para la espacialización dentro del modelo cartográfico para la zonificación.

Análisis de la información. Consistió en generar y evaluar 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 con algunas 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, que es una forma de representación de los procesos espaciales involucrados para la zonificación. El modelo tuvo como insumos

de entrada los mapas de variables y criterios generados por cada componente; la integración de las capas con la ponderación del valor de acuerdo con los resultados del análisis multicriterio; y la integración de las exclusiones legales y condicionantes legales. Uno de los procedimientos de mayor uso en esta fase fue el álgebra de mapas: una serie de procedimientos que, al operar sobre una o varias capas en información —en nuestro caso, los mapas generados de cada criterio—, permitían obtener información derivada cuyo resultado fue el mapa de zonificación de aptitud.

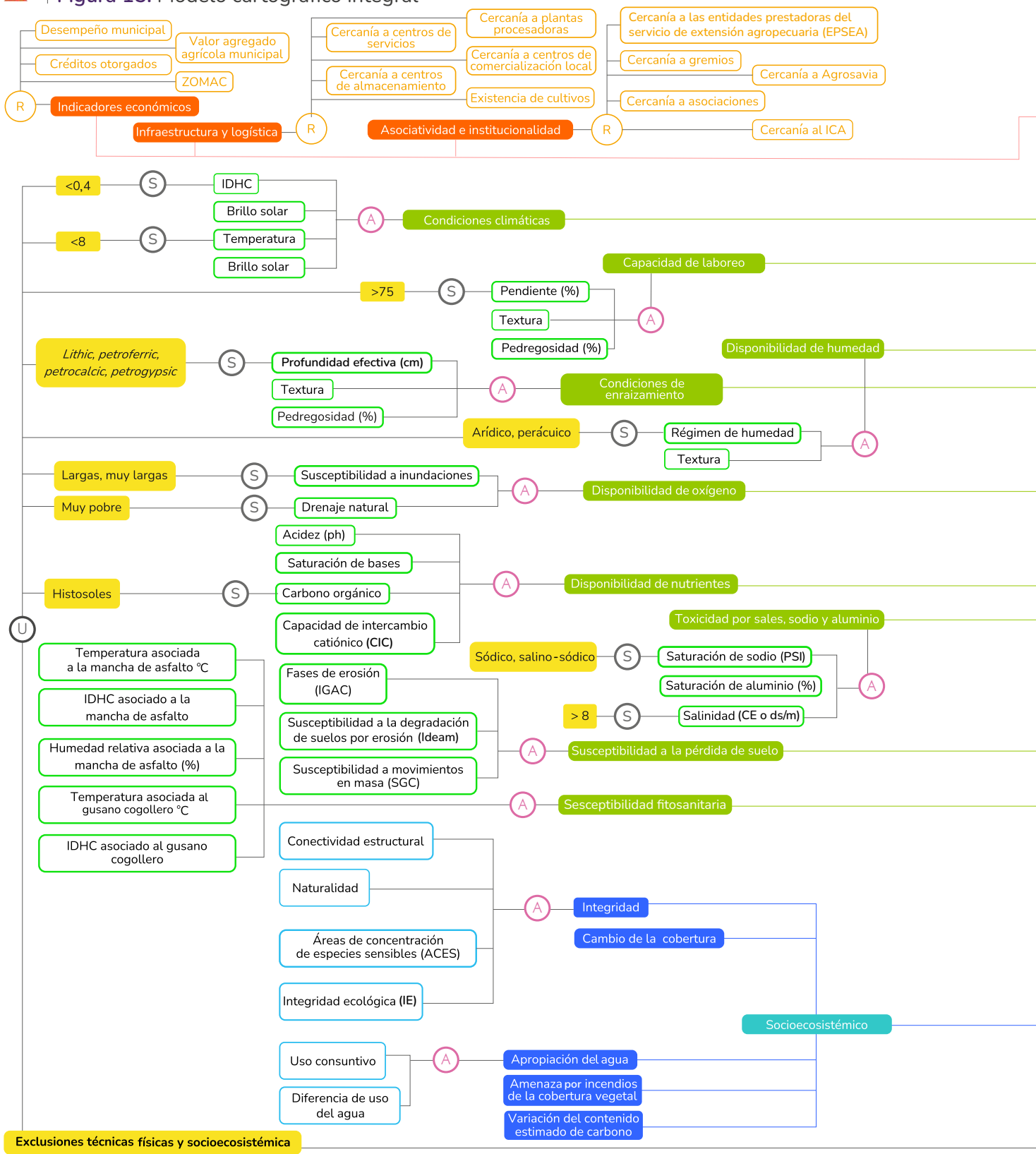
Salidas gráficas y resultados. Consiste en la presentación, a manera de mapas y estadísticas por departamento y municipio, de las zonas aptas y no aptas para el cultivo del maíz en Colombia. Estas salidas fueron soportadas dentro de la geodatabase (GDB) del proyecto. En la Figura 15 se puede consultar el modelo cartográfico integral para la zonificación de aptitud para el cultivo de maíz tradicional en Colombia a escala 1:100.000.

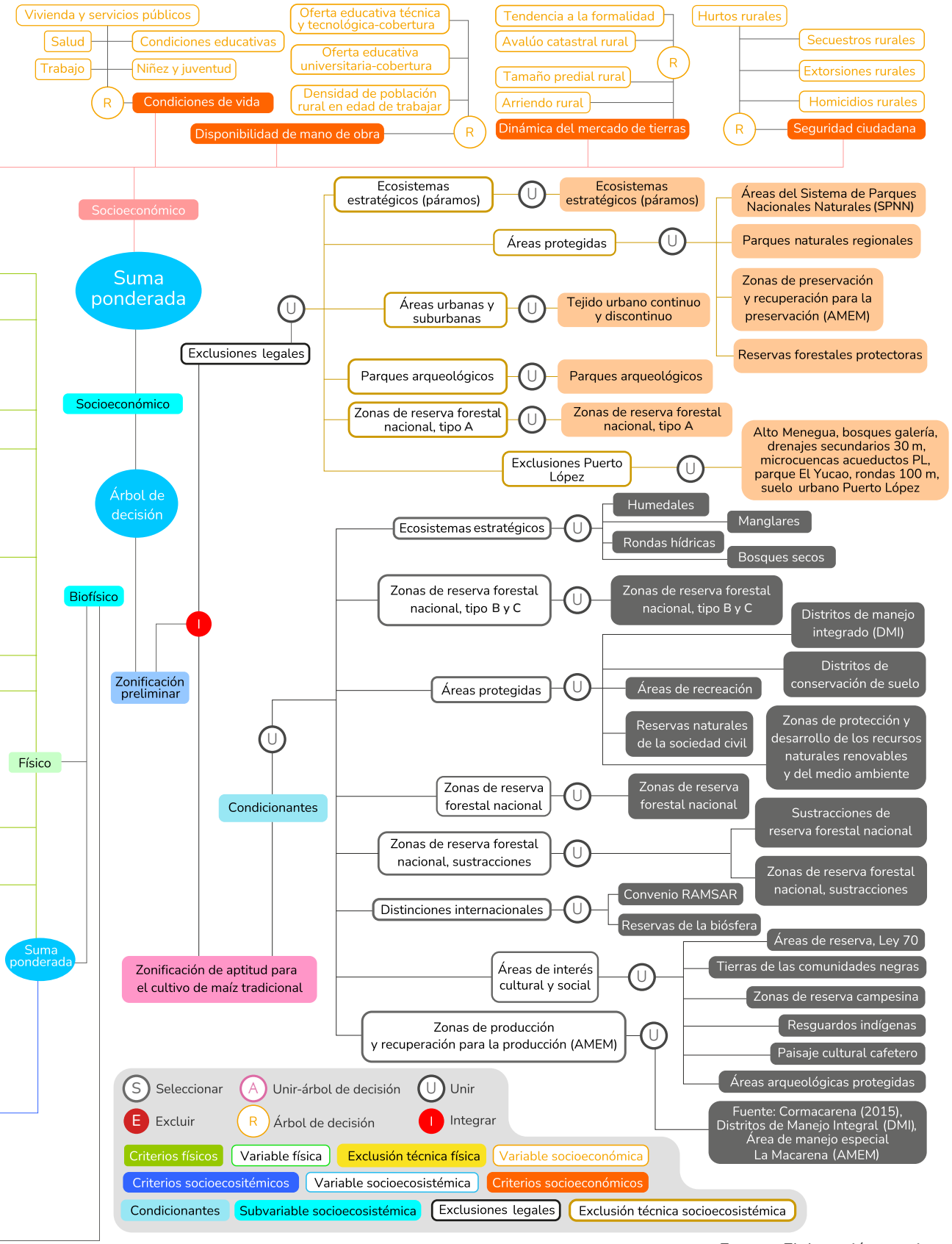
3.7 Proceso de socialización y validación de los mapas

Como parte del proceso de socialización de los resultados y de la validación tanto de la metodología como del mapa de aptitud obtenido, se realizó una reunión de trabajo conjunto con los representantes de la Federación Nacional de Cultivadores de Cereales, Leguminosas y Soya (Fenalce). En el evento, se retroalimentó el proceso durante la ejecución iniciada en el año 2021 sobre el cultivo del maíz tradicional. Para validar los mapas resultantes, se llevaron a cabo salidas de campo a los departamentos de Nariño, Cauca, Valle del Cauca, Huila, Córdoba, Sucre, Cesar y La Guajira, en los que se visitaron cultivos de maíz tradicional donde se calificó el tipo de aptitud (ver figuras 16 a 20).

Del mismo modo, se realizó una reunión virtual con el equipo técnico de Fenalce, en la cual se presentaron los criterios, las variables y los rangos por componente estimados por la UPRA para la zonificación del maíz tradicional. De la discusión resultante de esta reunión se efectuaron los ajustes concertados sugeridos por el gremio. En la Figura 16 se muestra la estrategia adelantada para la socialización y la validación del proyecto de zonificación de aptitud del cultivo del maíz tradicional a escala 1:100.000 en Colombia.

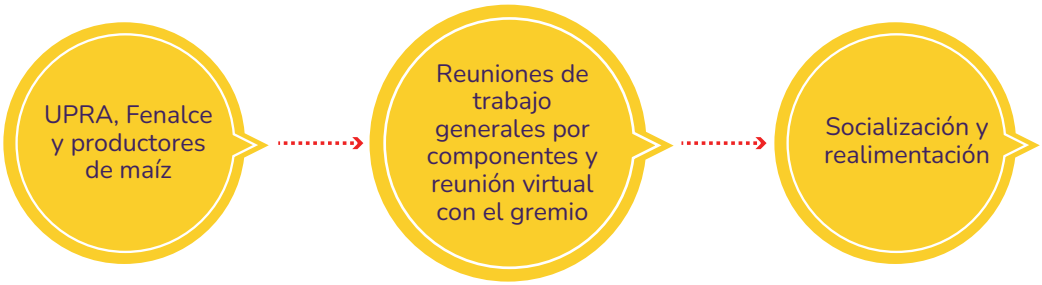
Figura 15. Modelo cartográfico integral





Fuente: Elaboración propia.

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



Fuente: UPRA, 2020.

Figura 17. Cultivo del maíz tradicional en Pitalito (Huila)



Figura 18. Preparación del terreno en Buesaco (Nariño) para el cultivo del maíz tradicional



Figura 19. Cultivo del maíz tradicional en Timbío (Cauca)



Figura 20. Cultivo del maíz tradicional en Dibulla (La Guajira)




4
Resultados



El mapa de zonificación de aptitud del cultivo de maíz tradicional a escala 1:100.000 mostró que en Colombia se dispone de 29.719.325 hectáreas aptas para el establecimiento y desarrollo del cultivo de maíz tradicional, lo cual equivale al 26,1 % del territorio del país y al 75,7 % de la frontera agrícola nacional. En Colombia se cuenta con 9.918.399 hectáreas (8,7 %) con condiciones de aptitud alta (A1) para el cultivo de maíz tradicional; 10.269.847 (9,0 %), de aptitud media (A2); y 9.531.079 (8,4 %), de aptitud baja (A3). Las áreas no aptas (N1) alcanzaron un 50,3 %, con 57.357.891 hectáreas. Las exclusiones legales llegaron al 23,7 %, con 26.997.755 hectáreas (ver Tabla 30 y Figura 21).

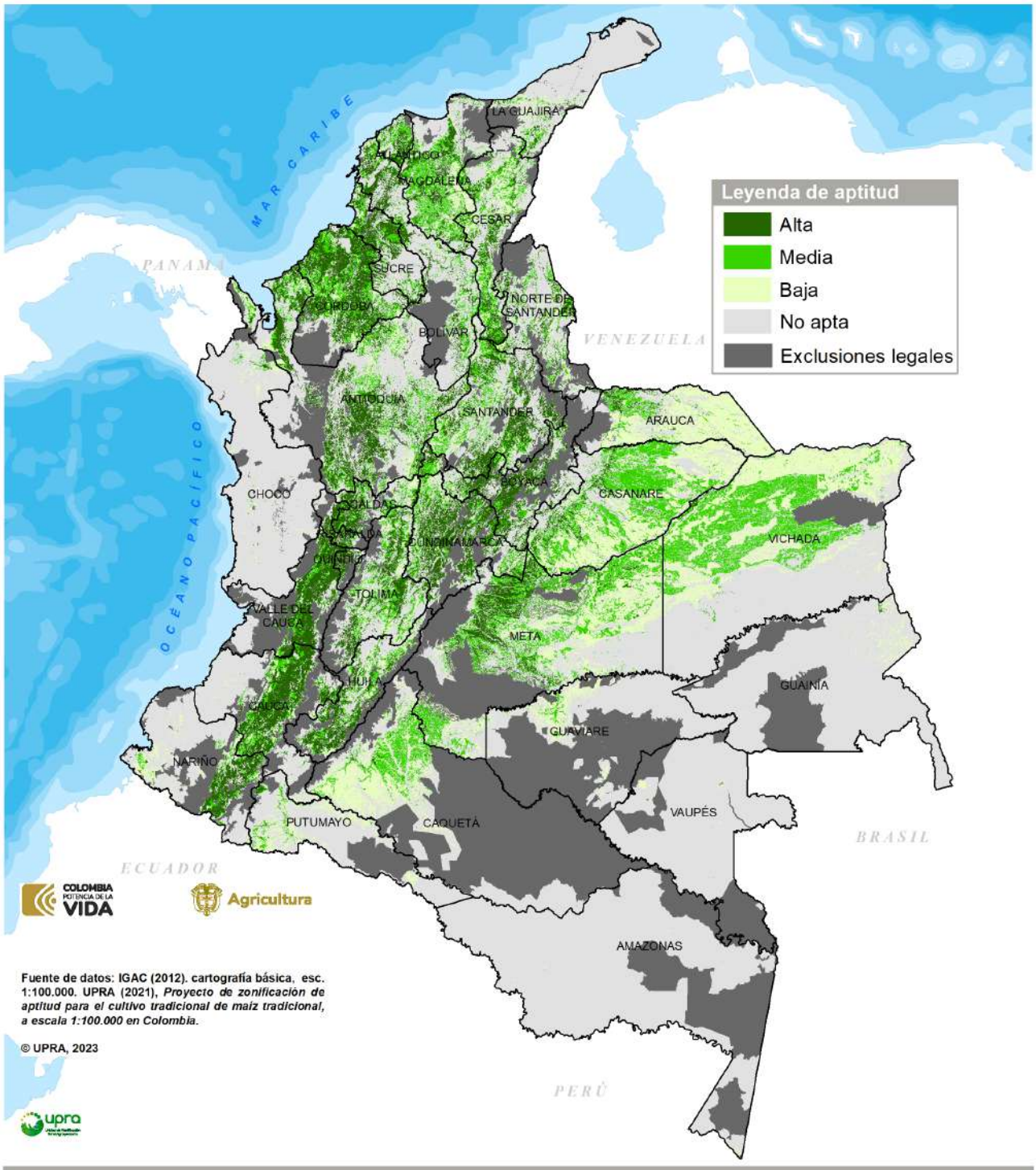
Tabla 30. Áreas para el desarrollo del cultivo del maíz tradicional en Colombia según categorías de aptitud

Aptitud		Área (ha)	Ocupación (%)	Frontera agrícola* (%)
A1	Alta	9.918.399	8,7	25,2 %
A2	Media	10.269.847	9,0	26,2 %
A3	Baja	9.531.079	8,4	24,3 %
Total apto		**29.719.325**	**26,1**	**75,7 %**
No apto técnico		57.357.891	50,3	
No apto legal		26.997.755	23,7	
Total del territorio nacional		**114.074.971**	**100,0**	
*Frontera agrícola: 39.239.481 hectáreas.				

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 31 se presentan las aptitudes alta (A1), media (A2) y baja (A3) por cada uno de los departamentos, ordenados de mayor a menor área de aptitud alta (A1). De acuerdo con los resultados, el departamento de Antioquia fue el que presentó la mayor aptitud alta (A1), con 1.241.179 hectáreas; le siguieron Córdoba, con 974.834; Cundinamarca, con 798.490; Cauca, con 752.474; Santander, con 745.753; Meta, con 642.724; Boyacá, con 590.164; Valle del Cauca, con 580.933; Tolima, con 454.480; y Huila, con 403.003.

Figura 21. Mapa de zonificación de aptitud para el cultivo del maíz tradicional en Colombia a escala 1:100.000



Zonificación de aptitud para el cultivo de maíz tradicional

Tabla 31. Áreas aptas por departamento para el cultivo del maíz tradicional en Colombia a escala 1:100.000

Departamento	Aptitud alta (A1)	Aptitud media (A2)	Aptitud baja (A3)	Apto total
Antioquia	1.241.179	640.677	262.162	2.144.018
Córdoba	974.834	431.681	68.881	1.475.396
Cundinamarca	798.490	287.829	81.642	1.167.961
Cauca	752.474	226.929	96.871	1.076.274
Santander	745.753	397.283	140.889	1.283.925
Meta	642.724	1.427.596	1.322.288	3.392.608
Boyacá	590.164	180.556	51.520	822.240
Valle del Cauca	580.933	116.185	16.579	713.697
Tolima	454.480	348.776	159.439	962.694
Huila	403.003	202.319	91.131	696.452
Bolívar	387.899	257.200	40.494	685.593
Magdalena	329.135	529.369	152.201	1.010.706
Sucre	322.888	139.304	19.734	481.926
Nariño	318.725	101.107	176.082	595.914
Cesar	313.844	426.579	251.685	992.108
Caldas	207.388	113.473	51.272	372.134
Casanare	192.880	1.320.739	1.327.356	2.840.975
Norte de Santander	188.177	195.064	99.889	483.130
Risaralda	114.613	24.907	1.519	141.040
Atlántico	94.638	74.751	11.757	181.146
Quindío	73.192	5.381	1.165	79.738
Arauca	69.865	198.181	1.114.374	1.382.419
La Guajira	32.405	73.461	80.994	186.861
Vichada	26.730	1.884.435	2.123.527	4.034.692
Caquetá	25.441	486.145	861.798	1.373.385
Putumayo	16.380	73.204	300.833	390.418
Chocó	16.072	55.062	142.306	213.440

Departamento	Aptitud alta (A1)	Aptitud media (A2)	Aptitud baja (A3)	Apto total
Guaviare	4.092	46.338	281.384	331.814
Amazonas	0	0	22.270	22.270
Guainía	0	5.314	144.634	149.948
San Andrés, Providencia y Santa Catalina	0	0	0	0
Vaupés	0	0	34.404	34.404
Total	**9.918.399**	**10.269.847**	**9.531.079**	**29.719.325**

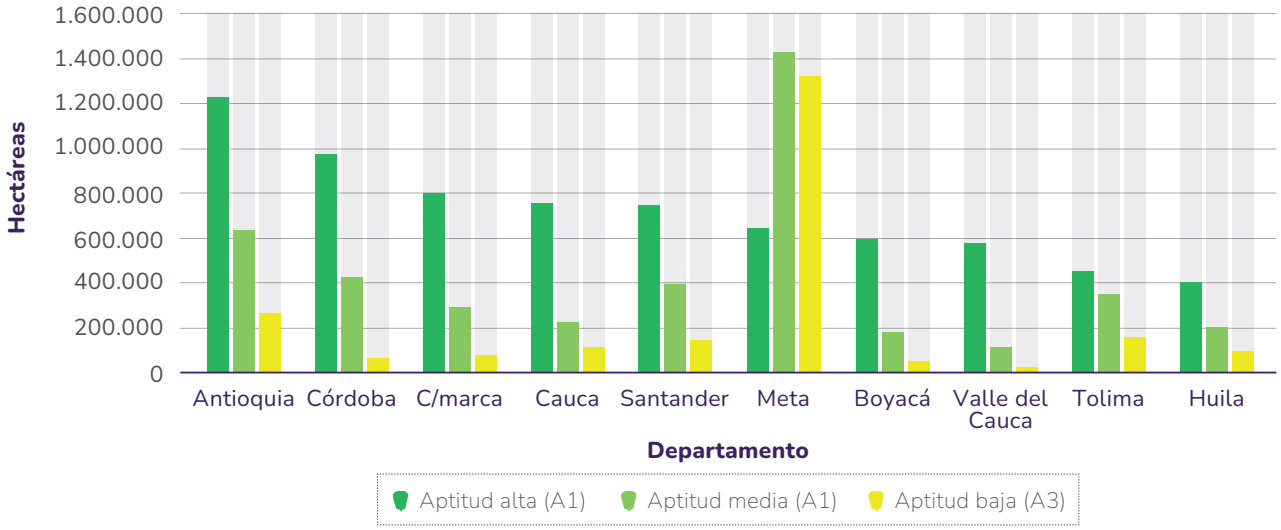
Fuente: Elaboración propia.

Los departamentos con mayor aptitud media (A2) fueron Vichada, con 1.884.435 hectáreas; seguido del Meta, con 1.427.596; Casanare, con 1.320.739; Antioquia, con 640.677; y Magdalena, con 529.369. Estos departamentos suman un área de 5.802.816 hectáreas, lo que representa el 56,5 % de la aptitud media del país.

Los departamentos con mayor aptitud baja (A3) fueron el Vichada, con 2.123.527 hectáreas; Casanare, con 1.327.356; Meta, con 1.322.288; Arauca, con 1.114.374; y Caquetá, con 861.798, los cuales representan el 70,8 % de esa aptitud para el cultivo de maíz tradicional en el territorio nacional. En la Figura 22 se pueden observar las aptitudes alta (A1), media (A2) y baja (A3) para los primeros departamentos ordenados de mayor a menor por aptitud alta (A1).



Figura 22. Clasificación de aptitud por departamento para el cultivo del maíz tradicional en Colombia: principales departamentos con aptitud alta (A1)



Fuente: Elaboración propia.

A nivel municipal, como se puede consultar en la Tabla 32, los municipios con mayor aptitud alta (A1) fueron Montería (Córdoba), con 133.958 hectáreas; El Tambo (Cauca), con 85.204; Planeta Rica (Córdoba), con 69.278; Santa Rosa de Osos (Antioquia), con 68.999; Sahagún (Córdoba), con 68.272; Villavicencio (Meta), con 62.706; Yondó, Casabe (Antioquia), con 57.531; Montelíbano y Valencia (Córdoba), con 57.047 y 53.547, respectivamente; y San Carlos de Guaroa (Meta), con 52.788.

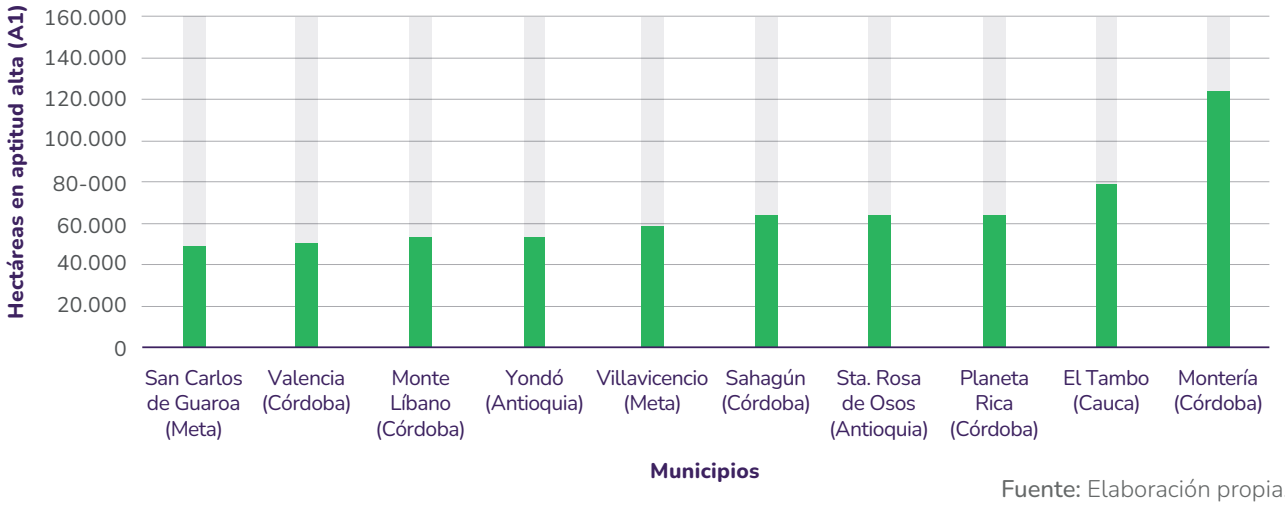
Tabla 32. Principales municipios con aptitud alta (A1) para el cultivo del maíz tradicional en Colombia

Municipio	A1 (ha)
Montería (Córdoba)	133.958
El Tambo (Cauca)	85.204
Planeta Rica (Córdoba)	69.278
Santa Rosa de Osos (Antioquia)	68.999
Sahagún (Córdoba)	68.272
Villavicencio (Meta)	62.706
Yondó (Antioquia)	57.531
Montelíbano (Córdoba)	57.047
Valencia (Córdoba)	53.547
San Carlos de Guaroa (Meta)	52.788

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 23 se presentan los primeros municipios con aptitud alta (A1).

Figura 23. Principales municipios con aptitud alta (A1) para el cultivo del maíz tradicional en Colombia



Fuente: Elaboración propia.

Los municipios con mayor aptitud media (A2) se encontraron, en su mayoría, ubicados en la altillanura y la Orinoquia del país. Cumaribo (Vichada) fue el municipio con mayor aptitud media (A2), con 869.350 hectáreas; seguido de La Primera (Vichada), con 761.525; Puerto Gaitán (Meta), con 468.962; Paz de Ariporo y Hato Corozal (Casanare), con 396.482 y 205.770, respectivamente; La Macarena y San Martín (Meta), con 188.876 y 179.522, respectivamente; San Vicente del Caguán (Caquetá), con 160.755; Santa Rosalía (Vichada), con 155.477; y Puerto López (Meta), con 150.538, como se puede observar en la Tabla 33.

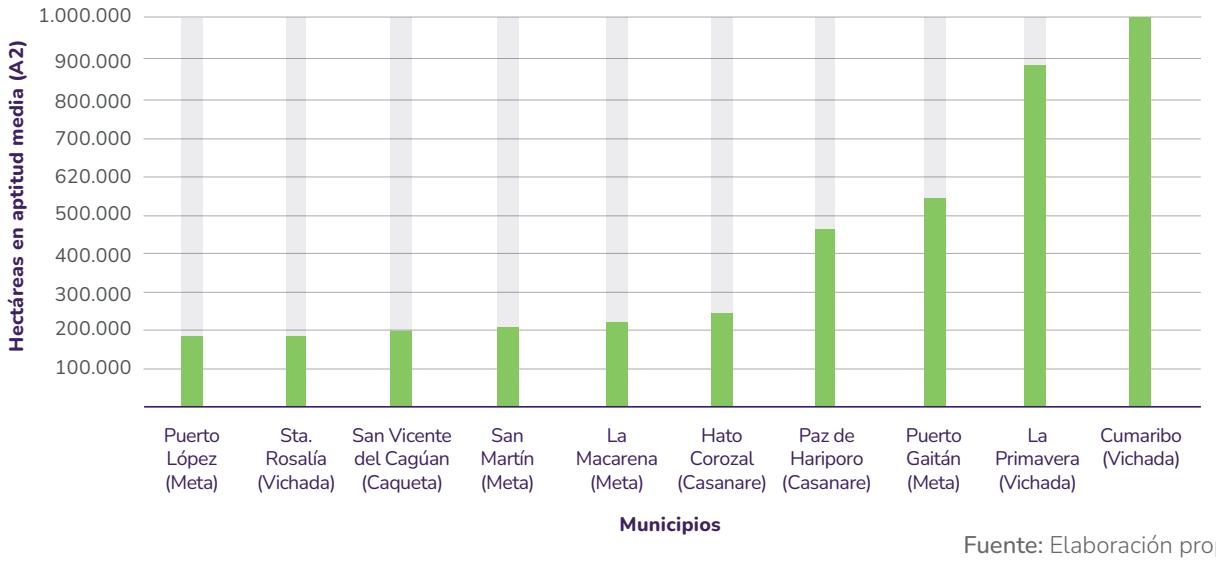
Tabla 33. Principales municipios con aptitud media (A2) para el cultivo del maíz tradicional en Colombia

Municipio	A2 (ha)
Cumaribo (Vichada)	869.350
La Primavera (Vichada)	761.525
Puerto Gaitán (Meta)	468.942
Paz de Ariporo (Casanare)	396.484
Hato Corozal (Casanare)	205.770
La Macarena (Meta)	188.876
San Martín (Meta)	179.522
San Vicente del Caguán (Caquetá)	160.755
Santa Rosalía (Vichada)	155.477
Puerto López (Meta)	150.538

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 24 se presentan los primeros municipios con la mayor aptitud media (A2) para el cultivo del maíz tradicional.

Figura 24. Municipios con mayor aptitud media (A2) para el cultivo del maíz tradicional en Colombia



Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a los municipios con mayor aptitud baja (A3), en la Tabla 34 se puede contemplar que Puerto Gaitán fue el municipio que presentó la mayor extensión de área en esta aptitud, con 712.316 hectáreas; seguido de Cumaribo, La Primavera y Puerto Carreño (Vichada), con 671.123, 657.856 y 649.904, respectivamente. Arauca y Casanare también presentaron extensas áreas para cultivar maíz tradicional, pero con aptitudes bajas.

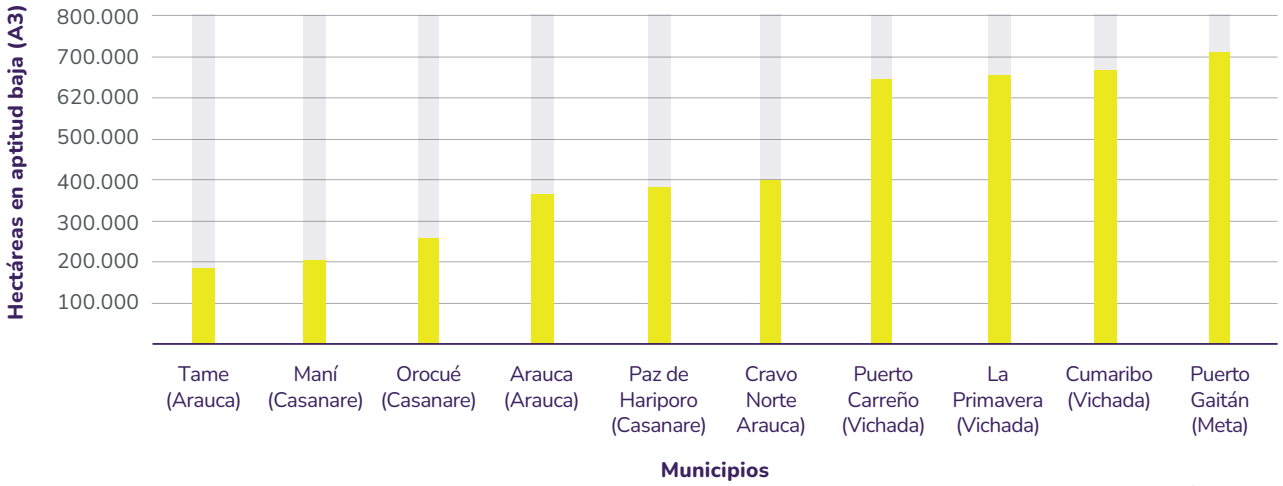
Tabla 34. Principales municipios con aptitud baja (A3) para el cultivo del maíz tradicional en Colombia

Municipio	A3 (ha)
Puerto Gaitán (Meta)	712.316
Cumaribo (Vichada)	671.123
La Primavera (Vichada)	657.856
Puerto Carreño (Vichada)	649.904
Cravo Norte (Arauca)	401.199
Paz de Ariporo (Casanare)	386.508
Arauca (Arauca)	365.008
Orocué (Casanare)	258.499
Maní (Casanare)	208.453
Tame (Arauca)	190.028

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 25 se presentan los primeros municipios con la aptitud baja (A3).

Figura 25. Municipios con aptitud baja (A3) para el cultivo del maíz tradicional en Colombia



Fuente: Elaboración propia.



5

Conclusiones



El mapa de aptitud para el cultivo de maíz indica que Colombia dispone de suficientes áreas aptas para la producción en el sistema tradicional, gracias a la amplia adaptación de la especie a diferentes condiciones biofísicas. Se diferenciaron varias zonas con aptitud para el establecimiento del maíz tradicional a lo largo del territorio colombiano, entre las cuales se destacan la Costa Caribe, que incluye los departamentos de Antioquia, Córdoba y Magdalena; los Llanos Orientales, que concentra la aptitud en los departamentos de Vichada, Meta, Casanare y Arauca; la zona occidente, desde Nariño hasta Antioquia; y la zona central, en la que se destacan los departamentos de Cundinamarca, Tolima y Boyacá.

Los departamentos de Antioquia, Córdoba, Cundinamarca y Cauca presentaron un aptitud alta (A1) con respecto a la aptitud total, es decir: reúnen las mejores condiciones para desarrollar el cultivo de maíz tradicional. En contraste, en los departamentos localizados en los Llanos Orientales, a saber: Vichada, Casanare, Meta, Arauca y Caquetá, la mayor superficie potencial apta se concentró en la aptitud baja (A3).

De acuerdo con Fenalce, los departamentos de Antioquia, Córdoba, Huila, Boyacá, Sucre, Cundinamarca, Cesar, Santander, La Guajira, Bolívar, Nariño, Atlántico, Caldas, Risaralda y Quindío presentan hasta ahora la mayor área sembrada durante el primer semestre agrícola para el maíz amarillo tradicional; mientras que, para el mismo semestre, Antioquia, Córdoba, Huila, Cesar, Cundinamarca, La Guajira, Sucre, Santander, Bolívar, Atlántico, Nariño, Quindío y Risaralda son los que presentan mayor área sembrada de maíz blanco tradicional. Estos datos concuerdan con los resultados de aptitud alta (A1) obtenidos en la presente zonificación de aptitud con respecto a Antioquia, Córdoba, Cundinamarca, Cauca y Santander.

El criterio con mayor peso dentro del componente físico fue *condiciones climáticas*, ligado principalmente a la temperatura, la cual se encuentra ampliamente distribuida desde el clima cálido hasta muy frío. En relación con el componente socioecosistémico, el criterio de mayor importancia fue *apropiación del agua*. En relación con ello, las áreas de aptitud alta (A1) predominan en la

Amazonia, la Orinoquia, el andén Pacífico y la depresión momposina, es decir: en estas áreas no existen conflictos fuertes entre la oferta hídrica y el uso de agua por parte del cultivo. Entre tanto, la mayor limitación se encontró en la Costa Caribe, el alto Magdalena, el alto Cauca, el altiplano cundiboyacense y el Norte de Santander.

Finalmente, el criterio *asociatividad e institucionalidad* tuvo mayor ponderación dentro del componente socioeconómico, ya que reflejó la existencia de liderazgos, de cohesión social y de construcción de redes que articulan a los productores y facilitan el acceso a instancias en las que pueden disponer de recursos para la implementación de proyectos productivos y el desarrollo del sector.





6

Bibliografía



Ávila, G.E., Cubillos, C.E., Granados, A.E., Medina, E., Rodríguez, E.A., Rodríguez, C.E. y Ruiz, G.L. (2016). *Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa.* Bogotá, Colombia: Servicio Geológico Colombiano (SGC). DOI: https://doi.org/10.32685/9789589952856

Cabrera, E., Vargas, D.M., Galindo, G., García, M.C., Ordoñez, M.F., Vergara, L.K., ... Giraldo, P. (2011). *Memoria técnica de la cuantificación de la deforestación histórica nacional: escalas gruesa y fina.* Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). Recuperado de https://n9.cl/napig

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. Bogotá, Colombia, 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. Bogotá, Colombia: Congreso de la República de Colombia.

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

Congreso de la República de Colombia (1993b). *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. Bogotá, Colombia: Congreso de la República de Colombia.

Congreso de la República de Colombia (1994). *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. Bogotá, Colombia: 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 44.097. Bogotá, Colombia: Congreso de la República de Colombia.

Congreso de la República de Colombia (2003). *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. Bogotá, Colombia: 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. Bogotá, Colombia: Congreso de la República de Colombia.

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

Congreso de la República de Colombia (2016). *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. Bogotá, Colombia: 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. Bogotá, Colombia: Congreso de la República de Colombia.

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

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2018). *Manual de uso del marco geoestadístico nacional en el proceso estadístico*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), Sistema Estadístico Nacional (SEN). Recuperado de https://n9.cl/8ajtr

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

Deras, H. (2020). *Guía técnica: el cultivo del maíz*. San Salvador, El Salvador: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Centro Nacional de Tecnología Agropecuario y Forestal (CENTA), Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE). Recuperado de https://repositorio.iica.int/handle/11324/11893

Doorenbos, J. & Kassam, A. (1979). *Yield response to water*. Roma, Italia: Food and Agriculture Organization (FAO), FAO irrigation and drainage paper 33.

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*. Recuperado de https://acortar.link/trFgJW

FAOSTAT (2022). *Datos sobre alimentación y agricultura: maíz*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Recuperado de https://n9.cl/bc5ij

Food and Agriculture Organization of the United Nations (1976). *A framework for land evaluation.* Roma, Italia: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI). Recuperado de 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.* Roma, Italia: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Recuperado de https://edepot.wur.nl/488269

Federación Nacional de Cultivadores de Cereales, Leguminosas y Soya (2010). *El cultivo del maíz: historia e importancia.* Bogotá, Colombia: Federación Nacional de Cultivadores de Cereales, Leguminosas y Soya (Fenalce). Recuperado de http://hdl.handle.net/20.500.12324/1004

Federación Nacional de Cultivadores de Cereales, Leguminosas y Soya (2021). *Indicadores cerealistas.* Bogotá, Colombia: Federación Nacional de Cultivadores de Cereales, Leguminosas y Soya (Fenalce). Recuperado de https://n9.cl/kly102

Federación Nacional de Cultivadores de Cereales, Leguminosas y Soya (2022). *Estadísticas.* Bogotá, Colombia: Federación Nacional de Cultivadores de Cereales, Leguminosas y Soya (Fenalce). Recuperado de https://fenalce.co/estadisticas/

Forbes, T., Rossiter, D., & Wambeke, V. (1987). *Guidelines for evaluating the adequacy of soil resource inventories (SMSS: technical monograph:* soil management support services. Vol. 4). New York, United States of America: Cornell University, Department of Agronomy, New York State College of Agriculture and Life Sciences; U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Soil Management Support Service (SMSS).

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

Gómez, J.A. (2015). *Caracterización agroclimática del Tolima y Huila y análisis de amenazas en la zona maicera.* Bogotá, Colombia: Instituto de Meteorología, Hidrología y Estudios Ambientales (Ideam).

Govaerts, B., Vega, D., Chávez, X., Narro, L., San Vicente, F.M., Palacios, N. ... Aguilar, D. (2019). *Maíz para Colombia: visión 2030.* México D.F.: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) Centro International de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Recuperado de https://hdl.handle.net/10883/20218

Granados, G. (2001). Insectos del maíz. En Paliwal, R. L., Granados, G., Lafitte, H.R. y Violic, A.D. (Eds.). *El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción* (pp. 88-101). Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Recuperado de https://n9.cl/qr10u

Harms, B., Brough, D., Philip, S., Bartley, R., Clifford, D., Thomas, M., ... 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

Hoyos, G.M. y Ocampo, J.E. (2018). Producción y consumo del maíz en Colombia: descripción de la cadena y propuesta de estrategias para un mejor desempeño de la misma. En Hoyos, G.M. (Ed.) *Algunos componentes generales, particulares y singulares del maíz en Colombia y México* (pp. 95-112). Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia, Facultad de Ciencias Agrarias.

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*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). Recuperado de https://n9.cl/d8gxj

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2014). *Atlas climatológico de Colombia*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2015). *Estudio nacional del agua 2014*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). Recuperado de https://n9.cl/vz0m

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2023). *¿Qué es y cómo se obtiene el avalúo catastral?* Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Recuperado de https://n9.cl/a72ni

IndexMundi (2021). *Producción de maíz por país en miles de toneladas*. Carolina del Norte, Estados Unidos: IndexMundi. Recuperado de https://n9.cl/wmthj

Jackson, M.L. (1958). *Soil chemical analysis*. Nueva Jersey, United States of America: Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs.

Klingebiel, A.A. & P.H. Montgomery (1961). *Land-capability classification: agriculture handbook n.º 210*. Washington, D.C., United States of America: 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). Ámsterdam, Países Bajos: KIT Publishers BV.

Malagón, D. y Montenegro, H. (1990). *Propiedades físicas de los suelos*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Maluenda, M.J. (2021). *Maíz 2019/20: producción récord y descenso de stocks en campañas consecutivas.* Castilla y León, España: Agrodigital. Recuperado de https://n9.cl/j9i8v

Massiris, A.M. (2017). *Lineamientos para la implementación de la estrategia de ordenamiento territorial agropecuario en los planes de ordenamiento territorial municipales.* Bogotá, Colombia: Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2018). Resolución 0261 de 2018, por medio de la cual se define la Frontera Agrícola Nacional y se adopta la metodología para la identificación general. Diario Oficial 50.632. Bogotá, Colombia: 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.* Bogotá, Colombia: 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.* Bogotá, Colombia: 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.* Bogotá, Colombia: 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.* Bogotá, Colombia: 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.* Bogotá, Colombia: 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.* Bogotá, Colombia: 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.* Bogotá, Colombia: 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*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018a). *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*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018b). *Resolución 1987 de 2018, por medio de la cual se prorroga el término de duración de las zonas de protección y desarrollo de los recursos naturales renovables y del medio ambiente establecidas mediante la Resolución número 1814 de 2015, modificada por la Resolución número 2157 de 2017 y se adoptan otras determinaciones*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018c). *Resolución 1310 de 2018, por medio de la cual se prorroga el término de duración de las zonas de protección y desarrollo de los recursos naturales renovables y del medio ambiente establecidas mediante la Resolución 1628 de 2015 y prorrogadas a través de la Resolución 1433 de 2017 y se adoptan otras determinaciones*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS).

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2023). *Cambio climático y gestión del riesgo: Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono (ECDBC)*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). Recuperado de https://n9.cl/wyixs

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. Bogotá, Colombia: 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*. Bogotá, Colombia: Ministerio del Medio Ambiente.

NaturalistaCo (2023). *Maíz (Zea mays)*. San Francisco (California), Estados Unidos: iNaturalist. Recuperado de https://n9.cl/ud1r3

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*. Roma, Italia: 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 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*. París, Francia: Organización de la Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco). Recuperado de: 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*. Lima, Perú: Organización Internacional del Trabajo (OIT), Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Recuperado de 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*. Ginebra, Suiza: Organización Meteorológica Mundial (OMM). Recuperado de 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

Paliwal, R.L. (2001). Introducción al maíz y su importancia. En Paliwal, R. L., Granados, G., Lafitte, H.R. y Violic, A.D. (Eds.). *El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción* (pp. 1-4). Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Recuperado de https://n9.cl/qr10u

Policía Nacional de Colombia (2023a). *Normativa sobre el delito de hurto*. Bogotá, Colombia: Policía Nacional de Colombia (PONAL). Recuperado de https://n9.cl/pk7ai

Policía Nacional de Colombia (2023b). *Grupo Información de Criminalidad (GICRI)*. Bogotá, Colombia: Policía Nacional de Colombia. (PONAL). Recuperado de https://n9.cl/tuafa

Porter, M. (1980). *Competitive strategy: techniques for analyzing industries and competitors*. Nueva York, United States of America: Free Press.

Porter, M. (1985). *The competitive advantage: creating and sustaining superior performance*. Nueva York, United States of America: Free Press.

Presidencia de la República de Colombia (1974). *Decreto-Ley 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. Bogotá, Colombia: Presidencia de la República de Colombia.

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. Bogotá, Colombia: 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. Bogotá, Colombia: Presidencia de la República de Colombia.

Presidencia de la República de Colombia (1989). *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. Bogotá, Colombia: 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. Bogotá, Colombia: Presidencia de la República de Colombia.

Presidencia de la República de Colombia (1999). *Decreto 1996 de 1999, por el cual se reglamentan los artículos 109 y 110 de la Ley 99 de 1993 sobre Reservas Naturales de la Sociedad Civil.* Diario Oficial 43.751. Bogotá, Colombia: Ministerio del Medio Ambiente (MMA).

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. Bogotá, Colombia: 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. Bogotá, Colombia: Presidencia de la República de Colombia.

Presidencia de la República de Colombia (2011a). *Decreto 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. Bogotá, Colombia: Presidencia de la República de Colombia.

Presidencia de la República de Colombia (2011b). *Decreto 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. Bogotá, Colombia: Presidencia de la República de Colombia.

Presidencia de la República de Colombia (2012). *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. Bogotá, Colombia: Presidencia de la República de Colombia.

Presidencia de la República de Colombia (2015). *Decreto 1076 de 2015, por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.* Diario Oficial 49.523. Bogotá, Colombia: Presidencia de la República de Colombia.

Quintero, L.E. (1998). *La producción y comercialización de granos y algodón en Colombia.* Bogotá, Colombia: Bolsa Nacional Agropecuaria. Recuperado de: http://hdl.handle.net/20.500.12324/12519

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

Saaty, T.L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: planning, priority setting, resource allocation.* New York, United States of America: McGraw Hill International Book Co.

Sarria, G.A., Vanegas, H., Narro, L. (2005). *Enfermedades resurgentes del maíz tropical en Colombia.* Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Federación Nacional de Cultivadores de Cereales, Leguminosas y Soya (Fenalce) y Centro International de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Recuperado de https://n9.cl/xxqwq

Siemens, J.C., Dickey, E.C., & Threadgill, E.D. (1992). Definitions of tillage systems for corn. *Biological Systems Engineering* (246), 1-4. Recuperado de https://n9.cl/1q9lp

Siraj, S., Mikhalilov, L., & Keane, J.A. (2013). PriEsT: an interactive decision support too to estimate priorities from pairwise comparison judgments. *Int Trans Oper Res, 22*(2), 217-235. DOI: https://doi.org/10.1111/itor.12054

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.). Washington D.C., Estados Unidos: U.S. Department of Agriculture (USDA), Natural Resources Conservation Service. Recuperado de https://n9.cl/z5h7x

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (2014). *Metodología de zonificación de aptitud para plantaciones forestales comerciales a escala semidetallada (1:25.000)*. Bogotá, Colombia: Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (2015). *Zonificación para plantaciones forestales con fines comerciales en Colombia a escala 1:100.000*. 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)*. Bogotá, Colombia: Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria y Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas (2018). *Cultivo comercial de maíz tecnificado de clima cálido: identificación de zonas aptas para Colombia, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).
Recuperado de: http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/handle/11438/8644

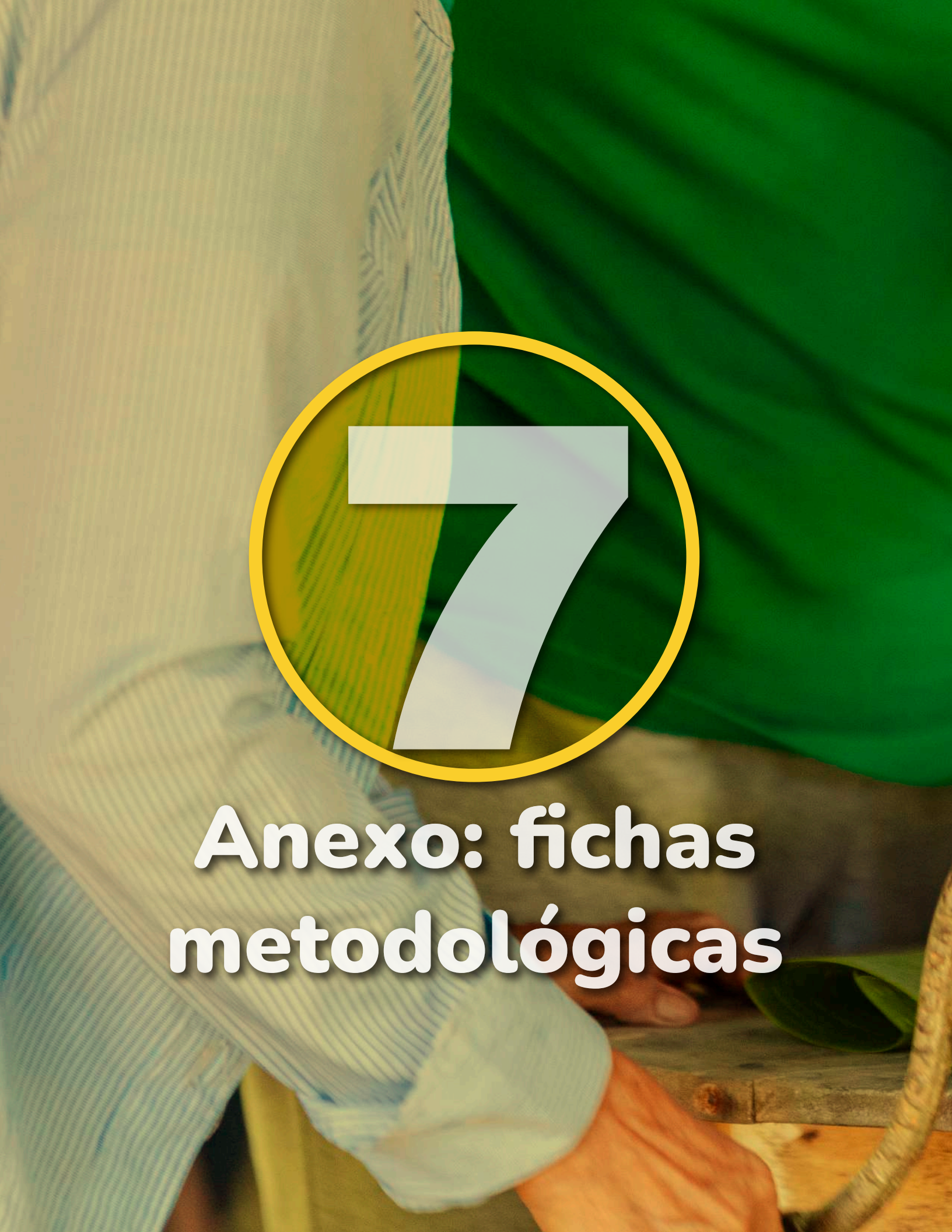
Unidad de Planificación Rural Agropecuaria y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2014). *Zonificación para plantaciones forestales con fines comerciales en Colombia, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). Recuperado de: http://hdl.handle.net/20.500.12324/12715

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)*. Bogotá, Colombia: Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).
Recuperado de: http://hdl.handle.net/20.500.12324/36447

Varón, F. y Sarria, G. A. (2007). *Enfermedades del maíz y su manejo: compendio ilustrado*. Palmira, Colombia: Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Federación Nacional de Cultivadores de Cereales, Leguminosas y Soya (Fenalce). Recuperado de http://hdl.handle.net/20.500.12324/17378

Violic, A.D. (2021). Manejo integrado de cultivos. En Paliwal, R. L., Granados, G., Lafitte, H.R. y Violic, A.D. *El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción* (pp. 205-302). Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Recuperado de https://n9.cl/qr10u

Xochicentli, A.C. (2020). *Cuando el teocintle se convierte en maleza*. Estado de México: Centro International de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Recuperado de https://n9.cl/yg8c4



7

Anexo: fichas metodológicas



Contenido

1. Fichas metodológicas del componente físico.....156
1.1. Criterio *condiciones climáticas*.....156
1.1.1. Variable *temperatura media anual*.....160
1.1.2. Variable *índice de disponibilidad de humedad para el cultivo (IDHC)*.....163
1.1.3. Variable *brillo solar medio diario anual*.....167
1.2. Criterio *condiciones de enraizamiento*.....170
1.2.1. Variable *profundidad efectiva*.....174
1.2.2 Variable *textura*.....178
1.2.4. Variable *pedregosidad*.....182
1.3. Criterio *disponibilidad de nutrientes*.....185
1.3.1. Variable *acidez (pH)*.....190
1.3.2. Variable *saturación de bases*.....194
1.3.3. Variable *carbono orgánico*.....197
1.3.4. Variable *capacidad de intercambio catiónico*.....201
1.4. Criterio *toxicidad por sales, sodio y aluminio*.....205
1.4.1. Variable *salinidad y sodicidad*.....209
1.4.2. Variable *saturación de aluminio*.....213
1.5. Criterio *disponibilidad de humedad*.....217
1.5.1. Variable *régimen de humedad*.....221
1.5.2. Variable *textura*.....225
1.6. Criterio *susceptibilidad a la pérdida de suelos*.....229
1.7. Criterio *disponibilidad de oxígeno*.....235
1.7.1. Variable *drenaje natural*.....239
1.7.2. Variable *susceptibilidad a inundaciones*.....243

1.8. Criterio *susceptibilidad fitosanitaria* 247

1.8.1. Variable *temperatura media anual asociada a la plaga gusano cogollero (Spodoptera frugiperda)* 251

1.8.2. Variable *índice de disponibilidad de humedad del cultivo (IDHC) asociada a la plaga gusano cogollero* 254

1.8.3. Variable *temperatura media anual asociada a la enfermedad mancha de asfalto* 257

1.8.4. Variable *humedad relativa media anual asociada a la enfermedad mancha de asfalto* 260

1.8.5. Variable *índice de disponibilidad de humedad del cultivo (IDHC) asociado a la enfermedad mancha de asfalto* 263

1.9. Criterio *capacidad de laboreo* 266

1.9.1. Variable *pendiente* 270

1.9.2. Variable *textura* 274

1.9.3 Variable *pedregosidad* 278

2. Fichas metodológicas del componente socioecosistémico 281

2.1. Criterio *apropiación del agua* 281

2.1.1. Variable *diferencia del uso consuntivo* 288

2.1.2. Variable *índice del uso del agua* 293

2.2. Criterio *integridad ecológica* 297

2.2.1. Variable *conectividad estructural de coberturas naturales* 304

2.2.2. Variable *Índice de naturalidad (INAT)* 309

2.2.3. Variable *áreas de concentración de especies sensibles (ACES)* 313

2.3. Criterio *variación del contenido estimado de carbono* 322

2.5. Criterio *cambio de cobertura* 330

2.6. Criterio *amenaza por incendios de la cobertura vegetal* 339

3. Fichas metodológicas del componente socioeconómico 342

3.1. Criterio *asociatividad e institucionalidad* 342

3.1.1. Variable *cercanía a las asociaciones* 347

3.1.2. Variable *cercanía al gremio* 351

3.1.3. Variable *cercanía a entidades prestadoras de servicio de extensión agropecuaria (EPSEA)* 355

3.1.4. Variable *cercanía a Agrosavia* 359

3.1.5. Variable *cercanía al ICA* 363

3.2. Criterio *infraestructura y logística* 367

3.2.1. Variable *Cercanía a centros de comercialización local* 373

3.2.2. Variable *existencia de cultivos* 377

3.2.3. Variable *cercanía a centros de servicios* 381

3.2.4. Variable *cercanía a centros de almacenamiento* 385

3.2.5. Variable *cercanía a plantas procesadoras* 389

3.3 Criterio *dinámica del mercado de tierras* 393

3.3.1. Variable *tamaño predial rural* 396

3.3.2. Variable *arriendo rural* 401

3.3.3. Variable *avalúo catastral rural* 407

3.3.4 Variable *tendencia a la formalidad* 413

3.4 Criterio *disponibilidad de mano de obra* 419

3.4.1. Variable *densidad de la población rural en edad de trabajar* 424

3.4.2. Variable *oferta educativa técnica y tecnológica* 430

3.4.3. Variable *oferta educativa universitaria* 435

3.5. Criterio *condiciones de vida* 440

3.5.1. Variable *trabajo* 445

3.5.2. Variable *salud* 450

3.5.3. Variable *condiciones de la niñez y la juventud* 455

3.5.4. Variable *condiciones de vivienda y acceso a los servicios públicos* 460

3.5.5. Variable *condiciones educativas del hogar* 466

3.6. Criterio *indicadores económicos* 471

3.6.1. Variable *créditos otorgados* 475

3.6.2. Variable *valor agregado agrícola municipal* 479
3.6.3. Variable *desempeño municipal* 484
3.6.4. Variable *zonas ZOMAC* 496
3.7. Criterio *seguridad ciudadana* 499
3.7.1. Variable *hurtos rurales* 504
3.7.2. Variable *homicidios rurales* 509
3.7.3 Variable *extorsiones rurales* 514
3.7.4. Variable *secuestros rurales* 519
4. Fichas metodológicas de exclusiones legales 524
4.1 Criterio *exclusiones legales* 524
4.1.1. Variable *ecosistemas estratégicos (páramos)* 531
4.1.2. Variable *áreas protegidas* 534
4.1.3. Variable *otras áreas protegidas locales* 537
4.1.4. Variable *áreas urbanas* 540
4.1.5. Variable *parques arqueológicos* 543
4.1.6. Variable *zonas de reserva forestal nacional, Ley 2 de 1959, zonas tipo A* 546
5. Fichas metodológicas de condicionantes legales 549
5.1. Criterios *condicionantes legales* 549
5.1.1. Variable *ecosistemas estratégicos (manglares, humedales, rondas hídricas y bosque seco tropical)* 553
5.1.2. Variable *otras áreas protegidas locales* 562
5.1.3. Variable *zonas de reserva forestal nacional, Ley 2 de 1959, tipos B y C* 565
5.1.4. Variable *distinciones internacionales* 569
5.1.5. Variable *áreas de interés cultural y social* 573

1. Fichas metodológicas del componente físico

1.1. Criterio *condiciones climáticas*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: físico. Subcomponente: climático		
Criterio: *condiciones climáticas*		
Tipo de criterio	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 de 0 a 1.

Brillo solar medio diario anual, expresado en horas sol/día.

Definición

Conjunto de elementos climáticos o 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 (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 1976; Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA] y Universidad Nacional de Colombia, 2013).

Importancia del criterio

La interacción de los elementos y de los factores climáticos con el cultivo del maíz incide directamente en la fisiología del cultivo, lo cual puede limitar, en casos extremos, la posibilidad de establecer cultivos de esta especie o el desarrollo y la producción.

Limitantes de la evaluación del criterio

Debido al escaso cubrimiento de estaciones meteorológicas que registran los diferentes parámetros del clima, como la evapotranspiración de referencia, se generan inconvenientes para conocer la distribución espacial más detallada del clima en algunas regiones productoras de maíz en el país.

Metodología de evaluación

Las condiciones climáticas se generan a partir de un árbol de decisión, en el cual se integran la información base de las unidades térmicas e insolación y el índice de disponibilidad de humedad del cultivo. Esto se toma de la distribución de la temperatura media anual, el brillo solar y la base de datos de precipitación, de evapotranspiración del cultivo y de distribución para el periodo comprendido 1981-2010. Con base en lo anterior, se definen los criterios y variables sobre los cuales se establecen las características y cualidades del territorio que le confieren cierto grado de aptitud para soportar adecuadamente el cultivo de maíz, de acuerdo con los rangos establecidos por el equipo técnico de trabajo del componente físico, actividad soportada por el grupo de las TIC de la UPRA.

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:

Árbol de decisión			
Temperatura media anual (°C)	Índice de disponibilidad de humedad para el cultivo (IDHC)	Brillo solar medio diario anual (horas sol/día)	Aptitud
A1	A1	A1	A1
		A2	A2
		A3	A3
	A2	A1	A2
		A2	A2
		A3	A3
	A3	A1	A3
		A2	A3
		A3	A3
	N1	Cualquiera	N1
A2	A1	A1	A2
		A2	A2
		A3	A3
	A2	A1	A2
		A2	A2
		A3	A3
	A3	A1	A3
		A2	A3
		A3	A3
	N	Cualquiera	N1

A3	A1	A1	A3
		A2	A3
		A3	A3
	A2	A1	A3
		A2	A3
		A3	A3
	A3	A1	A3
		A2	A3
		A3	A3
	N1	Cualquiera	N1
N1	Cualquiera	Cualquiera	N1
N1	Cualquiera	Sin distrito	N1
Cualquiera	Cualquiera	Con distrito	A1

Fuentes de información

Campos, D. (2005). *Agroclimatología cuantitativa de cultivos*. México, D.F.: Trillas. Recuperado de: https://n9.cl/vo4jz

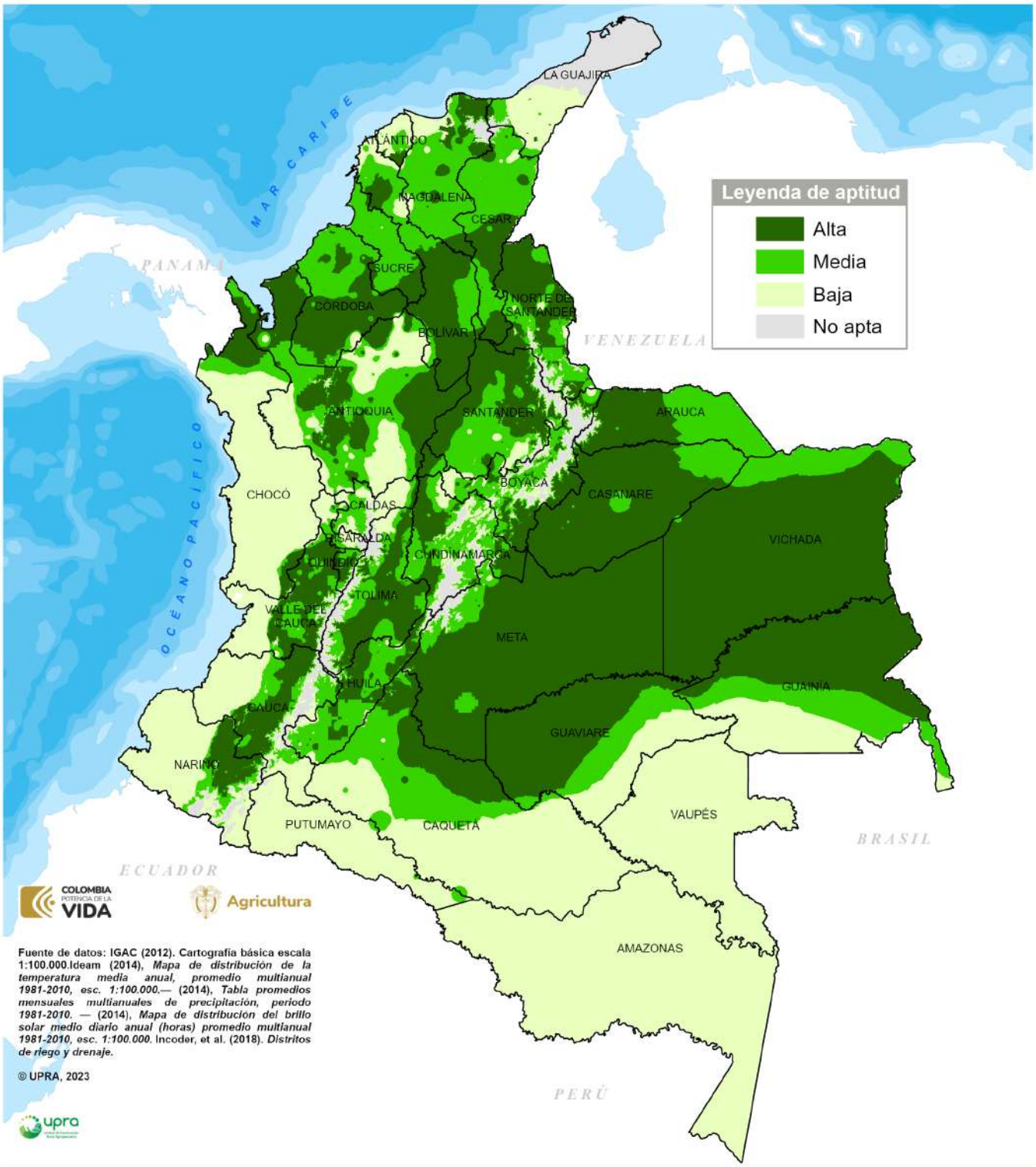
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2014). *Mapa de distribución de la temperatura media anual, promedio multianual 1981-2010, escala: 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

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*. Bogotá Colombia: 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*. Bogotá Colombia: 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).

Representación cartográfica del criterio



1.1.1. Variable *temperatura media anual*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: físico. Subcomponente: climático		
Criterio asociado: *condiciones climáticas*		
Variable: *temperatura media anual*	Unidad de medida: °C/año	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	✓
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Medida del estado térmico del aire con respecto a su habilidad de transmitir calor alrededor. Depende de la latitud y de la altitud, y se toma generalmente como un índice de balance calórico, expresado en grados centígrados °C (Ideam, 2014).

Importancia de la variable para el criterio

Los procesos fisiológicos de las plantas están limitados por ciertos rangos de temperatura, delimitados por los valores *máximo* y *mínimo*, fuera de los cuales éstos se afectan. Aunque el rango de adaptación del maíz es muy amplio, la especie es sensible a bajas temperaturas, como las ocasionadas por las heladas, especialmente si ocurren en la etapa reproductiva del cultivo.

Para la presente zonificación de aptitud, conocer la distribución espacial de este elemento del clima fue fundamental, ya que fue la base para establecer áreas con condiciones térmicas diferenciales. Esto permitió establecer zonas con aptitudes alta, media, baja y no apta para el cultivo de maíz, de acuerdo con los requerimientos térmicos.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

Para el establecimiento y desarrollo del cultivo de maíz, se consideraron como zonas no aptas (N1) las que estuvieran por debajo de los 8 °C, como se puede observar en la siguiente tabla:

Temperatura media anual (°C)	Aptitud
>13	Alta (A1)
10-3	Media (A2)
8-10	Baja (A3)
<8	No apta (N1)

Limitantes de la evaluación de la variable

Se dispuso de una base de datos actualizada de la información térmica de todo el territorio nacional, generada por la red de estaciones meteorológicas, la cual se tuvo solo hasta 2010. En consecuencia, el análisis espacial anual no reflejó la condición térmica actual del país.

Metodología de procesamiento de la información

Se tomaron las unidades térmicas media del mapa de isotermas anuales elaborado por el Ideam en el año 2014 a escala 1:100.000, basado en una serie histórica de 1981 al 2010. Se realizó un ejercicio de delimitación espacial de acuerdo con los rangos establecidos por el equipo profesional de trabajo del componente físico, actividad que fue soportada por el grupo de las TIC de la UPRA.

Unidad de análisis

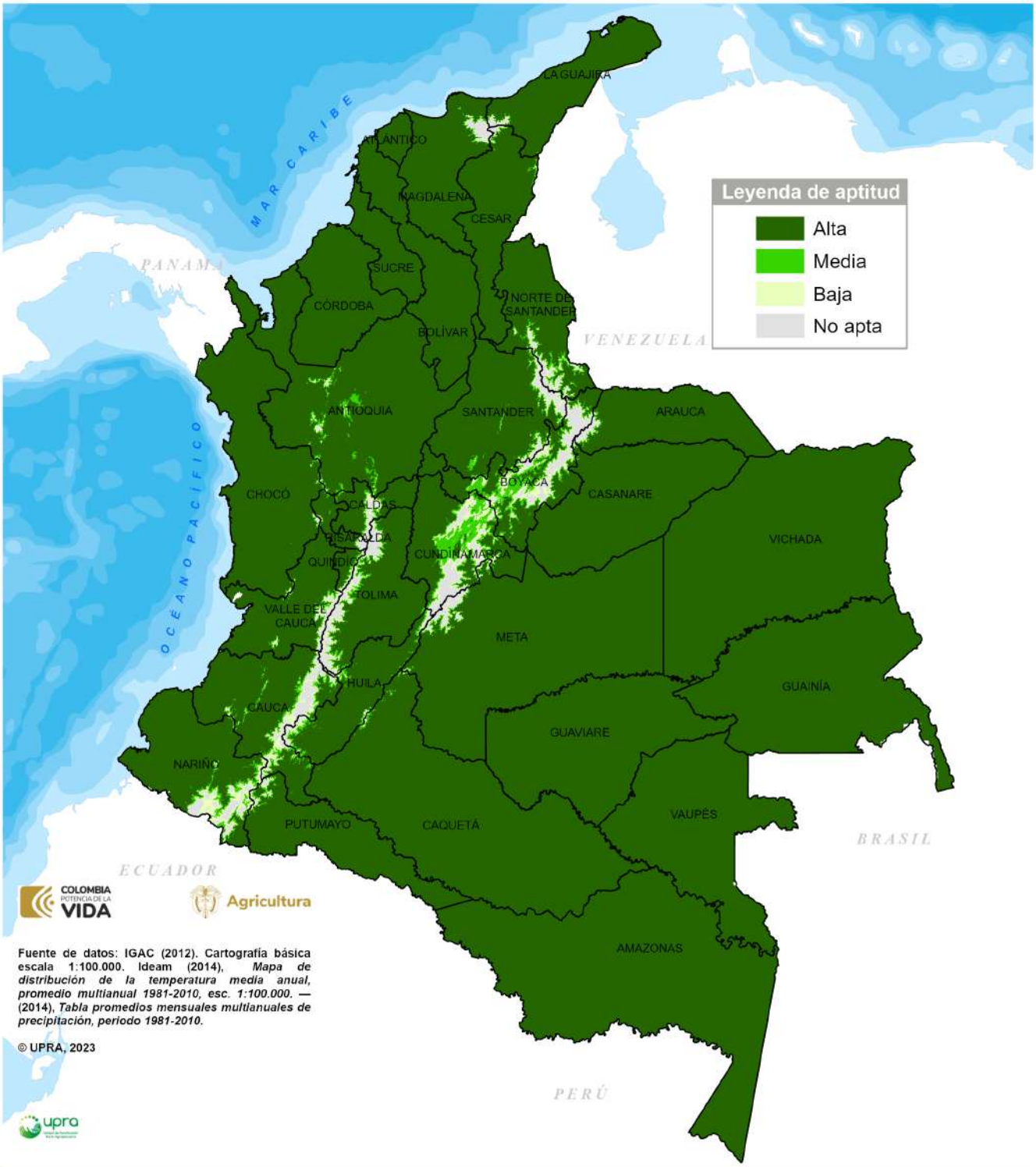
Distribución de la temperatura media anual en el territorio nacional.

Fuentes de información

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2014). *Mapa de distribución de la temperatura media anual, promedio multianual 1981-2010, escala: 1:100.000*. Bogotá, Colombia: 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).

Representación cartográfica de la variable



Fuente de datos: IGAC (2012). Cartografía básica escala 1:100.000. Ideam (2014), *Mapa de distribución de la temperatura media anual, promedio multianual 1981-2010, esc. 1:100.000.* — (2014), *Tabla promedios mensuales multianuales de precipitación, periodo 1981-2010.*

© UPRA, 2023

Criterio *condiciones climáticas*
Variable *temperatura media anual*

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)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: físico. Subcomponente: climático		
Criterio asociado: *condiciones climáticas*		
Variable: *índice de disponibilidad de humedad para el cultivo (IDHC)*	Unidad de medida: cualitativa	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	✓
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Índice de la relación mensual entre la precipitación y la evapotranspiración actual del cultivo.

Importancia de la variable para el cultivo

Esta variable se refiere al potencial de agua que se podría suministrar por la precipitación. Las necesidades de agua para el cultivo de maíz son estimadas a través de la evapotranspiración actual y son suplidos en la medida en la que la precipitación esté disponible. De allí que este índice muestre la relación, donde indica que cuando los valores estén cercanos o iguales a 1, las necesidades de agua están siendo compensadas y, en la medida en que se aleja, aumentan los déficits hídricos, lo cual afecta el potencial de abastecimiento de agua para el crecimiento y el desarrollo del cultivo.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

Se estableció, como valor de exclusión (N1), menos de 0,4 de IDHC que ocasiona estrés hídrico, lo cual se evidencia en una pobre emergencia del cultivo y en disminución en el desarrollo del área foliar, que se traducen en escaso crecimiento, como se puede consultar en la siguiente tabla:

Índice de disponibilidad de humedad del cultivo (IDH)	Aptitud
0,75-0,95	Alta (A1)
0,6-0,75 y 0,95-0,99	Media (A2)
0,4-0,6 y >0,99	Baja (A3)
<0,40	No apta (N1)

Limitantes de la evaluación de la variable

Colombia presenta una amplia gama de condiciones climáticas que van desde lo semidesértico (La Guajira) hasta lo muy húmedo (el Chocó); y desde el nivel del mar (costas Caribe y del Pacífico) 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, pues excluye el suelo —almacenamiento de agua del suelo—, no sólo porque no se cuenta con la información nacional de humedad aprovechable —capacidad de campo menos punto de marchitez permanente—, sino también porque la información de suelos que tiene cubrimiento nacional son los estudios generales de suelos del país (escala 1:100.000), y éstos contienen asociaciones como unidades cartográficas de suelos. De tal modo, al no incluir en el modelo la capacidad de almacenamiento del suelo no es conveniente incluir en el modelo el almacenamiento anterior mes a mes, lo que conlleva 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), además de no contar con el mapa nacional correspondiente.

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 mediante los cálculos quie se describen a continuación. El índice de disponibilidad de humedad para el cultivo de maíz (*IDHC*) se calculó en función de la siguiente ecuación:

$$IDHC = [(ET_{aene}/ET_{cene})+(ET_{afeb}/ET_{cfeb}) \ldots\ldots\ldots (ET_{adic}/ET_{cdic})]/12$$

$$ETa=ETc \text{ cuando } P \geq ETc \text{ y } ETa = P \text{ cuando } P < ETc$$

donde

P = precipitación mensual multianual;

ETc = evapotranspiración del cultivo mensual bajo condiciones estándar;

ETa = evapotranspiración actual, que se refiere a la cantidad de agua que suministra la precipitación en dicho mes y es evapotranspirada. Esto es generado a partir de la normal climatológica 1981-2010. La evapotranspiración del cultivo (*ETc*) es el siguiente:

$$ETc = Kc * ETo$$

donde

Kc: = coeficiente hídrico del cultivo de maíz (1,17).

ETo = evapotranspiración de referencia mensual —demanda de evapotranspiración de la atmósfera, en función de un cultivo de referencia, específicamente, pastos con una altura de 0,12 m, resistencia superficial de 70^{sm-1} y un albedo de 0,23—.

Una vez calculados los valores de *IDHC* mensuales multianuales desde enero hasta diciembre, son llevados a un promedio anual.

Unidad de análisis

Distribución del índice de disponibilidad de humedad para el cultivo (IDHC) en el territorio nacional.

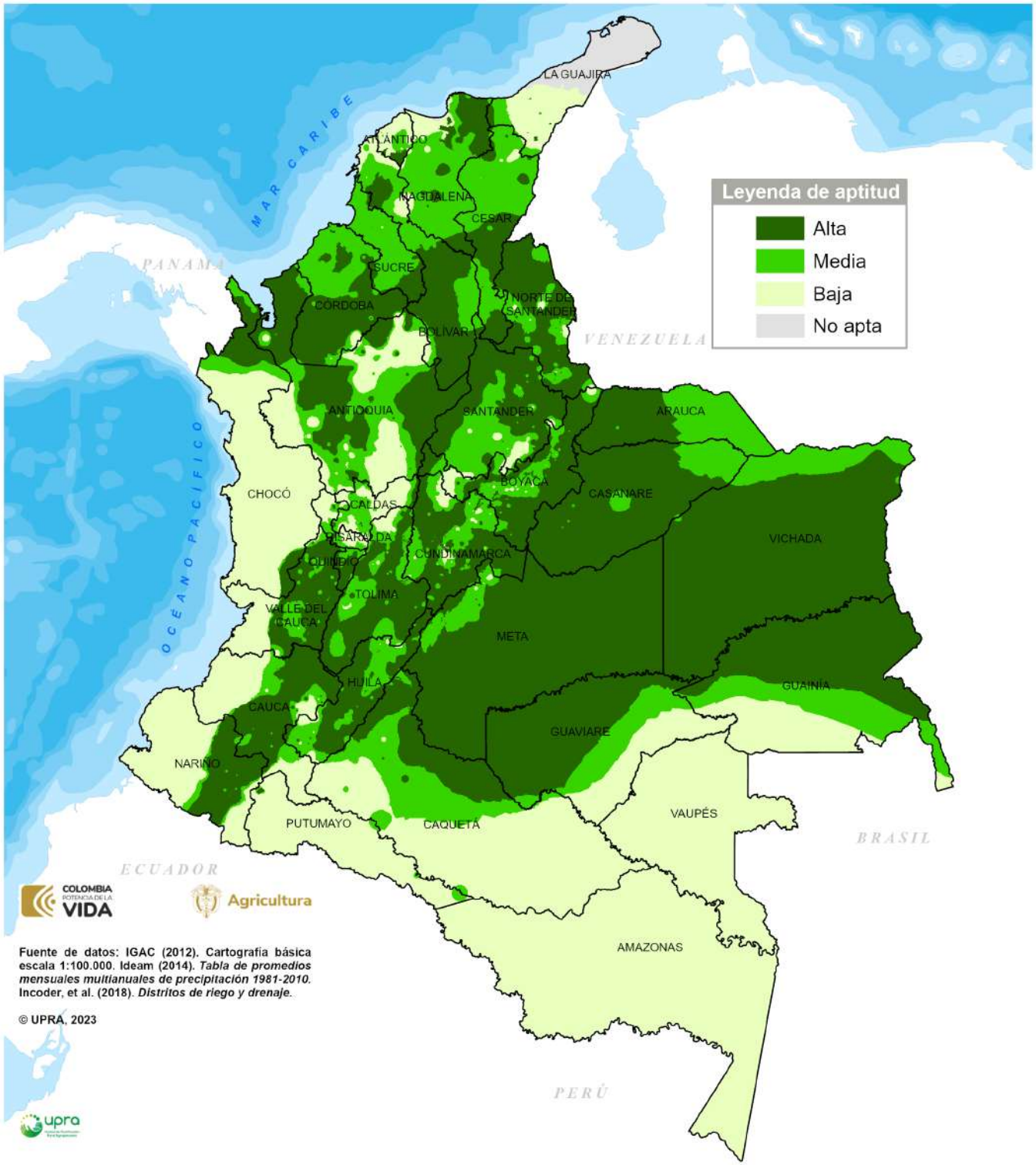
Fuentes de información

Campos, D. (2005). *Agroclimatología cuantitativa de cultivos*. México D. F.: Trillas. Recuperado de https://n9.cl/vo4jz

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2014). *Tabla de promedios mensuales multianuales de precipitación y evapotranspiración de referencia, periodo 1981-2010*. Bogotá, Colombia: 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).

Representación cartográfica de la variable



Criterio *condiciones climáticas*

Variable *índice de disponibilidad de humedad para el cultivo (IDHC)*

1.1.3. Variable *brillo solar medio diario anual*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
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

La 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

Ejerce una función esencial sobre el potencial productivo del maíz. En regiones donde el periodo de brillo solar es menor, puede disminuir el rendimiento del cultivo, debido a la producción de un menor número de granos, típico de las plantas C4 (Barrios-Pérez, 2016). De este modo, se torna importante para la zonificación, ya que la representación espacial de esta variable permite establecer la distribución de la insolación con aptitud alta, aptitud media y aptitud baja para el cultivo del maíz.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

Para el establecimiento y desarrollo del cultivo de maíz tradicional, no hubo valor de exclusión para la variable, como se puede considerar en la tabla de abajo:

Brillo solar medio diario anual (horas sol/día)	Aptitud
>4	Alta (A1)
3-4	Media (A2)
<3	Baja (A3)
—	No apta (N1)

Limitantes de la evaluación de la variable

Disponer de una base de datos actualizada de la información de brillo solar de todo el territorio nacional generada por la red de estaciones meteorológicas, ya que la que se tiene normalizada sólo abarca hasta el año 2010. En consecuencia, el análisis espacial anual no refleja 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 en el año 2014 a escala 1:100.000, el cual se basa en una serie histórica del periodo 1981-2010. Así pues, se realizó un ejercicio de delimitación espacial del brillo solar de acuerdo con los rangos establecidos por el equipo profesional de trabajo del componente físico. La actividad fue soportada por el grupo de las TIC de la UPRA.

Unidad de análisis

Distribución del brillo solar medio diario anual en el territorio nacional.

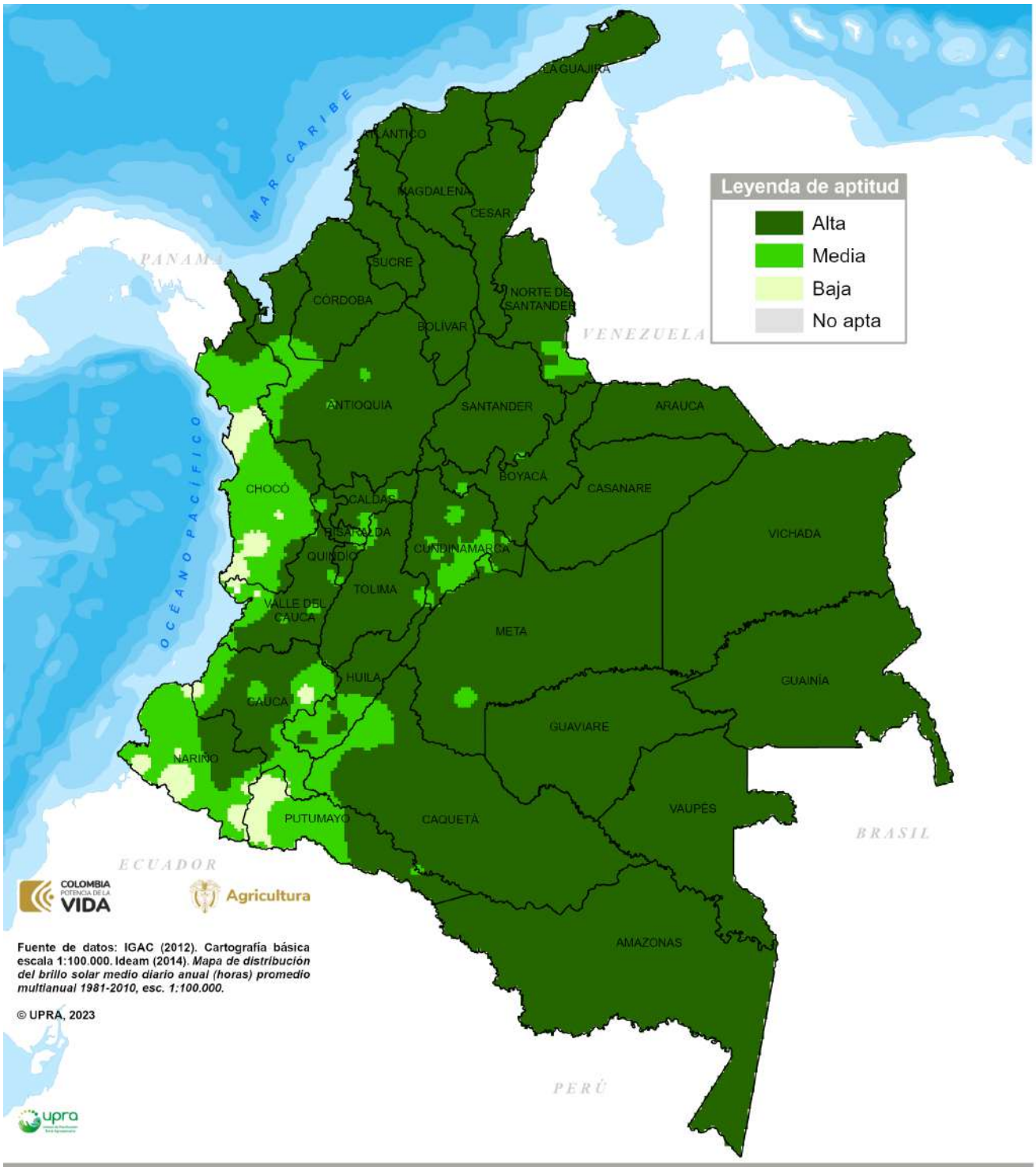
Fuentes de información

Barrios-Pérez C. y Álvarez-Toro, P. (2016). *Caracterización agroambiental de sistemas de producción de maíz y fríjol en Colombia*. Documento de trabajo CCAFS n.º 184. Copenhague, Dinamarca: Programa de investigación de CGIAR en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CCAFS). Recuperado de https://n9.cl/xa89f

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*. Bogotá, Colombia: 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).

Representación cartográfica de la variable



Criterio *condiciones climáticas*
Variable *brillo solar medio diario anual*

1.2. Criterio *condiciones de enraizamiento*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: físico. Subcomponente: edáfico		
Criterio asociado: *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 de texturas.

Pedregosidad, expresada como fase cartográfica de pedregosidad.

Definición

Conjunto de características físicas del suelo que permiten el desarrollo de las raíces, tanto de forma vertical como horizontal.

Importancia del criterio

En la medida en que las raíces puedan explorar mayor volumen de suelo y tener un espacio físico adecuado, mayores son las posibilidades para abastecerse de agua y de nutrientes, de lo cual depende el normal desarrollo tanto de las plantas como de las mazorcas del maíz. Cuando las raíces encuentran un medio propicio para desarrollarse, como buena aireación, distribución de partículas por tamaño en promedios similares, poca pedregosidad que dañe o impida la formación de las raíces y la profundidad radicular adecuada, tanto el desarrollo de los cultivos como la formación de las mazorcas se llevan a cabo satisfactoriamente.

Limitantes de la evaluación del criterio

La mayoría de las unidades cartográficas de suelos a escala 1:100.000 fueron asociaciones, en las que, para cada una de las variables que conformaron el criterio, se calificó el componente taxonómico de mayor representatividad dentro de la unidad. Esto significa que dentro de ésta existen áreas con calificaciones de aptitud diferentes al componente calificado.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado

Se consideraron suelos no aptos (N1), en los cuales no es viable el establecimiento de cultivos de maíz, dado que en el suelo se encontraron contactos *líticos* o *pétricos* a menos de 50 centímetros de profundidad.

Metodología de procesamiento de la información

La información para las tres variables que conformaron este criterio se obtuvieron del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014), que correspondió a los límites de variación de las clases de profundidad (cm), fase de pedregosidad y las clases texturales. La calificación de este criterio se dio por medio de un árbol de decisión, como se puede revisar en la tabla que sigue:

Rangos de las variables

Variable	Unidad de medida	Aptitud			
		Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	N1
Profundidad efectiva	cm	Muy profundo, profundo, moderadamente profundo (>50)	Superficial (25-50)	Muy superficial (<25)	Subgrupos *lithic*, *petroferric*, *petrocalcic*, *petrogypsic* (consociaciones)
Textura	Clases de texturas	F, FL, FA, L, FArA, FArL, FAr	ArA, ArL, A, AF	Ar	—
Pedregosidad	Fase cartográfica	Sin fase de pedregosidad	Con fase de pedregosidad	—	—

Los subgrupos *lithic*, *petroferric*, *petrocalcic* y *petrogypsic* corresponden a los suelos con capas coherentes dentro los primeros 50 centímetros de profundidad, lo suficientemente endurecidas como para impedir la penetración. Los rangos de aptitud de las variables se consolidaron de acuerdo con las consultas a Fenalce y a la literatura científica pertinente.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

Se tomaron las tres variables y se dio una calificación de acuerdo con la limitación que cada una representa en el adecuado enraizamiento del maíz. El argumento para discriminar los diferentes niveles de aptitud se asoció a la limitación que cada una de las variables representa en el desarrollo de los cultivos, ya que reduce las posibilidades de una buena formación de raíces, plantas y mazorcas, como se muestra en la tabla de abajo:

Árbol de decisión del criterio			
Profundidad (cm)	**Pedregosidad (fase)**	**Textura**	**Aptitud**
Muy profundo, profundo, moderadamente profundo	Sin fase de pedregosidad	F, FL, FA, L, FArA, FArL, FAr	A1
		ArA, ArL, A, AF	A2
		Ar	A3
		Ar (oxisoles, ultisoles y subgrupos oxic)	A2
	Con fase de pedregosidad	Cualquiera	A2
Superficial	Sin fase de pedregosidad	F, FL, FA, L, FArA, FArL, FAr	A2
		ArA, ArL, A, AF	A2
		Ar	A3
		Ar (oxisoles, ultisoles y subgrupos oxic)	A2
	Con fase de pedregosidad	Cualquiera	A2
Muy superficial	Cualquiera	Cualquiera	A3
Lithic, *petroferric*, *petrocalcic*, *petrogypsic* (consociaciones)	Cualquiera	Cualquiera	N1

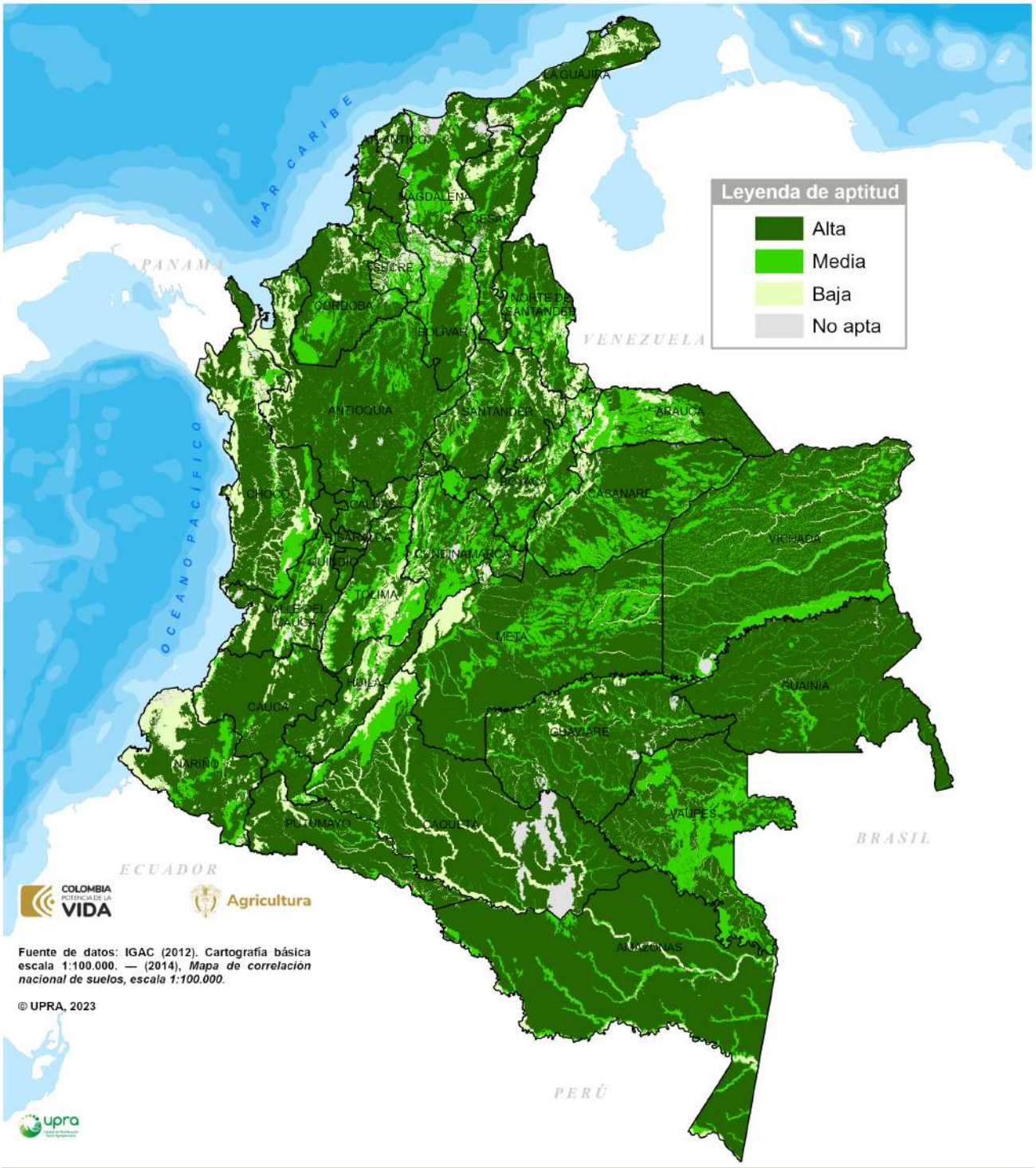
Fuentes de información

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Bogotá, Colombia: 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*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Representación cartográfica del criterio



Criterio *condiciones de enraizamiento*

1.2.1. Variable *profundidad efectiva*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y los circuitos cortos de comercialización.	
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

Determina el espacio en el que las raíces pueden crecer, lo cual afecta de 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.

Para los cultivos de maíz, se considera que el suelo debe tener una profundidad efectiva mayor a 50 centímetros, libre de fragmentos gruesos y de contactos (*líticos*, *petroférricos* y *petrocálcicos*), debido a que las plantas necesitan suficiente espacio para su crecimiento. 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 del cultivo de maíz cuando se encontraron contactos líticos, *petroférricos*, *petrocálcicos* o *petrogypsicos* en las capas superiores 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 profundidad efectiva y aptitud diferentes al componente calificado.

Metodología de procesamiento de la información

En la determinación de los rangos de aptitud para la profundidad efectiva de los suelos, se tuvieron en cuenta las limitaciones absolutas, como la presencia de roca continua y compacta, y los contactos pétricos, dado que otras, como los horizontes argílicos y compactados, pueden ser perforados con el uso de subsoladores y cinceles. De acuerdo con la clasificación definida por el IGAC en el año 2010 para los estudios generales de suelos, los límites de variación de la profundidad efectiva del suelo se establecieron de la siguiente manera:

Clases por profundidad efectiva	
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).

Rangos para la asignación de valores de aptitud

De acuerdo con los requerimientos de profundidad efectiva para el cultivo del maíz (Deras, 2020; Ospina, 2015; Servicio Nacional de Sanidad Agraria del Perú [Senasa], 2020), se determinaron como tierras con aptitud alta (A1) los suelos con profundidad mayor a 50 centímetros; con aptitud media (A2), los que oscilaron entre 25 y 50 centímetros; y con aptitud baja (A3), los que se encontraban a menos de 25 centímetros. Se excluyeron las profundidades menores a 50 centímetros por contactos líticos y *pétricos*, porque el espacio físico no fue suficiente para el desarrollo del sistema subterráneo de las plantas, como se observa en esta tabla:

Profundidad efectiva (cm)	Aptitud
Muy profundo, profundo y moderadamente profundo (>50)	Alta (A1)
Superficial (25-50)	Media (A2)
Muy superficial (<25)	Baja (A3)
Lithic, *petroferric*, *petrocalcic*, *petrogypsic* (consociaciones)	No apto N1

Los rangos de aptitud se establecieron de acuerdo con las consultas al gremio de los productores (Fenalce) y a la literatura científica pertinente.

Unidad de análisis

Unidades cartográficas de suelos: asociaciones, consociaciones y complejos.

Fuentes de información

Deras, H. (2020). *Guía técnica: el cultivo del maíz*. San Salvador, El Salvador: IICA, PAF, CENTA, Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). Recuperado de https://n9.cl/1d2lc

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

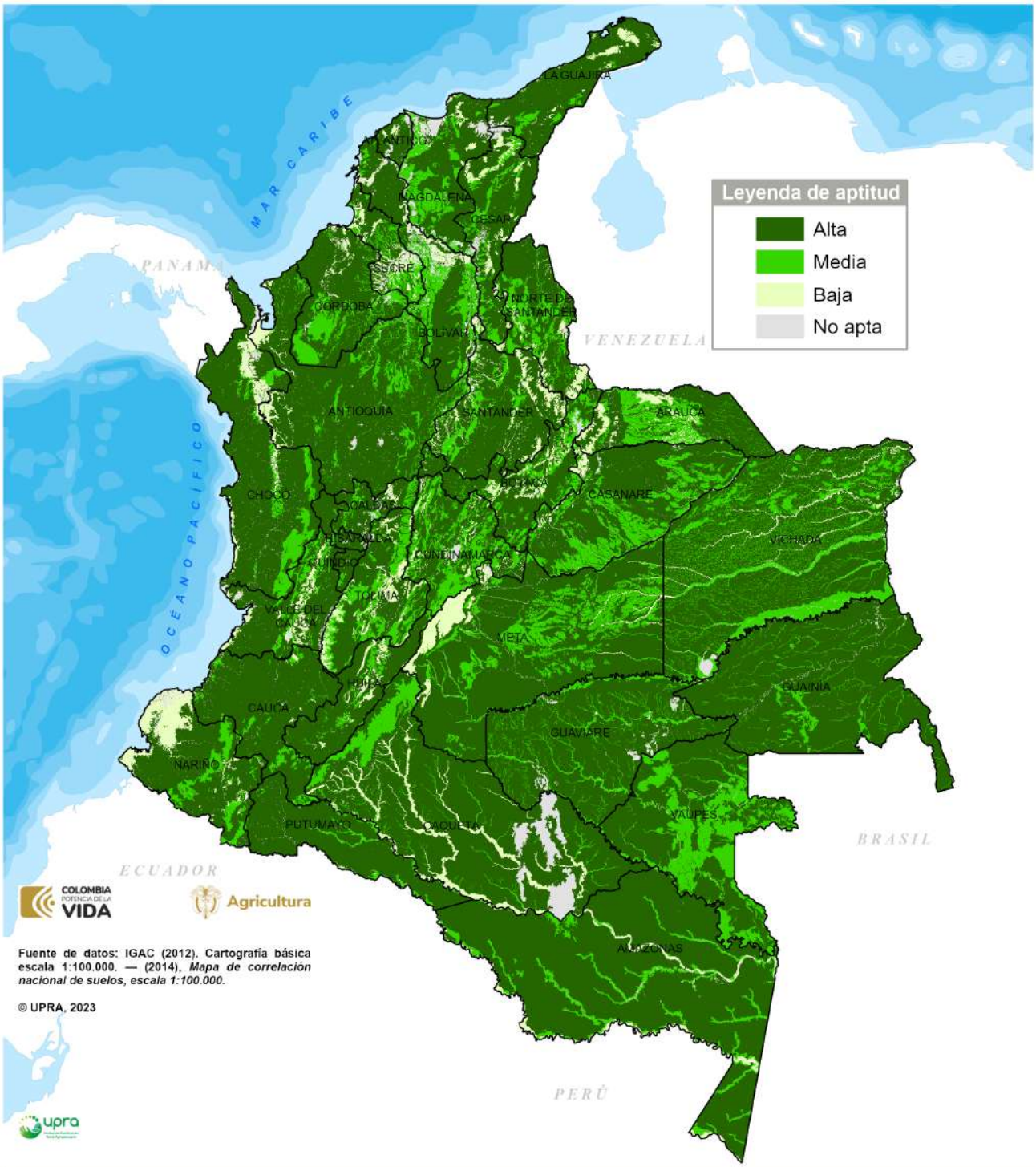
Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Klingebiel, A.A. & P.H. Montgomery (1961). *Land-capability classification: agriculture handbook n.° 210*. Washington, D.C., United States of America: United States Department of Agriculture (USDA), Soil Conservation Service.

Ospina J.G. (2015). *Manual técnico del cultivo de maíz bajo buenas prácticas agrícolas*. Medellín, Colombia: Gobernación de Antioquia. Recuperado de https://n9.cl/ev5ny

Servicio Nacional de Sanidad Agraria del Perú (2020). *Guía para la implementación de buenas prácticas agrícolas (BPA) para el cultivo de maíz choclo*. Lima, Perú: Ministerio de Agricultura y Riego, Dirección de Insumos Agropecuarios e Inocuidad Agroalimentaria, Subdirección de Inocuidad Agroalimentaria. Recuperado de https://n9.cl/xzprl

Representación cartográfica de la variable



Criterio *condiciones de enraizamiento*
Variable *profundidad efectiva*

1.2.2 Variable *textura*

<table>
<tr><th colspan="3">Ficha metodológica de la variable</th></tr>
<tr><td>Tipo de utilización de la tierra (TUT)</td><td colspan="2">Cultivo del maíz (Zea mays L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.</td></tr>
<tr><td colspan="3">Componente: físico. Subcomponente: edáfico</td></tr>
<tr><td colspan="3">Criterio asociado: condiciones de enraizamiento</td></tr>
<tr><td>Variable:
textura</td><td colspan="2">Unidad de medida:
cualitativa (clase de textura)</td></tr>
<tr><td 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

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

Se relaciona con la consistencia, la permeabilidad y la porosidad del suelo, lo cual afecta la penetración de las raíces y el espacio entre las partículas que el permite circular al oxígeno que favorece la aireación. En los suelos de texturas finas, las raíces tienen mayor gasto de energía para penetrarlos y las plantas de maíz no se desarrollan satisfactoriamente; mientras que en los suelos de texturas gruesas se puede dejar a exposición libre las raíces por desplazamiento de las partículas por acción del agua o el viento. La clase textural propicia los tipos de interacciones que se pueden dar entre el suelo y las plantas, dado que las propiedades físicas de los suelos son determinadas en gran parte por este componente.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

No se excluyó ninguna clase textural para el desarrollo de los cultivos de maíz, aunque los tipos de textura con altos contenidos de arcilla representaron un 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, en los cuales se calificó la clase textural en los horizontes superficiales del perfil más representativo. Por lo tanto, fue 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 tuvieron en cuenta las clases texturales de acuerdo con 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)

Rangos para la asignación de valores de aptitud

Teniendo en cuenta las mejores texturas para el cultivo del maíz (Deras, 2020; Ospina, 2015; Senasa, 2020; Violic, 2001), las clases texturales que permiten que las raíces se desarrollen satisfactoriamente sin implicar deterioro o daños presentaron contenidos medios de arcilla y se determinaron con aptitud alta (A1). Las clases texturales con aptitud moderada (A2) correspondieron a las que presentaron bajos contenidos de arcillas que pueden compactar el suelo y generar pegajosidad. Los suelos con dominancia de arcillas 1:1 (oxisoles, ultisoles y subgrupos oxic) se incluyeron en la aptitud media (A2), dada su baja pegajosidad y buena porosidad. La clase textural con aptitud baja (A3) correspondió a la fina, es decir a la arcilla, porque la baja porosidad total dificulta el crecimiento de las raíces, lo cual está asociado con otras propiedades físicas, como el movimiento del agua y del aire en el suelo, especialmente cuando éste tiene una proporción mayor al 60 %, lo cual corresponde a suelos vertisoles e integrados *vérticos* (ver siguiente tabla).

Rangos de aptitud	
Textura	**Aptitud**
F, FL, FA, L, FArA, FArL, FAr	Alta (A1)
ArA, ArL, A, AF, orgánicos (oxisoles, ultisoles, subgrupos oxic, arcillosos)	Media (A2)
Ar	Baja (A3)

Unidad de análisis

Unidades cartográficas de suelos: asociaciones, consociaciones y complejos.

Fuentes de información

Deras, H. (2020). *Guía técnica: el cultivo del maíz*. San Salvador, El Salvador: IICA, PAF, CENTA, Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). Recuperado de https://n9.cl/1d2lc

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Bogotá, Colombia: 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*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

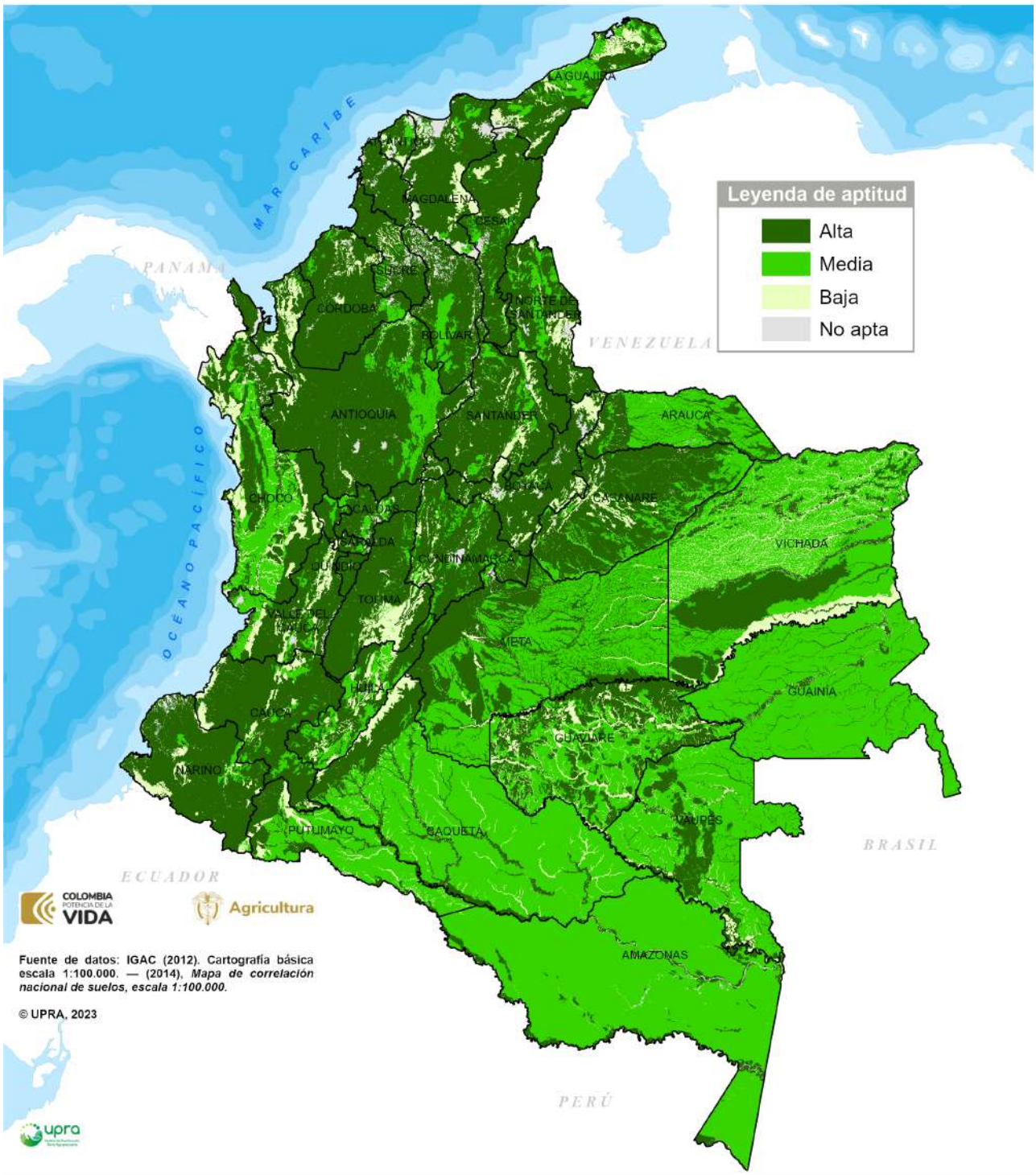
Malagón, D. y Montenegro, H. (1990). *Propiedades físicas de los suelos*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Ospina, J.G. (2015). *Manual técnico del cultivo de maíz bajo buenas prácticas agrícolas*. Medellín, Colombia: Gobernación de Antioquia. Recuperado de https://n9.cl/ev5ny

Servicio Nacional de Sanidad Agraria del Perú (2020). *Guía para la implementación de buenas prácticas agrícolas (BPA) para el cultivo de maíz choclo*. Lima, Perú: Ministerio de Agricultura y Riego, Dirección de Insumos Agropecuarios e Inocuidad Agroalimentaria, Subdirección de Inocuidad Agroalimentaria. Recuperado de https://n9.cl/xzprl

Violic, A.D. (2001). Manejo integrado de cultivos. En Paliwal, R. L., Granados, G., Lafitte, H.R. y Violic, A.D. *El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción* (pp. 205-302). Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Recuperado de https://n9.cl/qr10u

Representación cartográfica de la variable



Criterio *condiciones de enraizamiento*
Variable *textura*

1.2.4. Variable *pedregosidad*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: físico. Subcomponente: edáfico		
Criterio asociado: *condiciones de enraizamiento*		
Variable: *pedregosidad*	Unidad de medida: cualitativa (fase cartográfica)	
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* (van Wambeke y Forbes, 1987).

Importancia de la variable

Además de limitar las prácticas de laboreo y de disminuir el área útil por unidad de superficie, los altos contenidos de fragmentos de roca en el suelo tienen efectos negativos en los cultivos de maíz, porque disminuyen el área para el almacenamiento de agua, aceleran la infiltración y disminuyen el volumen de suelo que las raíces pueden explorar para proveer de nutrientes a las plantas.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

No se determinaron áreas como aptas (N1) para los cultivos de maíz. Donde había fragmentos de roca mayor al 35 % (fase pedregosa), se calificó con aptitud media.

Limitantes de la evaluación de la variable

La información de pedregosidad en el mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014) se presentó como fase pedregosa (>35 % en volumen), pero no estaba discriminada en rangos por porcentaje. Por esta razón, se asumió tácitamente como no pedregoso si 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).

Rangos para la asignación de valores de aptitud

Se determinaron como tierras con aptitud alta (A1) los suelos sin fase de pedregosidad (<35 % por volumen); y, con aptitud media (A2), los suelos con presencia mayor al 35 % (fase pedregosa), porque obstaculizan el desarrollo de raíces, y, por tanto, el de las plantas.

Rangos de aptitud	
Pedregosidad (fase de pedregosidad)	**Aptitud**
Sin fase de pedregosidad	Alta (A1)
Con fase de pedregosidad	Media (A2)

Los rangos de aptitud se presentaron de acuerdo con las consultas a Fenalce.

Unidad de análisis

Unidades cartográficas de suelos: asociaciones, consociaciones y complejos.

Fuentes de información

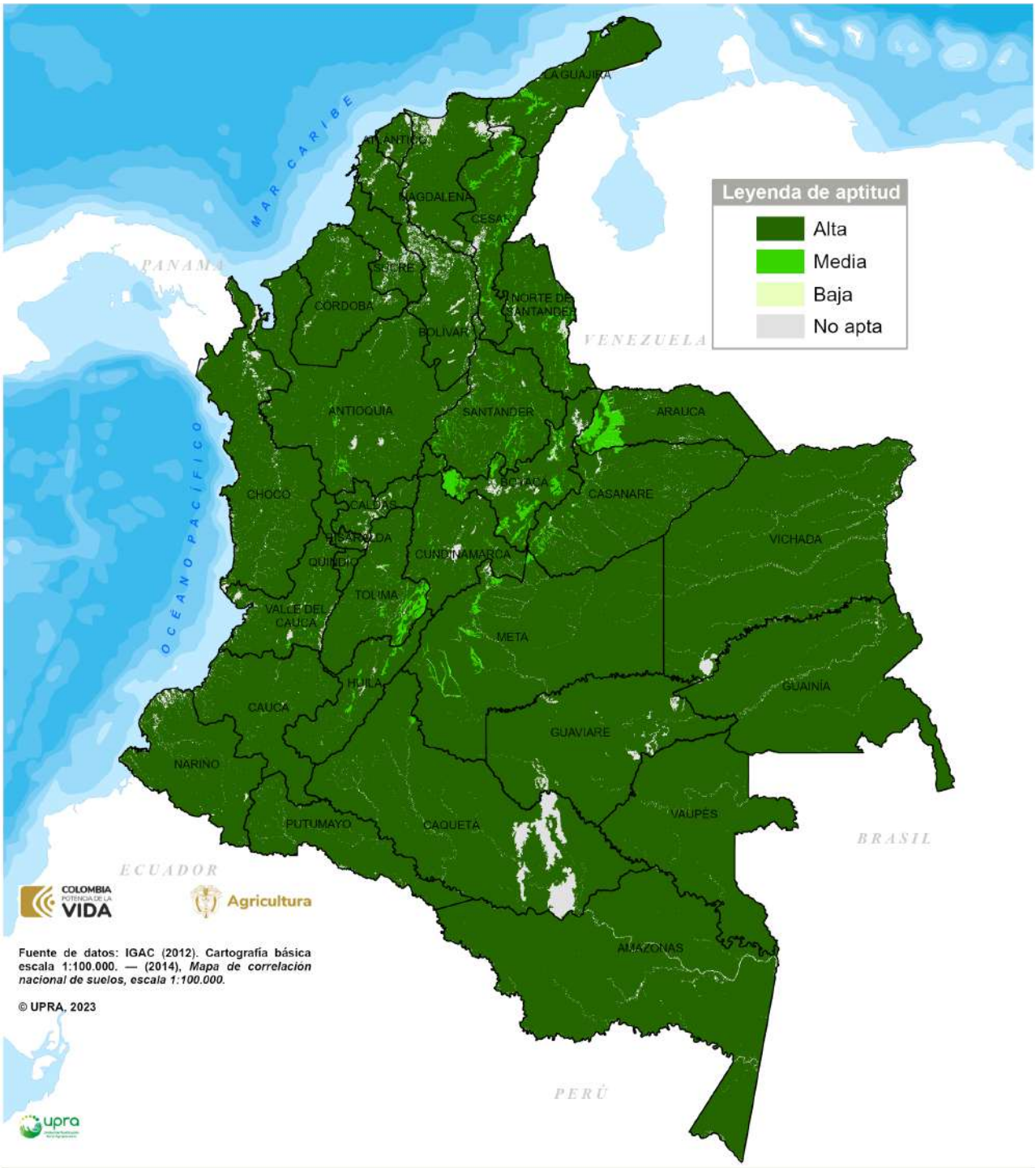
Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

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*. Bogotá, Colombia: 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*. Nueva York, Estados Unidos: Cornell University, Department of Agronomy.

Representación cartográfica de la variable



Criterio *condiciones de enraizamiento*
Variable *pedregosidad*

1.3. Criterio *disponibilidad de nutrientes*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: físico. Subcomponente: edáfico		
Criterio asociado: *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 centimoles por kilogramo de suelo.

Saturación de bases, expresada en porcentaje (%).

Carbono orgánico, expresado en porcentaje (%).

Definición

Cualidad de un suelo que le permite proporcionar compuestos en cantidades adecuadas y en un balance apropiado para el crecimiento de las 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

Considera las relaciones químicas en la zona radicular del suelo de cara a las posibilidades de absorción de nutrientes disponibles para el crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas. 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). Este criterio contiene las variables que inciden en el aporte y almacenamiento de los nutrientes y se relaciona con los contenidos, en el suelo, de los elementos mayores, secundarios y menores, esenciales para el desarrollo de las plantas de maíz. En la medida en que los suelos tengan mayores contenidos de nutrientes, es decir, que la saturación de bases y la capacidad de intercambio catiónico sean altas y estén acompañadas del pH adecuado, las plantas tienen la posibilidad de obtener los nutrientes del suelo de forma fácil y oportuna, lo cual se verá reflejado en el buen desarrollo de los cultivos.

Limitantes de la evaluación del criterio

La mayoría de las unidades cartográficas de suelos a escala 1:100.000 fueron asociaciones, en las que, para cada una de las variables que conforman el criterio, se calificó el componente taxonómico de mayor representatividad dentro de la unidad. Esto significa que dentro de la unidad existían áreas pequeñas con aptitud diferente al componente calificado. En los análisis de los estudios generales de suelos se encuentran solamente los contenidos de los elementos mayores y las variables que son responsables de su 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.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado

Como exclusión 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 —o sea, que no han sido drenados ni mecanizados—. Esto también implica la pérdida de biodiversidad y de los servicios ecosistémicos de regulación hídrica, reservorios de carbono y fijación de nitrógeno (Dirección Nacional de Planeación [DNP] *et al*., 2016).

Metodología de procesamiento de la información

Las clases de aptitud de cada una de las variables involucradas en el criterio se extrajeron del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014), como se evidencia en la siguiente tabla:

Rangos de las variables					
Variable	Unidad de medida	Aptitud			
		Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	N1
Acidez	pH	5,0-7,3	4,5-4,9 y 7,4-8,4	<4,5 y >8,4	—
Saturación de bases	%	>35	10-35	<10	—
Carbono orgánico	%	1,7-10; (andisoles ≤15)	0,5-1,7 y >10; (andisoles >15)	<0,5	Histosoles
Capacidad de intercambio catiónico	Cmol/kg de suelo	>20	10-20	<10	—

Los rangos de aptitud de cada una de las variables se determinaron de acuerdo con las consultas al gremio de los cultivadores (Fenalce) y a la literatura científica pertinente.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

Para discriminar los niveles de aptitud, se construyó una tabla de ponderación con una asignación porcentual a cada variable que conformó el criterio según la limitación que cada una representa en el desarrollo del cultivo de maíz, a saber (ver siguiente tabla): *acidez* (20 %); *capacidad de intercambio catiónico* (20 %); *saturación de bases* (30 %); y *carbono orgánico* (30 %). En tal sentido, se determinó que los suelos tipo *andisoles* tuvieron una calificación diferente, ya que, en condiciones naturales, presentan altos contenidos de carbono orgánico.

Árbol de decisión de criterio				
pH	CIC	SB	CO	Aptitud
5,0-7,3	>20	>35	1,7-10 (andisoles ≤ 15)	A1
			0,5-1,7 y >10 (andisoles > 15)	A1
			<0,5	A2
		De ≥10 a ≤35	1,7-10 (andisoles ≤ 15)	A1
			0,5-1,7 y >10 (andisoles > 15)	A2
			<0,5	A2
		<10	1,7-10 (andisoles ≤ 15)	A1
			0,5-1,7 y >10 (andisoles > 15)	A2
			<0,5	A3
	De ≥10 a ≤20	>35	1,7-10 (andisoles ≤ 15)	A1
			0,5-1,7 y >10 (andisoles > 15)	A2
			<0,5	A2
		De ≥10 a ≤35	1,7-10 (andisoles ≤ 15)	A2
			0,5-1,7 y >10 (andisoles > 15)	A2
			<0,5	A3
		<10	1,7-10 (andisoles ≤ 15)	A2
			0,5-1,7 y >10 (andisoles > 15)	A3
			<0,5	A3
	<10	>35	1,7-10 (andisoles ≤ 15)	A2
			0,5-1,7 y >10 (andisoles > 15)	A2
			<0,5	A3
		De ≥10 a ≤35	1,7-10 (andisoles ≤ 15)	A2
			0,5-1,7 y >10 (andisoles > 15)	A3
			<0,5	A3
		<10	1,7-10 (andisoles ≤ 15)	A3
			0,5-1,7 y >10 (andisoles > 15)	A3
			<0,5	A3
4,5-4,9 y 7,4-8,4	>20	>35	1,7-10 (andisoles ≤ 15)	A1
			0,5-1,7 y >10 (andisoles > 15)	A2
			<0,5	A2
		De ≥10 a ≤35	1,7-10 (andisoles ≤ 15)	A1
			0,5-1,7 y >10 (andisoles > 15)	A2
			<0,5	A3
		<10	1,7-10 (andisoles ≤ 15)	A2
			0,5-1,7 y >10 (andisoles > 15)	A2
			<0,5	A3
	De ≥10 a ≤20	>35	1,7-10 (andisoles ≤ 15)	A2
			0,5-1,7 y >10 (andisoles > 15)	A2
			<0,5	A3

		De ≥10 a ≤35	1,7-10 (andisoles ≤ 15)	A2
			0,5-1,7 y >10 (andisoles > 15)	A3
			<0,5	A3
		<10	1,7-10 (andisoles ≤ 15)	A2
			0,5-1,7 y >10 (andisoles > 15)	A3
			<0,5	A3
	<10	>35	1,7-10 (andisoles ≤ 15)	A2
			0,5-1,7 y >10 (andisoles > 15)	A3
			<0,5	A3
		De ≥10 a ≤35	1,7-10 (andisoles ≤ 15)	A3
			0,5-1,7 y >10 (andisoles > 15)	A3
			<0,5	A3
		<10	1,7-10 (andisoles ≤ 15)	A3
			0,5-1,7 y >10 (andisoles > 15)	A3
			<0,5	A3
<4,5 y >8,4	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	A3
Histosoles				N1

Fuentes de información

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

Dirección Nacional de Planeación (2016). *Plan nacional de adaptación al cambio climático: líneas de acción prioritarias para la adaptación al cambio climático en Colombia*. Bogotá, 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). Recuperado de https://n9.cl/frsn0

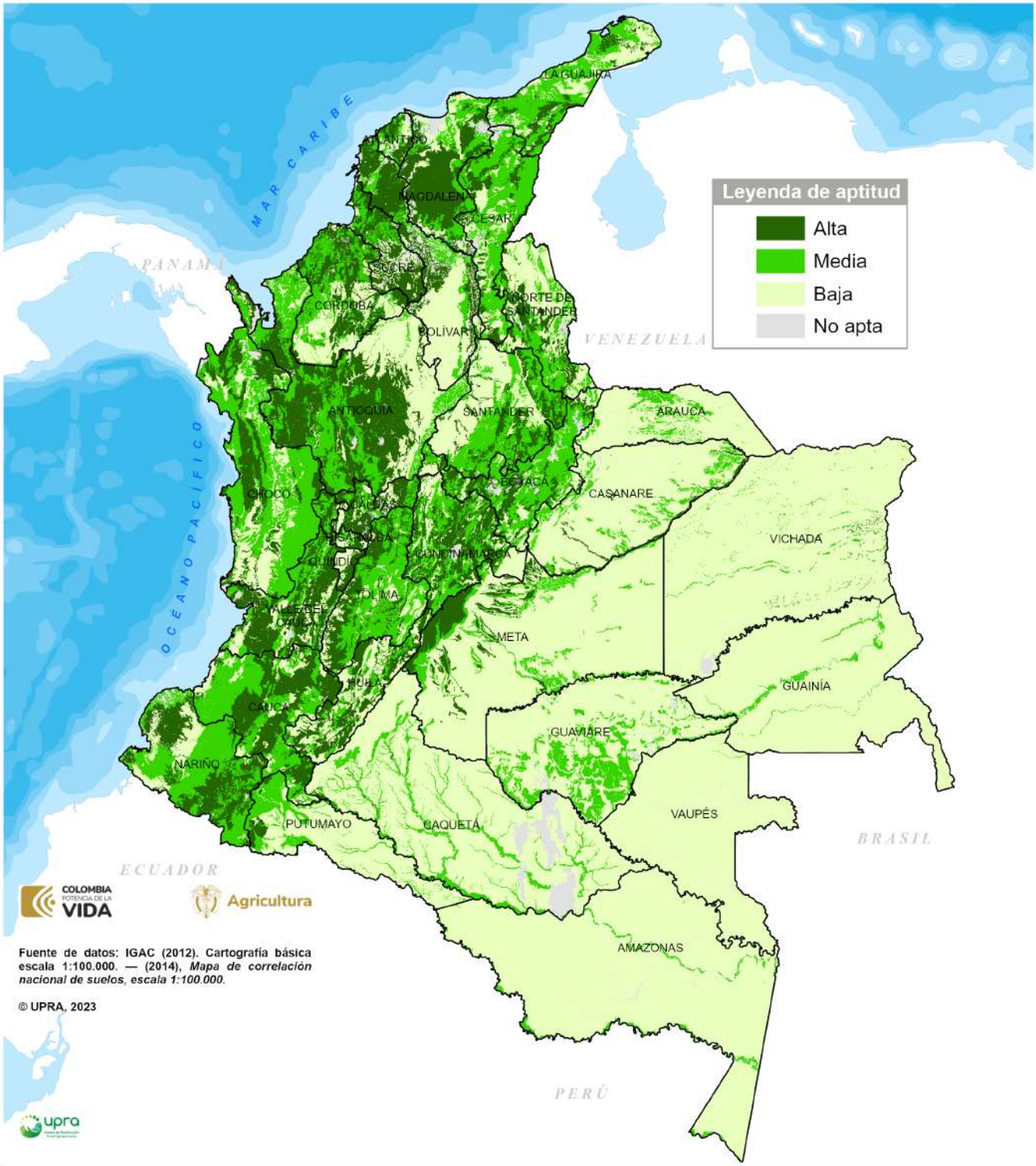
Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

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*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Klingebiel, A.A. & P.H. Montgomery (1961). *Land-capability classification: agriculture handbook n.° 210*. Washington, D.C., United States of America: United States Department of Agriculture (USDA), Soil Conservation Service.

Representación cartográfica del criterio



Criterio *disponibilidad de nutrientes*

1.3.1. Variable *acidez (pH)*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
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

Logaritmo negativo de la actividad de iones de hidrógeno en la solución o suspensión del suelo (Garavito, 1979). El término *pH* fue introducido por el químico danés Peter Sørensen en 1909 para expresar las actividades de los iones de hidrógeno (H^+) como una función logarítmica. De este modo, el pH se define de la siguiente manera:

$$\mathrm{pH} = \log\frac{1}{\log(H^+)} = -\log \propto H^+ = -\log(H^+)$$

Por su parte, la acidez en el suelo se considera *ácido* cuando éste presenta una concentración de iones de hidrógeno mayor a 10^{-7} o, lo que es lo mismo: 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, lo cual ha sido demostrado por múltiples investigaciones (Garavito, 1979).

Importancia de la variable

El pH es una de las propiedades químicas más importantes de los suelos: de éste depende, en gran parte, la disponibilidad de nutrientes para las plantas, ya sea porque determina su solubilidad, ya sea porque controla la clase de actividad microbiológica y, por lo tanto, la mineralización de la materia orgánica. También tiene efecto directo sobre la concentración de iones y sustancias tóxicas, la CIC de suelos y raíces, las enfermedades de las plantas y otras propiedades importantes (Garavito, 1979). El pH del suelo tiene una importancia determinante para la disponibilidad de los iones nutritivos, lo cual incide directamente en el crecimiento vegetal porque afecta principalmente:

La disponibilidad de los nutrientes: los valores extremos de pH pueden provocar la precipitación de ciertos nutrientes y su permanencia en formas no disponibles para las plantas.

El proceso fisiológico de absorción de nutrientes por parte de las raíces: todas las especies vegetales presentan rangos característicos de pH en los que la toma de nutrientes es ideal. Fuera de ellos, la absorción se dificulta y, si los valores de pH son extremos, puede verse deteriorado el sistema radical o presentarse toxicidades debidas a la excesiva absorción de elementos fitotóxicos —especialmente, aluminio—.

La actividad microbiana: es indispensable en la transformación de elementos que se presentan de formas no asimilables hacia otras que sí lo son.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

No se consideraron rangos no aptos (N1) para el cultivo del maíz, puesto que 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 a escala 1:100.000 son asociaciones y se califica el componente taxonómico de mayor representatividad dentro de la unidad, esto implicó que dentro de la unidad existieran áreas de diferentes tamaños que tenían pH y clase de aptitud diferentes al componente calificado.

Metodología de procesamiento de la información

Se tomaron los rangos de pH del manual codificado de reconocimiento de suelos (IGAC, 2010), a partir de lo cual se clasificaron 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 superiores de los perfiles modales.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

Teniendo en cuenta que el maíz tradicional se cultiva en diferentes tipos de suelos y basados en los rangos considerados (Deras, 2020; Ospina, 2015; Senasa, 2020; Violic, 2001), se establecieron los rangos de calificación de esta variable a partir de los datos de laboratorio que aparecen en los perfiles modales considerados en la base de datos, como se muestra en la siguiente tabla:

Acidez (pH)	Aptitud
5,0-7,3	Alta (A1)
4,5-4,9; 7,4-8,4	Media (A2)
<4,5 y >8,4	Baja (A3)

Los rangos de aptitud se establecieron de acuerdo con las consultas al gremio de los productores (Fenalce) y a la literatura científica pertinente.

Unidad de análisis

Unidades cartográficas de suelos: asociaciones, consociaciones y complejos.

Fuentes de información

Deras, H. (2020). *Guía técnica: el cultivo del maíz*. San Salvador, El Salvador: IICA, PAF, CENTA, Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). Recuperado de https://n9.cl/1d2lc

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

Ospina, J.G. (2015). *Manual técnico del cultivo de maíz bajo buenas prácticas agrícolas*. Medellín, Colombia: Gobernación de Antioquia. Recuperado de https://n9.cl/ev5ny

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

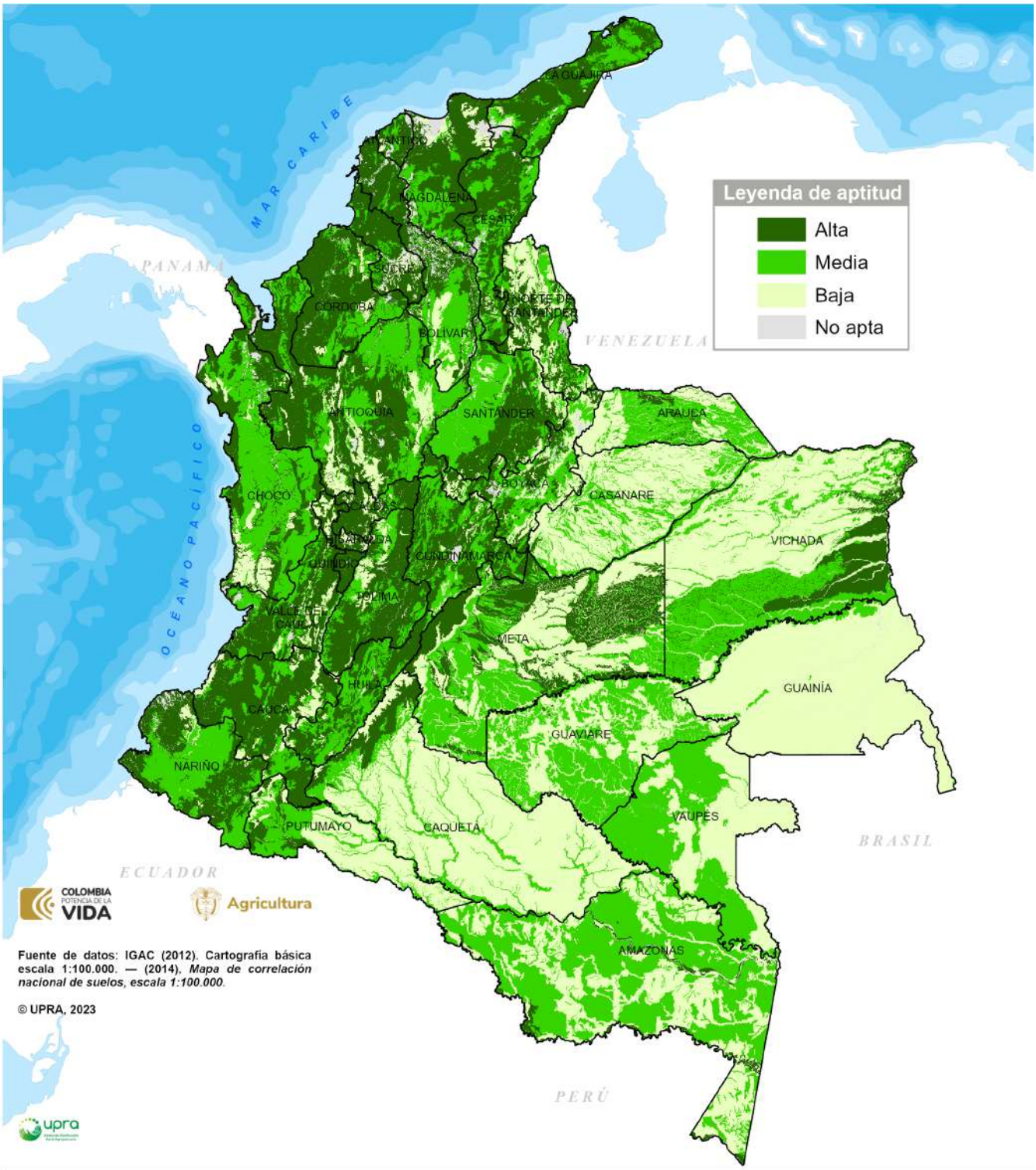
Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Servicio Nacional de Sanidad Agraria del Perú (2020). *Guía para la implementación de buenas prácticas agrícolas (BPA) para el cultivo de maíz choclo*. Lima, Perú: Ministerio de Agricultura y Riego, Dirección de Insumos Agropecuarios e Inocuidad Agroalimentaria, Subdirección de Inocuidad Agroalimentaria. Recuperado de https://n9.cl/xzprl

Violic, A.D. (2001). Manejo integrado de cultivos. En Paliwal, R. L., Granados, G., Lafitte, H.R. y Violic, A.D. *El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción* (pp. 205-302). Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Recuperado de https://n9.cl/qr10u

Representación cartográfica de la variable



Criterio *disponibilidad de nutrientes*
Variable *acidez (pH)*

1.3.2. Variable *saturación de bases*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
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 total determinada a un pH de 7 u 8. A menudo, se expresa como un porcentaje (Soil Science Society of America [SSSA], 2018).

Importancia de la variable

Estima la cantidad de los nutrientes (bases) del suelo, lo cual determina la productividad natural del suelo. 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 indica disponibilidad de nutrientes para las plantas, especialmente, cuando la capacidad de intercambio catiónico es elevada. Cuando, en condiciones naturales, los contenidos de bases son bajos, debe adicionarse fertilizantes, lo cual implica aumento de los costos de producción. La saturación de bases cambiables, calculada mediante la proporción que ocupan en la CIC, disminuye a medida que aumenta el grado de lavado y el intemperismo de los suelos (IGAC, 1995).

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 su contenido como parte del manejo del cultivo de maíz.

Limitantes de la evaluación de la variable

La mayoría de las unidades cartográficas de suelos a escala 1:100.000 son asociaciones, en las cuales se suele calificar 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 y aptitud diferente al componente calificado.

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). Cabe aclarar que los valores de saturación de bases se tomaron de los horizontes superficiales de cada perfil modal. Se tomó como base la tabla de consideraciones generales para interpretar análisis de suelos (IGAC, 2010), como se puede consultar en la siguiente tabla:

Saturación de bases	Apreciación
>50	Alto
35-50	Medio
<35	Bajo

Rangos para la asignación de valores de aptitud

Los rangos de aptitud se determinaron de acuerdo con las consultas al gremio de los productores (Fenalce) y a la literatura científica pertinente. Los rangos estimados de la variable para el cultivo de maíz tradicional fueron los siguientes:

Rangos de aptitud	
Saturación de bases	Aptitud
>35	A1
10-35	A2
<10	A3

Unidad de análisis

Unidades cartográficas de suelos: asociaciones, consociaciones y complejos.

Fuentes de información

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (1995). *Suelos de Colombia: origen, evolución, clasificación, distribución y uso*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

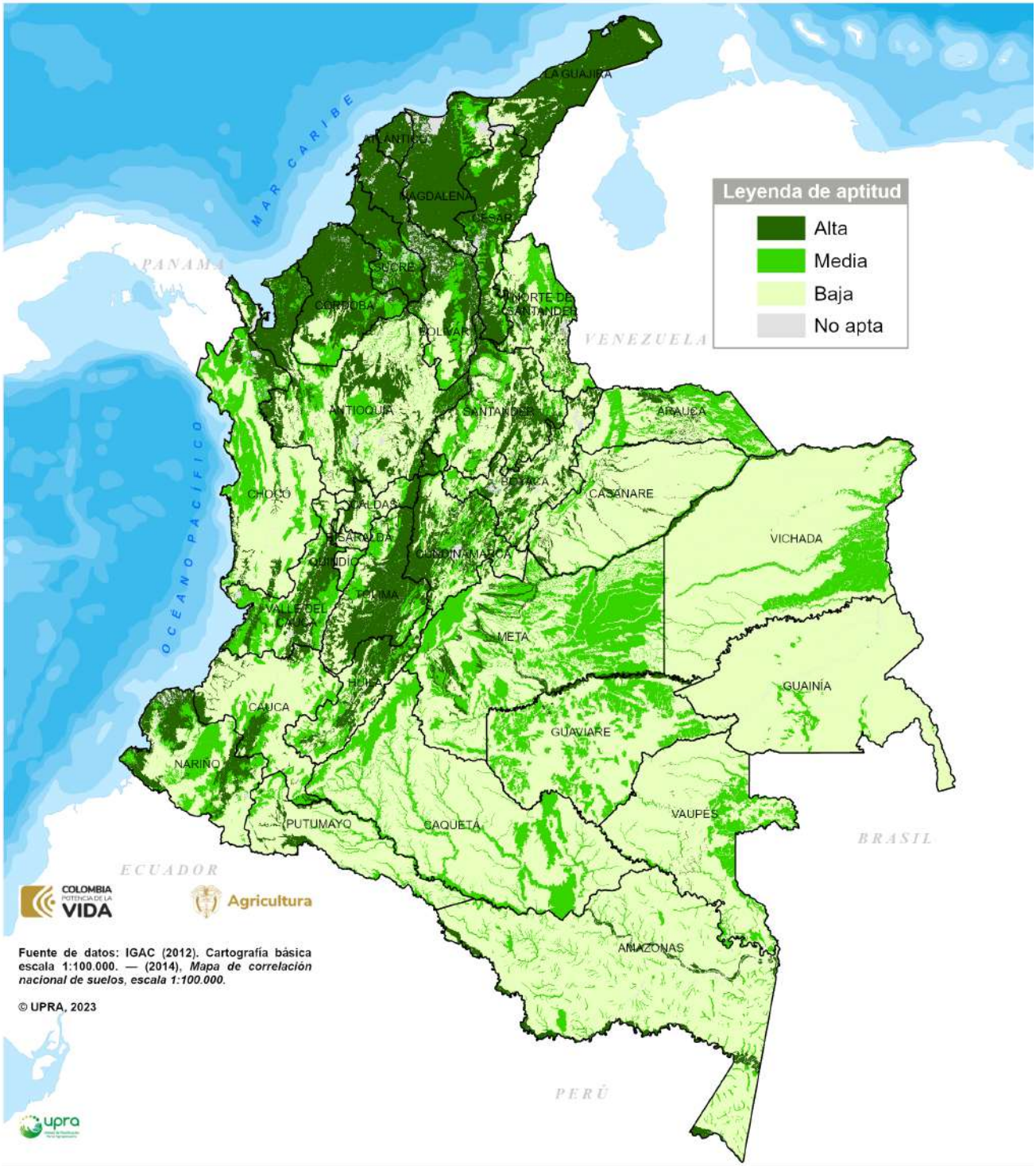
Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

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*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

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

Representación cartográfica de la variable



Criterio *disponibilidad de nutrientes*
Variable *saturación de bases*

1.3.3. Variable *carbono orgánico*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
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

El carbono orgánico del suelo se encuentra en forma de residuos orgánicos alterados de plantas, animales y microorganismos tanto vivos como muertos, en el humus y de forma muy condensada, casi como carbono elemental, a saber: carbón vegetal, grafito y carbón (Jackson, 1958).

Importancia de la variable

El carbono orgánico del suelo es el principal elemento que forma parte de la materia orgánica, por lo que es común que se hable indistintamente de uno u otro. Se relaciona con la cantidad y disponibilidad de nitrógeno en el suelo, cuyo aporte mineral es escaso. La materia orgánica también modifica el grado de acidez hacia valores cercanos a los 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 a las propiedades biológicas, el carbono es esencial, pues proporciona fuentes energéticas a los organismos del suelo, generalmente heterótrofos, en forma de carbono lábil, es decir, 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

Como exclusión, se encontraron los suelos denominados *histosoles*, los cuales se califican 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, o sea: que no han sido drenados ni mecanizados. Esto también conlleva la pérdida de biodiversidad y de los servicios ecosistémicos de regulación hídrica, de reservorios de carbono y de fijación de nitrógeno (DNP *et al*., 2016).

Limitantes de la evaluación de la variable

La mayoría de las unidades cartográficas de suelos escala a 1:100.000 son asociaciones y se califica 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 y aptitud diferente al componente calificado.

Metodología de procesamiento de la información

La variable se construyó a partir no sólo 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, sino también de los órdenes taxonómicos de suelos que presentaron íntima relación con el carbono orgánico, a saber: los histosoles y los andisoles (IGAC, 2014). Los valores de los contenidos de carbono orgánico del suelo se tomaron de los horizontes superficiales del perfil modal. De tal modo, se contempló 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. Dado que el maíz tradicional se siembra en todos los climas, se tomó como referencia el clima templado, ya que los contenidos son los intermedios entre el frio y el cálido, como se observa en la tabla siguiente:

Carbono orgánico (%) Clima medio					
Rango	≤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

Rangos para la asignación de valores de aptitud

Los rangos para asignar los valores de aptitud para la variable se construyeron teniendo en cuenta los requerimientos de los cultivos ácidos (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura [IICA], Banco Interamericano de Desarrollo [BID] y Programa Cooperativo de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria para la Subregión Andina [Prociandino], 1991; Violic, 2001; Osipna, 2015; Senasa, 2020) de la siguiente forma:

Rangos de aptitud	
Saturación de bases	Aptitud
1,7-10 (andisoles ≤ 15)	Alta (A1)
0,5-1,7 y >10 (andisoles > 15)	Media (A2)
<0,5	Baja (A3)
Histosoles	No apto (N1)

Los andisoles y los histosoles obtuvieron calificaciones diferentes, porque, en condiciones naturales, suelen tener altos contenidos de materia orgánica. Los rangos de aptitud se establecieron de acuerdo con las consultas a Fenalce y a la literatura científica pertinente.

Unidad de análisis

Unidades cartográficas de suelos: asociaciones, consociaciones y complejos.

Fuentes de información

Dirección Nacional de Planeación (2016). *Plan nacional de adaptación al cambio climático: líneas de acción prioritarias para la adaptación al cambio climático en Colombia*. Bogotá, 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). Recuperado de https://n9.cl/frsn0

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (1995). *Suelos de Colombia: origen, evolución, clasificación, distribución y uso*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Bogotá, Colombia: 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*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Banco Interamericano de Desarrollo y Programa Cooperativo de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria para la Subregión Andina (1991). *Experiencias en el cultivo de maíz en el área andina*. Quito, Ecuador: Programa Cooperativo de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria para la Subregión Andina (Prociandino). Recuperado de http://hdl.handle.net/20.500.12324/34452

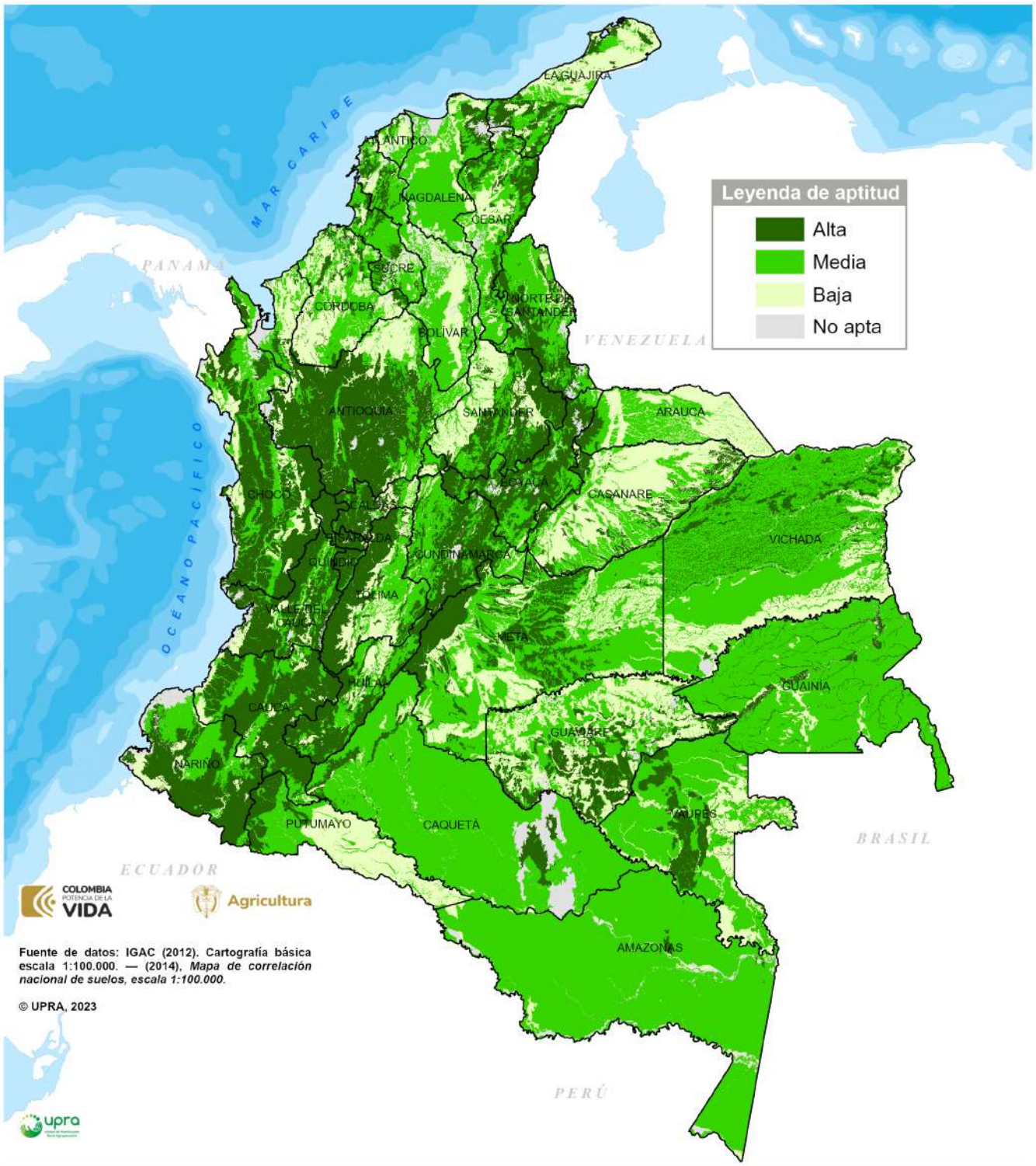
Ospina, J.G. (2015). *Manual técnico del cultivo de maíz bajo buenas prácticas agrícolas*. Medellín, Colombia: Gobernación de Antioquia. Recuperado de https://n9.cl/ev5ny

Servicio Nacional de Sanidad Agraria del Perú (2020). *Guía para la implementación de buenas prácticas agrícolas (BPA) para el cultivo de maíz choclo*. Lima, Perú: Ministerio de Agricultura y Riego, Dirección de Insumos Agropecuarios e Inocuidad Agroalimentaria, Subdirección de Inocuidad Agroalimentaria. Recuperado de https://n9.cl/xzprl

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

Violic, A.D. (2001). Manejo integrado de cultivos. En Paliwal, R. L., Granados, G., Lafitte, H.R. y Violic, A.D. *El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción* (pp. 205-302). Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Recuperado de https://n9.cl/qr10u

Representación cartográfica de la variable



Criterio *disponibilidad de nutrientes*
Variable *carbono orgánico*

1.3.4. Variable *capacidad de intercambio catiónico*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: físico. Subcomponente: edáfico		
Criterio asociado: *disponibilidad de nutrientes*		
Variable: *capacidad de intercambio catiónico*	Unidad de medida: cm/kg de suelo	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

De acuerdo con Chapman (como se citó en IGAC, 1995), los cationes retenidos en la superficie de minerales del suelo, dentro del enrejado cristalino de algunos minerales y los que hacen parte de ciertos compuestos orgánicos pueden ser reversiblemente reemplazados por los de soluciones salinas y ácidas. La suma de estos cationes se define como la capacidad de intercambio catiónico y 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

La capacidad de intercambio de cationes y aniones es una de las características más importantes del suelo, ya que, independientemente de otras interpretaciones, 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. Es un indicador de la fertilidad de los suelos, dado que controla la disponibilidad de nutrientes para las plantas del maíz. Interviene en los procesos de floculación y dispersión de la arcilla y, por consiguiente, en la estructura y estabilidad de los agregados.

El suelo no sólo retiene los elementos denominados *mayores* (nitrógeno, fósforo y potasio) y los *secundarios* (calcio, magnesio y azufre), sino también los elementos *menores* o *micronutrientes* (hierro, boro, manganeso, zinc, cloro, molibdeno, cobre y níquel), necesarios para la nutrición del maíz. Además, es un indicativo de la capacidad reguladora de los suelos, es decir, la capacidad de evitar cambios bruscos en el pH del suelo o la 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 CIC (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 en 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 son asociaciones y se califica 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). Es importante aclarar que los valores de CIC se tomaron de los horizontes superficiales de los perfiles modales. Para asignar las calificaciones, adoptaron las consideraciones generales para interpretar el análisis de suelos (IGAC, 2010), como se indica en la tabla de abajo:

CIC (cmol/kg de suelo)	Apreciación
≥20	Alta
10-20	Media
<10	Baja

Rangos para la asignación de valores de aptitud

Los límites de variación se conformaron tomando los valores considerados en la tabla original, de la siguiente forma:

Rangos de aptitud	
Saturación de bases	Aptitud
≥20	Alta (A1)
10-20	Media (A2)
≤10	Baja (A3)

Los rangos de aptitud se establecieron de acuerdo con las consultas a Fenalce y a la literatura científica pertinente.

Unidad de análisis

Unidades cartográficas de suelos: asociaciones, consociaciones y complejos.

Fuentes de información

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

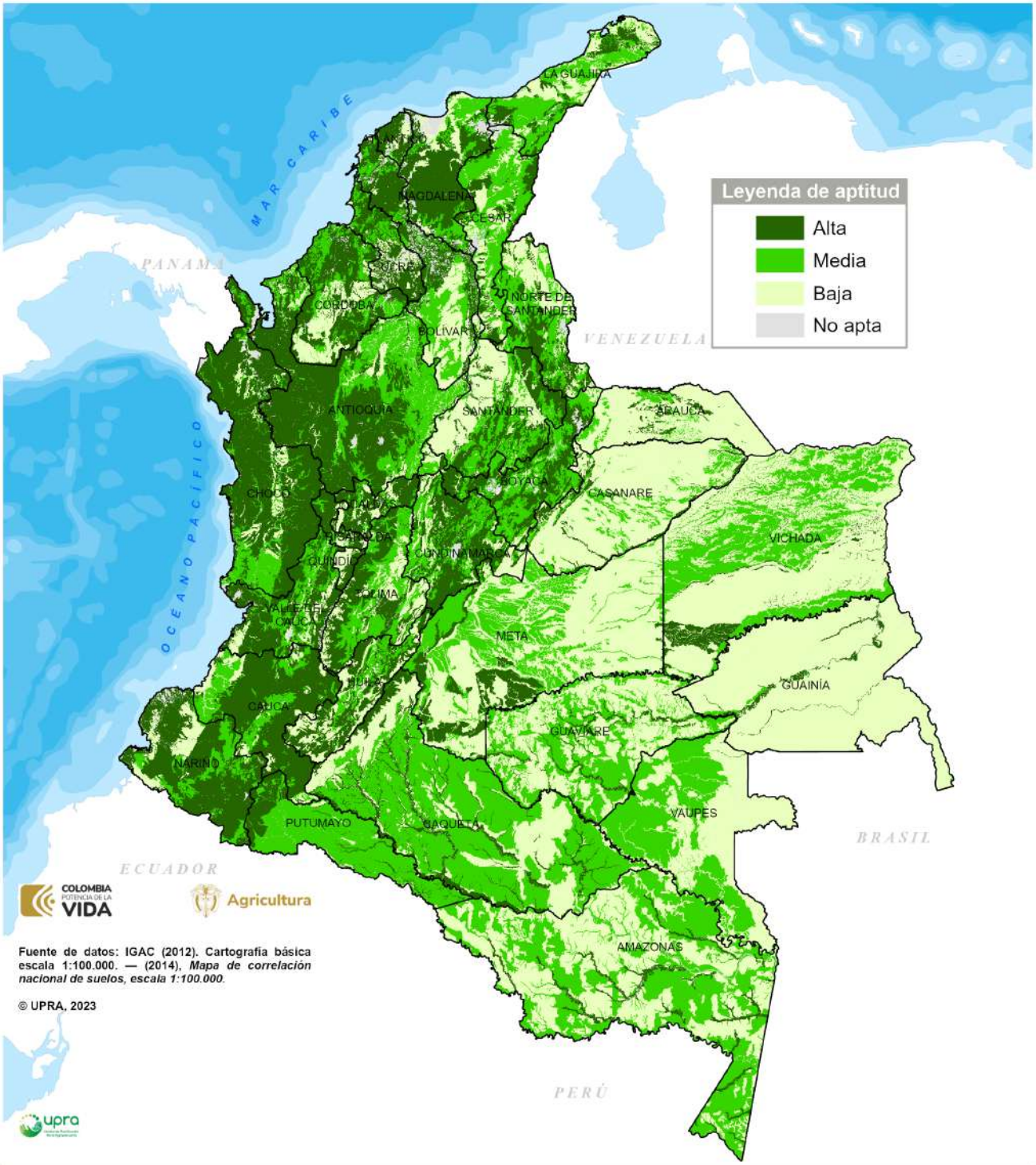
Instituto Geográfico Agustín Codazzi (1995). *Suelos de Colombia: origen, evolución, clasificación, distribución y uso*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Bogotá, Colombia: 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*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Representación cartográfica de la variable



Criterio *disponibilidad de nutrientes*

Variable *capacidad de intercambio catiónico*

1.4. Criterio *toxicidad por sales, sodio y aluminio*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la Tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: físico. Subcomponente: edáfico		
Criterio asociado: *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, la primera expresadas en dS/m y la segunda, 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 tóxicos para las plantas, lo cual no sólo restringe el crecimiento y desarrollo vegetal, sino que también genera efectos adversos sobre algunas propiedades de los suelos.

Importancia del criterio

Algunos elementos en cantidades elevadas restringen el uso de las tierras a ciertas plantas tolerantes o resistentes, e incrementan los costos para la adecuación y manejo (enmiendas). En el ámbito de los suelos colombianos, la presencia de altas saturaciones de aluminio tiene gran importancia en suelos ácidos de clima húmedo; mientras que las altas concentraciones de sales y de sodio, en suelos básicos o alcalinos, generalmente, de climas secos. El sodio, además de ser un elemento perjudicial para la estructura del suelo debido al efecto dispersante, reduce el crecimiento de las raíces de las plantas y produce necrosis en las hojas. Las sales afectan la absorción de otros elementos (como potasio, nitratos y fosfatos) de la planta, aumentan la presión osmótica en la solución del suelo e inhiben la división celular. El aluminio es uno de los elementos que se encuentra comúnmente en suelos ácidos. En plantas susceptibles, se reduce el crecimiento de las raíces y tallos, y las hojas pueden tomar un color púrpura, similar a la producida por deficiencia de fósforo, ya que afecta el metabolismo del fosfato, inhibe la división celular, causa deficiencias de fósforo e impide la absorción del calcio, magnesio y potasio.

Limitantes de la evaluación del criterio

La mayoría de las unidades cartográficas de suelos a escala 1:100.000 son asociaciones, en los que para cada variable que conforman el criterio se califica 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 de aptitud diferentes al componente calificado. En cuanto a los contenidos de sales y sodio, la base del mapa nacional de correlación de suelos no en todos los casos presenta los valores, sino que se refiere a la presencia o no presencia de tales elementos. En la concentración de aluminio sí existe una correlación con los rangos propuestos y las calificaciones cualitativas.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado

De acuerdo con la fisiología de las plantas y las propiedades de los suelos colombianos, cada una de las variables incluidas en el criterio tuvo rangos en los que no es posible el cultivo del maíz. De este modo, se consideraron no aptas (N1) para el cultivo las tierras que presentaron saturaciones de sodio (PSI) superiores al 15 % y salinidades mayores a 8 decisiemens por metro.

Metodología de procesamiento de la información

Las clases de aptitud de cada una de las variables involucradas en el criterio se extrajeron 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:

Rangos de las variables

Variable	Unidad de medida	Aptitud			
		Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	No apto (N1)
Salinidad	Conductividad eléctrica (dS/m)	≤2	2-4	4-8	>8
Sodicidad	Saturación de sodio (PSI)	≤15 (no sódico)	—	—	>15 (sódico, salino-sódico)
Saturación de aluminio	Porcentaje (%)	≤30	30-60	>60	—

Los rangos de aptitud de cada una de las variables se establecieron de acuerdo con las consultas al gremio de los cultivadores (Fenalce) y a la literatura científica pertinente.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

El argumento para discriminar los diferentes niveles de aptitud se asoció a la limitación que cada una de las variables representa en el desarrollo de los cultivos de maíz, ya que reduce las posibilidades del adecuado desarrollo de las plantas, el nivel de formación de las mazorcas y, en consecuencia, deriva en bajos índices de producción (ver siguiente tabla).

Árbol de decisión del criterio			
Saturación de aluminio (%)	**Salinidad (CE dS/m)**	**Saturación de sodio (PSI)**	**Aptitud**
≤30	≤2	No sódico	A1
		Sódico, salino-sódico	No apta (N1)
	De >2 a ≤4	No sódico	Apta (A1)
		Sódico, salino-sódico	No apta (N1)
	De >4 a ≤ 8	No sódico	Baja (A3)
		Sódico, salino-sódico	No apta (N1)
	>8	Cualquiera	No apta (N1)
De >30 a ≤60	≤2	No sódico	Media (A2)
		Sódico, sal no sódica	No apta (N1)
	De >2 a ≤4	No sódico	Media (A2)
		Sódico, salino-sódico	No apta (N1)
	De >4 a ≤8	No sódico	Baja (A3)
		Sódico, salino-sódico	No apta (N1)
	>8	Cualquiera	No apta (N1)
>60	≤2	No sódico	Baja (A3)
		Sódico, salino-sódico	No apta (N1)
	De >2 a ≤ 4	No sódico	Baja (A3)
		Sódico, salino-sódico	No apta (N1)
	De >4 a ≤ 8	No sódico	Baja (A3)
		Sódico, salino-sódico	No apta (N1)
	>8	Cualquiera	No apta (N1)

Fuentes de información

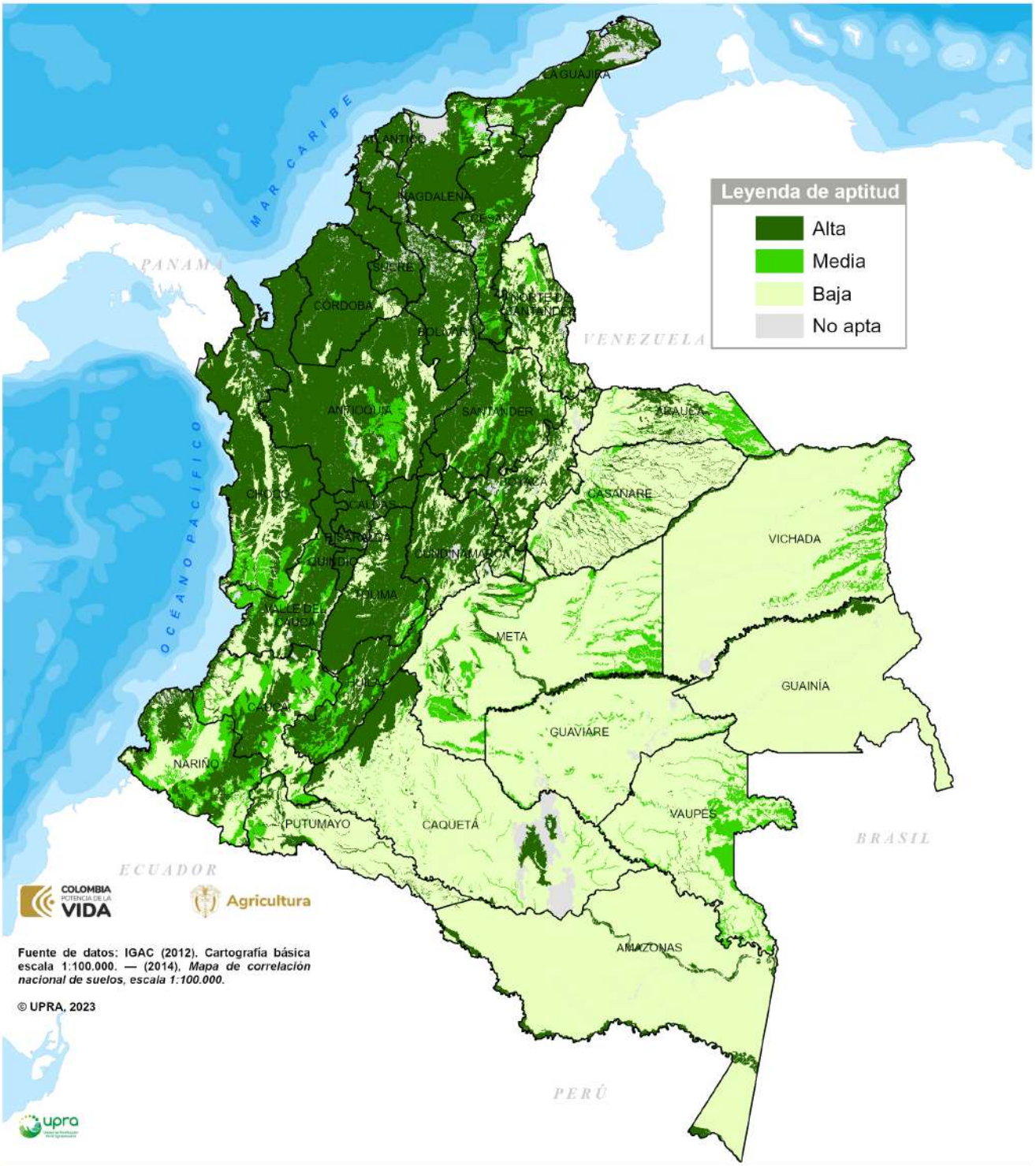
Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

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*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Klingebiel, A.A. & P.H. Montgomery (1961). *Land-capability classification: agriculture handbook n.° 210*. Washington, D.C., United States of America: United States Department of Agriculture (USDA), Soil Conservation Service.

Representación cartográfica del criterio



Criterio *toxicidad por sales, sodio y aluminio*

1.4.1. Variable *salinidad y sodicidad*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
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 en términos de la conductividad eléctrica (CE), pero puede expresarse también 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). La salinidad y la sodicidad pueden presentarse de forma *natural* o *adquirida*: de forma natural, se asocia al fenómeno climático de aridez con los materiales de origen ricos 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; de forma adquirida, se relaciona con riegos prolongados con aguas de altos contenidos de sales o con aguas de buena calidad, pero mal manejadas en climas con regímenes de humedad ústico.

Importancia de la variable

Los contenidos altos de sales solubles o de sodio intercambiable afectan de forma significativa los rendimientos de los cultivos del maíz. El principal efecto perjudicial de las sales es la alta presión osmótica que se desarrolla en la solución del suelo (Garavito, 1979). El maíz no tolera excesos de sales en el suelo, de forma que los altos contenidos de sales o de sodio pueden generar efectos negativos en el desarrollo de las plantas, por ejemplo: influyen en los valores del pH y por tanto afecta la disponibilidad de nutrientes; deterioran el ritmo de absorción de los iones potasio (K^+), de nitratos (NO_3), de fostafos (PO_4) y de calcio (Ca^+); intervienen en la translocación y el reciclado de iones en la planta; determinan que el sistema radicular no se desarrolle adecuadamente; reduce la profundización de las raíces y la producción de las ramificaciones; evita la división y el crecimiento celular, por lo que las plantas crecen menos.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

Se consideró que las unidades de tierra con conductividades eléctricas mayores a 8 decisiemens por metro y saturación de sodio mayor al 15 % no son aptas (N1) para el establecimiento de cultivos de maíz.

Limitantes de la evaluación de la variable

La principal dificultad para evaluar esta variable se relaciona con la falta de información, pues 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, ya que varían tanto de forma horizontal como vertical y 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 el respectivo mapeo.

Metodología de procesamiento de la información

Los suelos salinos y sódicos se obtuvieron a partir de la base del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014). La calificación de *salino* o *no salino* y de *sódico* o *no sódico* se le otorgó al mayor componente taxonómico dentro de la unidad cartográfica de suelos. Las unidades cartográficas que no tenían información se infirieron, correlacionando otras variables, como clima y la nemotecnia que ofrecen los nombres taxonómicos. Los límites de variación se construyeron a partir de la tabla para el cálculo de fertilidad de los suelos (IGAC, 2010).

Rangos para la asignación de valores de aptitud

De acuerdo con la información consultada (IICA, BID y Prociandino, 1991; Violic, 2001; Osipna, 2015; Senasa, 2020), se calificaron con *aptitud alta* (A1) los suelos que presentaron conductividad eléctrica menor a 2 decisiemens por metro (*no salino*) y menos del 15 % de sodio intercambiable; con *aptitud media* (A2), los suelos *ligeramente salinos*, esto es, entre 2 y 4 decisiemens por metro y menos del 15 % de saturación de sodio; con *baja aptitud* (A3), los que presentaron entre 4 y 8 decisiemens por metro; y *no aptos* (N1), los suelos sódicos y salino-sódicos que presentaron más del 15 % de saturación de sodio y más de 8 decisiemens por metro de salinidad (ver siguiente tabla).

Rangos de aptitud

Variable	Unidad de medida	Aptitud			
		Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	No apta (N1)
Salinidad	Conductividad eléctrica (dS/m)	≤2	2-4	4-8	>8
Sodicidad	Saturación de sodio (PSI)	≤15 (no sódico)	—	—	>15 (sódico, salino-sódico)

Los rangos de aptitud se determinaron de acuerdo con las consultas al gremio de los productores (Fenalce) y a la literatura científica pertinente.

Unidad de análisis

Unidades cartográficas de suelos: asociaciones, consociaciones y complejos.

Fuentes de información

Garavito, F. (1979). *Propiedades químicas de los suelos* (2.ª ed). Bogotá, Colombia: 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)*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

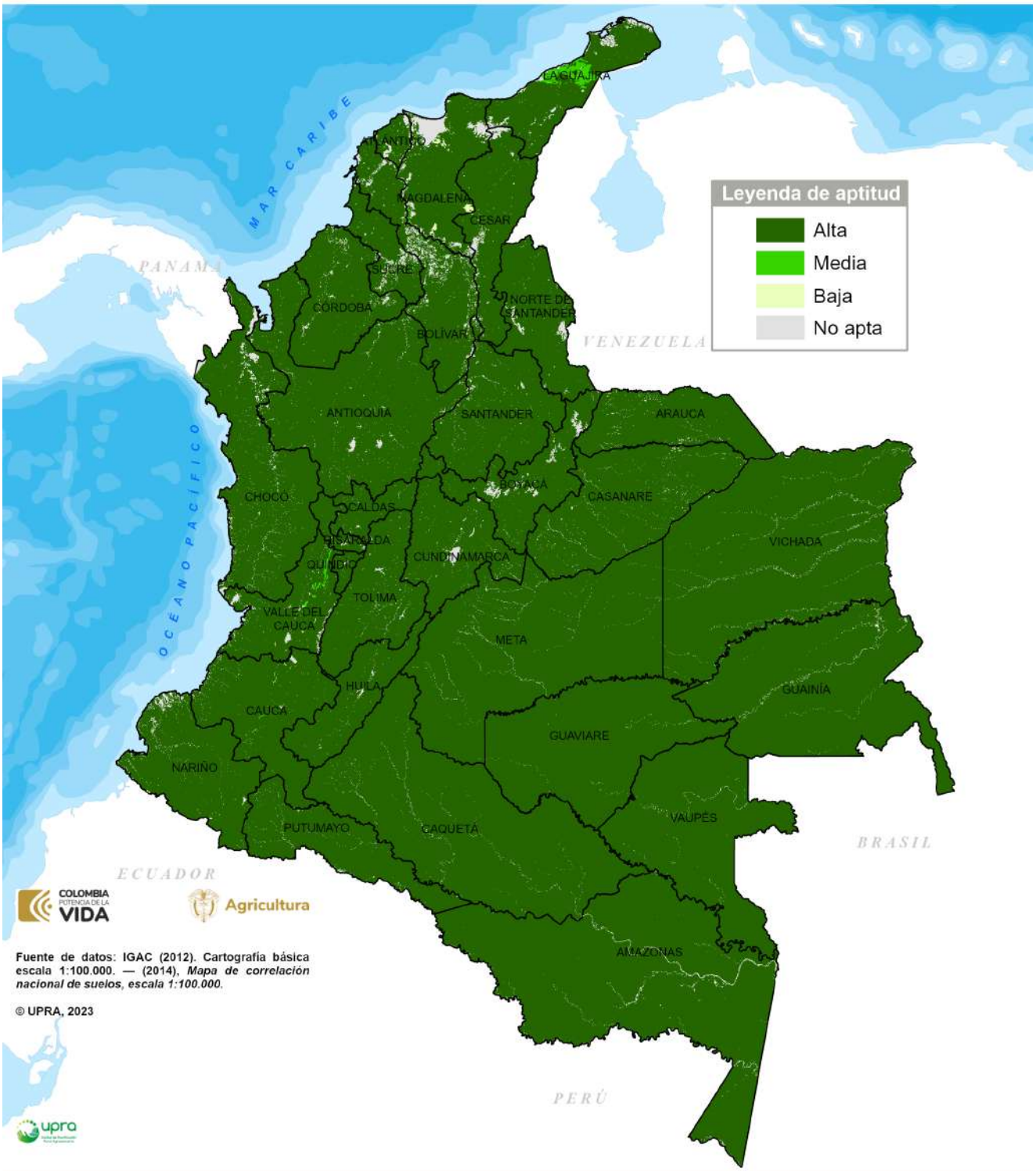
Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Banco Interamericano de Desarrollo y Programa Cooperativo de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria para la Subregión Andina (1991). *Experiencias en el cultivo de maíz en el área andina*. Quito, Ecuador: Programa Cooperativo de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria para la Subregión Andina (Prociandino). Recuperado de http://hdl.handle.net/20.500.12324/34452

Ospina, J.G. (2015). *Manual técnico del cultivo de maíz bajo buenas prácticas agrícolas*. Medellín, Colombia: Gobernación de Antioquia. Recuperado de https://n9.cl/ev5ny

Violic, A.D. (2001). Manejo integrado de cultivos. En Paliwal, R. L., Granados, G., Lafitte, H.R. y Violic, A.D. *El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción* (pp. 205-302). Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Recuperado de https://n9.cl/qr10u

Representación cartográfica de la variable



Criterio *toxicidad por sales, sodio y aluminio*
Variable *salinidad y sodicidad*

1.4.2. Variable *saturación de aluminio*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
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 aluminio en el complejo de cambio y en la solución del suelo. Se debe a los iones aluminio e hidrógeno intercambiables (desplazables) con una sal neutra (KCl). También incluye pequeñas cantidades de hierro, manganeso y zinc intercambiables (Garavito, 1979).

Importancia de la variable

La saturación de aluminio del suelo (SAl) hace referencia a la acidez debida al ion aluminio (Al^{+++}), que es abundante en suelos ácidos con un pH menor a 5,5, el cual afecta el desarrollo de las plantas, pues inhibe la división celular, causa deficiencias de fósforo e impide la absorción del calcio, magnesio y potasio. Así pues, se ha establecido que, cuando se encuentra menos de 1 parte por millón de iones aluminio en la solución del suelo, la saturación es menor al 60 % y no hay efecto tóxico en las plantas de tolerancia moderada a aluminio. Cuando es mayor al 60 %, la concentración de aluminio en la solución del suelo aumenta rápidamente (Cortés y Malagón, 1984).

Además de lo anterior, la concentración de aluminio limita la degradación microbiana de la materia orgánica, inhibe el crecimiento de las raíces y la toma tanto de agua como de nutrientes, lo cual afecta la productividad. En la zonificación de aptitud para el cultivo tradicional de maíz, los excesos de aluminio disminuyen la disponibilidad del fósforo, elemento importante en el suministro de energía para las plantas y responsable del buen desarrollo de las raíces. Para poder utilizar suelos con altos niveles de iones aluminio intercambiable, es necesario aplicar altas dosis de enmiendas alcalinas para así elevar el pH a niveles no tóxicos o utilizar plantas que sean tolerantes a la acidez (Cortés y Malagón, 1984).

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

Para el cultivo del maíz no se consideró algún rango de exclusión, ya que, con el uso de enmiendas, se puede corregir el exceso de aluminio en el suelo.

Limitantes de la evaluación de la variable

La mayoría de las unidades cartográficas de suelos a la escala 1:100.000 son asociaciones y se califica el componente taxonómico de mayor representatividad dentro de la unidad. Esto significa que dentro de la unidad existen áreas de diversos tamaños que tienen contenidos de aluminio diferentes al componente calificado, los cuales pueden o no ser restrictivos para el cultivo.

Metodología de procesamiento de la información

La calificación de aptitud de los contenidos de iones aluminio (Al+++) se obtuvo a partir de la base de datos del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014). Los rangos se establecieron a partir de la tabla para la evaluación de la fertilidad de los suelos (IGAC, 2010), como se puede ver a continuación:

Saturación de aluminio					
Rango	>60	30-60	29-15	14-5	<5

La calificación para obtener estos rangos se generó a partir del mayor componente taxonómico dentro de la unidad cartográfica de suelos.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

Teniendo como base las consultas al gremio de los cultivadores (Fenalce) y los reportes técnicos en cuanto a las consecuencias de la saturación de aluminio (IICA, BID y Prociandino, 1991; Violic, 2001; Ospina, 2015), se determinaron como tierras con *aptitud alta* (A1) cuando las saturaciones fueron menores al 30 %; *aptitud media* (A2), entre 30 y 60 %; y *aptitud baja* (A3), las saturaciones de aluminio con valores mayores al 60 % (ver tabla siguiente).

Rangos de aptitud	
Saturación de aluminio (%)	**Aptitud**
≤30	Alta (A1)
30-60	Media (A2)
>60	Baja (A3)

Unidad de análisis

Unidades cartográficas de suelos: asociaciones, consociaciones y complejos.

Fuentes de información

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

Garavito, F. (1979). *Propiedades químicas de los suelos* (2.ª ed). Bogotá, Colombia: 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)*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

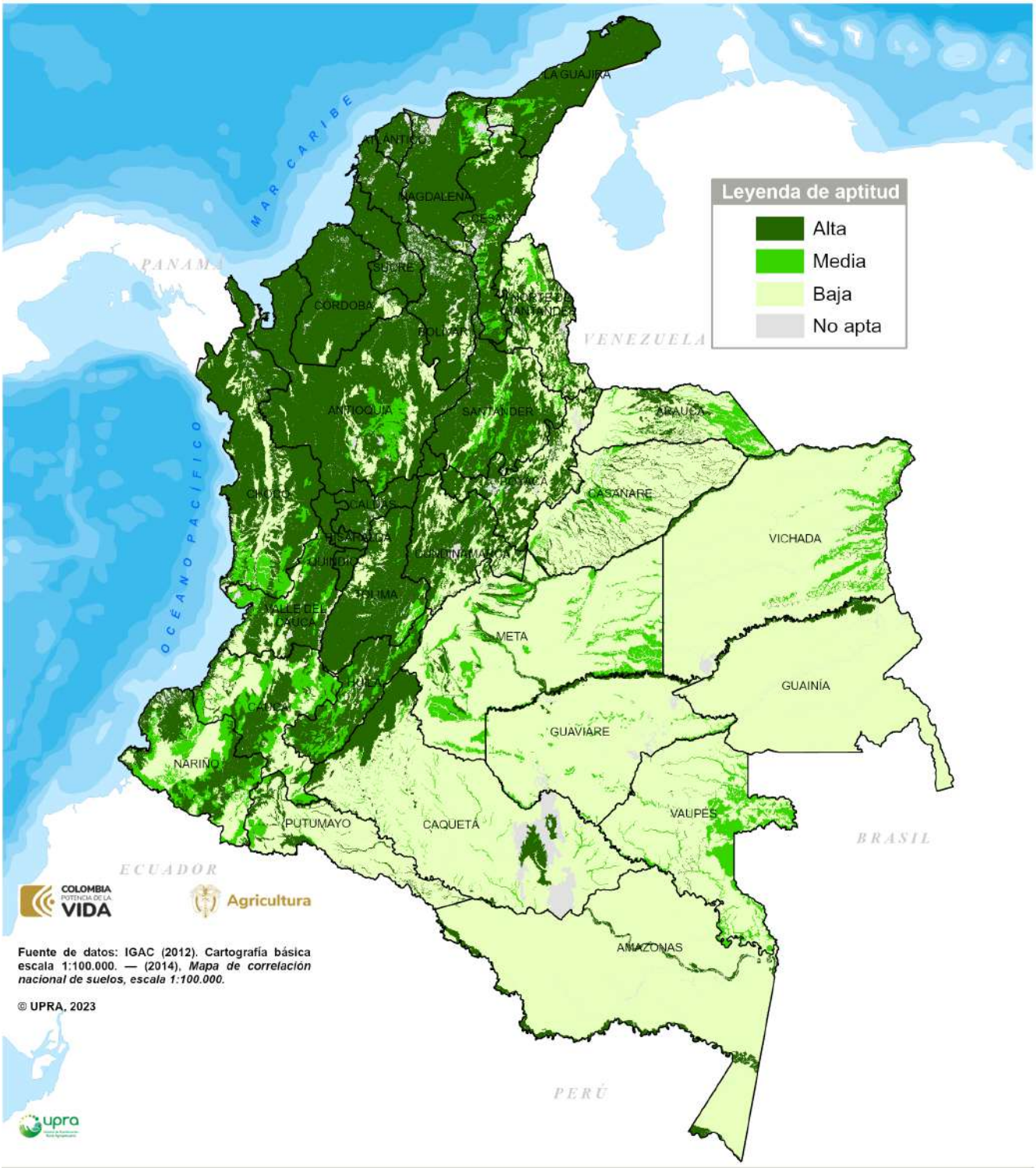
Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Banco Interamericano de Desarrollo y Programa Cooperativo de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria para la Subregión Andina (1991). *Experiencias en el cultivo de maíz en el área andina*. Quito, Ecuador: Programa Cooperativo de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria para la Subregión Andina (Prociandino). Recuperado de http://hdl.handle.net/20.500.12324/34452

Ospina, J.G. (2015). *Manual técnico del cultivo de maíz bajo buenas prácticas agrícolas*. Medellín, Colombia: Gobernación de Antioquia. Recuperado de https://n9.cl/ev5ny

Violic, A.D. (2001). Manejo integrado de cultivos. En Paliwal, R. L., Granados, G., Lafitte, H.R. y Violic, A.D. *El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción* (pp. 205-302). Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Recuperado de https://n9.cl/qr10u

Representación cartográfica de la variable



Criterio *toxicidad por sales, sodio y aluminio*
Variable *saturación de aluminio*

1.5. Criterio *disponibilidad de humedad*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: físico. Subcomponente: edáfico		
Criterio asociado: *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 de texturas.

Definición

Capacidad que tienen los suelos, en condiciones naturales, de almacenar y suministrar agua para las plantas en cantidades suficientes para su desarrollo.

Importancia del criterio

El agua es la responsable de muchas reacciones físicas, químicas y biológicas que suceden en el suelo, así como 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 los cultivos de maíz. Se relaciona con el contenido y movimiento interno del agua en el suelo y con la posibilidad de retención de humedad durante el año, la cual depende de las clases texturales de los suelos y de los regímenes pluviométricos.

Limitantes de la evaluación del criterio

La mayoría de las unidades cartográficas de suelos a escala 1:100.000 son asociaciones, en las cuales, para cada una de las variables que conforman el criterio, se calificó el componente taxonómico de mayor representatividad dentro de la unidad. Esto significa que dentro de una unidad cartográfica existen áreas pequeñas que tienen calificaciones de aptitud diferentes al componente calificado.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado

Se considera que los regímenes de humedad arídico y perácuico no tienen aptitud (N1) para desarrollar cultivos de maíz, ya que, en el primer caso, no hay condiciones climáticas para el almacenamiento de humedad; y en el segundo, representa ausencia de oxígeno, lo cual significa intoxicación en las raíces de las plantas, lo que deriva en grandes disminuciones en la producción de mazorcas. La textura no presenta exclusiones para el cultivo tradicional de maíz, dado que, en diferentes clases texturales, es posible el establecimiento y desarrollo de estos cultivos con diferentes grados de aptitud.

Metodología de procesamiento de la información

Las clases de aptitud de cada una de las variables involucradas en el criterio se obtuvieron del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014), cuya calificación, que técnicamente se consideró en cada una de las variables, se presenta a continuación:

Rangos de las variables

Variable	Unidad de medida	Aptitud			
		Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	N1
Régimen de humedad	Clases de régimen	Údico	Ústico	Ácuico	Arídico, perácuico
Textura	Clases de texturas	FAr, FArA, FArL, Ar, ArA, ArL, F, FL, (andisoles)	FA, L	A, AF, (*psamments*)	—

Los rangos de aptitud de las variables se establecieron con base en las consultas al gremio (Fenalce) y a la literatura científica pertinente

Rangos para la asignación de valores de aptitud

El argumento para discriminar los diferentes niveles de aptitud del criterio fue la limitación que cada una de las variables representa en el desarrollo de los cultivos de maíz, ya que reduce las posibilidades de un buen desarrollo de las plantas, reflejado en la disminución de la producción, como se puede observar en la siguiente tabla:

Árbol de decisión del criterio		
Régimen de humedad	**Textura**	**Aptitud**
Údico	FAr, FArA, FArL, Ar, ArA, ArL, F, FL (andisoles)	A1
	FA, L	A1
	A, AF (*psamments*)	A3
Ústico	FAr, FArA, FArL, Ar, ArA, ArL, F, FL (andisoles)	A2
	FA, L	A2
	A, AF (*psamments*)	A3
Ácuico	Cualquiera	A3
Arídico, perácuico	Cualquiera	N1

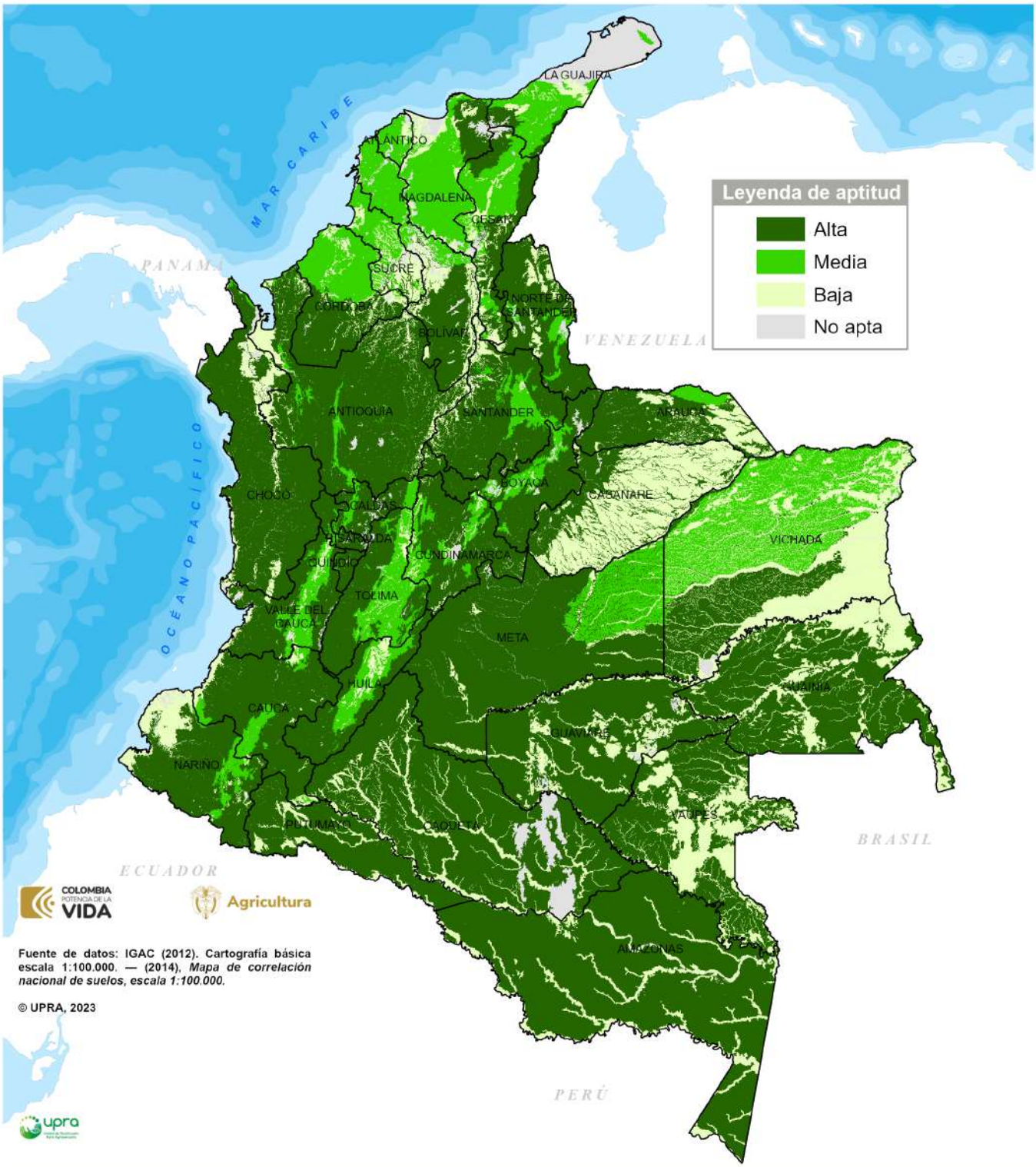
Fuentes de información

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Bogotá, Colombia: 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*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Representación cartográfica del criterio



Criterio *disponibilidad de humedad*

1.5.1. Variable *régimen de humedad*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: físico. Subcomponente: edáfico		
Criterio asociado: *disponibilidad de humedad*		
Variable: *régimen de humedad*	Unidad de medida: clases de régimen	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	✓
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Se refiere tanto a la presencia o ausencia de un manto freático como al agua retenida a una tensión menor de 1.500 kilopascales en el suelo o en horizontes específicos por periodos de un año. El agua retenida a una tensión de 1.500 kilopascales o más no está disponible para mantener con vida la mayoría de las plantas mesófilas. A continuación, se presentan los diferentes regímenes de humedad del suelo:

Údico. En el régimen údico (del latín *ūdus*, 'húmedo'), la sección control de humedad del suelo no está seca en cualquier parte durante tanto tiempo como 90 días acumulativos en años normales.

Perúdico (del latín *per*, 'a lo largo del tiempo', y *ūdus*, 'húmedo'). En climas donde la precipitación supera la evapotranspiración, en todos los meses en año normales, la tensión de humedad raramente alcanza los 100 kilopascales en la sección de control de humedad del suelo, aunque existen 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', que implica *sequedad*) es intermedio entre el régimen arídico y el údico. Tiene una 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 centímetros, 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, o 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, ya 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 o 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 seco 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 las 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

En condiciones de secano, la disponibilidad natural de agua en el suelo es indispensable para el establecimiento, desarrollo y producción de cultivos de maíz. El régimen de humedad údico es el óptimo, ya que mantiene el suministro de agua la mayor parte del año. Los regímenes muy secos o muy húmedos limitan el normal desarrollo de las plantas de maíz. El régimen de humedad del suelo se relaciona con las características climáticas de la zona y con las clases texturales dominantes en el suelo, por que se consideran un indicador de la disponibilidad de agua para las plantas. Los regímenes de humedad están condicionados a la distribución de las lluvias de cada región y al número de días secos consecutivos durante el año.

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 representan unidades cartográficas denominadas *asociaciones*, que tienen dos o más componentes taxonómicos. Se calificó el régimen de humedad del componente taxonómico de mayor porcentaje, lo cual significa que pueden existir regímenes de humedad diferentes 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). En los casos en que no está definido el régimen de humedad dentro base de datos del mapa, se complementó interpretando la clasificación taxonómica de los suelos presentes en las unidades cartográficas.

De este modo, se tomó como base la duración de las inundaciones y encharcamientos del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014).

Rangos para la asignación de valores de aptitud

Teniendo en cuenta el aporte de humedad por el medio y el daño por la permanencia del agua en el suelo para el cultivo de maíz (Deras, 2020; IICA, BID y Prociandino, 1991; Violic, 2001), se consideraron los siguientes rangos de aptitud:

Clases por regímenes de humedad	
Régimen de humedad (clases de regímenes de humedad)	**Aptitud**
Údico, perúdico	Alta (A1)
Ústico	Media (A2)
Ácuico	Baja (A3)
Arídico, perácuico	No apta (N1)

Los rangos de aptitud de las variables se establecieron con base en diferentes consultas al gremio (Fenalce) y a la literatura científica pertinente.

Unidad de análisis

Unidades cartográficas de suelos: asociaciones, consociaciones y complejos.

Fuentes de información

Deras, H. (2020). *Guía técnica: el cultivo del maíz*. San Salvador, El Salvador: IICA, PAF, CENTA, Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). Recuperado de https://n9.cl/1d2lc

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

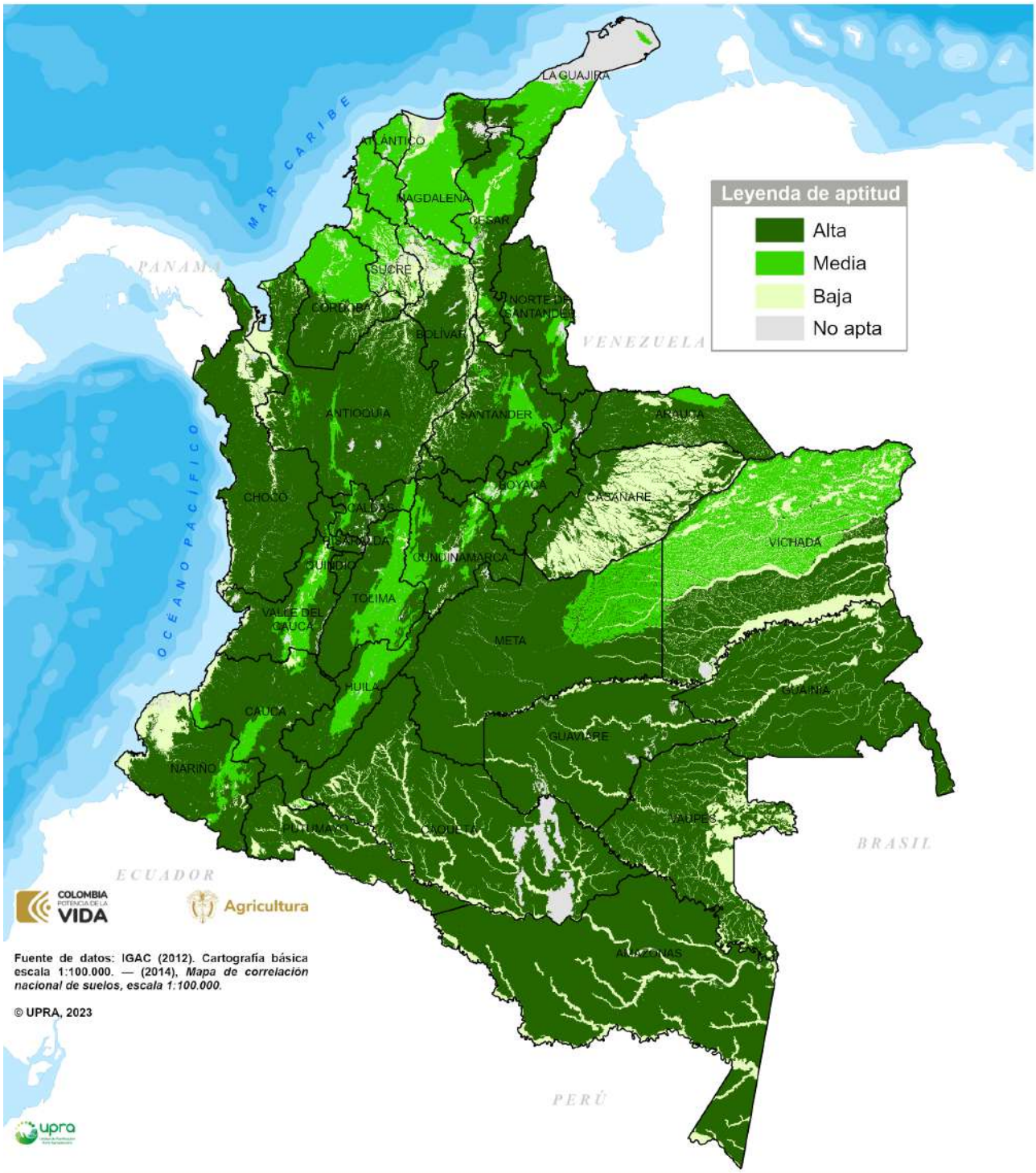
Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Banco Interamericano de Desarrollo y Programa Cooperativo de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria para la Subregión Andina (1991). Experiencias en el cultivo de maíz en el área andina. Quito, Ecuador: Programa Cooperativo de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria para la Subregión Andina (Prociandino). Recuperado de http://hdl.handle.net/20.500.12324/34452

Violic, A.D. (2001). Manejo integrado de cultivos. En Paliwal, R. L., Granados, G., Lafitte, H.R. y Violic, A.D. *El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción* (pp. 205-302). Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Recuperado de https://n9.cl/qr10u

Representación cartográfica de la variable



Criterio *disponibilidad de humedad*

Variable *régimen de humedad*

1.5.2. Variable *textura*

Ficha metodológica de la variable			
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del tradicional (*Zea mays* L.) maíz con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.		
Componente: físico. Subcomponente: edáfico			
Criterio asociado: *disponibilidad de humedad*			
Variable: *textura*	Unidad de medida: clases de textura		
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

La textura del suelo es una propiedad física que está estrechamente relacionada con otras, como la capacidad de retener agua —pues las texturas finas retienen más agua que las gruesas—, la permeabilidad y los índices de plasticidad. Se relaciona con la porosidad, cuyo espacio entre partículas permite no sólo que se pueda retener y mover el oxígeno, sino también favorecer la aireación y la penetración de las raíces a través del suelo. En la medida en que los suelos presenten mayores porcentajes de arcilla, se aumenta proporcionalmente la capacidad de retener humedad. Los tamaños de partículas más gruesos facilitan la permeabilidad, mas no la retención.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

No hubo exclusión técnica (N1) en razón a que las diferentes clases texturales presentaron una amplia gama de retención de humedad, en las cuales los cultivos de maíz pueden desarrollarse, pero con rendimientos diferenciales.

Limitantes de la evaluación de la variable

La mayoría de las unidades cartográficas de suelos en los estudios generales representan asociaciones o complejos de suelos, cuya calificación se realiza sobre la dominancia de la clase textural en los horizontes superficiales del componente taxonómico de mayor representatividad. Por lo tanto, 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

Se consideraron las clases texturales, de acuerdo con 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 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. Esta variable se calificó con base en los requerimientos de los cultivos tradicionales de maíz, en relación con su crecimiento y desarrollo, los cuales fueron consultados a Fenalce y a la literatura científica pertinente.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

La asignación de los rangos radica en que cuanto mayor contenido de arcillas, tanta mayor capacidad de retener humedad tiene el suelo, 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 que permite al suelo tener reservas para la época de bajas lluvias. De tal forma, se incluyeron los suelos andisoles por tener buena retención de humedad.

Las texturas con *aptitud media* (A2) presentaron mejor balance entre las partículas finas y las gruesas, por lo que la retención de humedad se encontró en un nivel intermedio. También se incluyeron los horizontes orgánicos en esta calificación debido a la muy alta capacidad que tiene la materia orgánica de retener humedad. Las clases texturales gruesas se determinaron con *aptitud baja* (A3), debido a que el dominio de los porcentajes de arena sobre los de limo y arcilla reduce la retención de agua necesaria para el normal crecimiento y desarrollo de los cultivos de maíz tradicional. Así, se incluyeron los suelos *psamments* por estar constituidos por arenas, como se muestra en la siguiente tabla:

Rangos de aptitud	
Textura (clases texturales)	**Aptitud**
FAr, FArA, FArL, Ar, ArA, ArL, F, FL (andisoles)	Alta (A1)
FA, L, orgánicos	Media (A2)
A, AF (*psamments*)	Baja (A3)

Esta variable se calificó con base en los requerimientos del cultivo de maíz tradicional consultados a Fenalce y a la literatura científica pertinente.

Unidad de análisis

Unidades cartográficas de suelos: asociaciones, consociaciones y complejos.

Fuentes de información

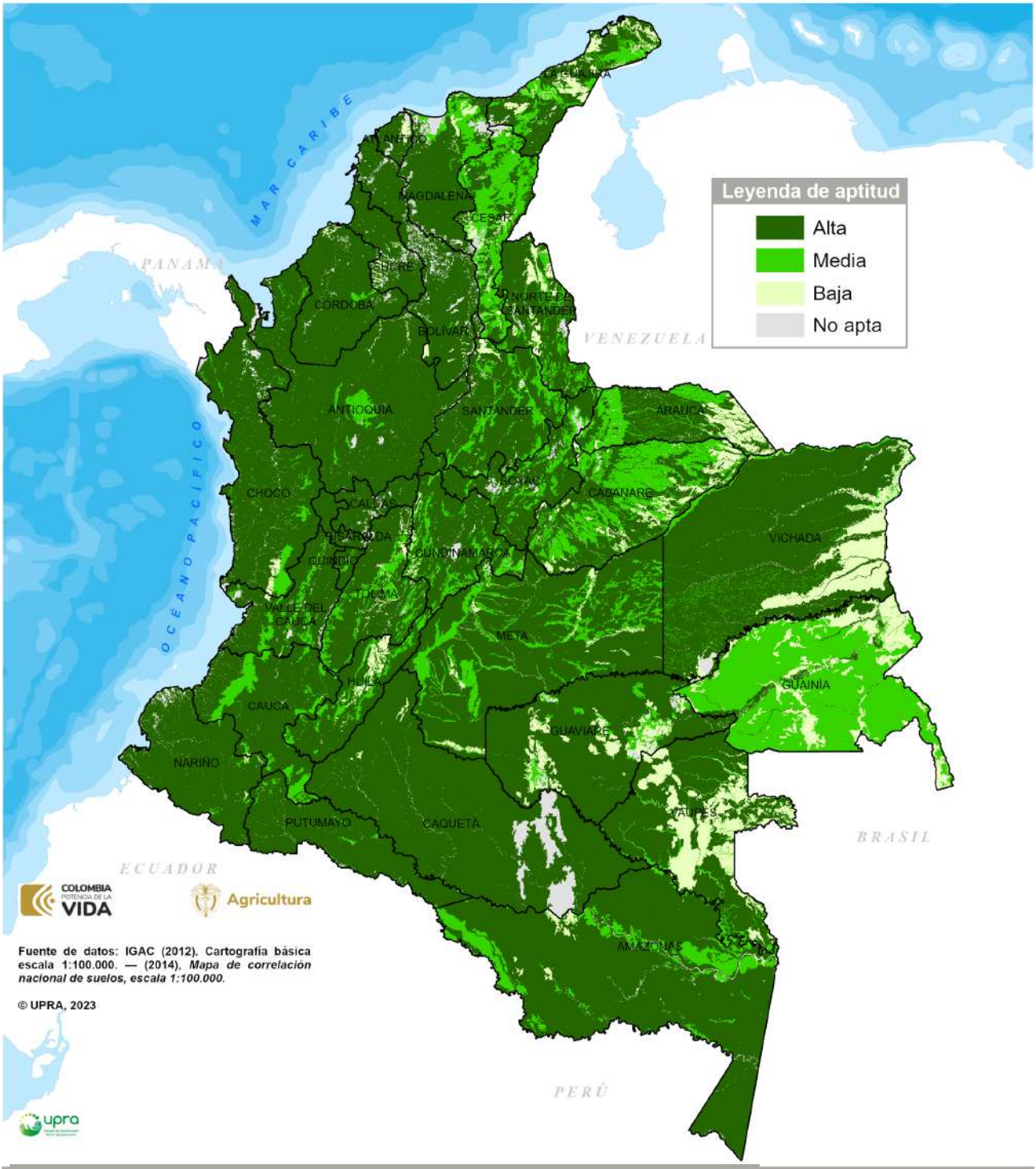
Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

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*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Malagón, D. y Montenegro, H. (1990). *Propiedades físicas de los suelos*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Representación cartográfica de la variable



Criterio *disponibilidad de humedad*
Variable *textura*

1.6. Criterio *susceptibilidad a la pérdida de suelos*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: físico. Subcomponente: edáfico		
Criterio asociado: *susceptibilidad a la pérdida de suelos*		
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	✓
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

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 y el manejo inadecuado, lo cual origina una disminución de la productividad (FAO, 1976; FAO, 1991).

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, 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 del viento, la cual es mediada por los seres humanos y trae 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 causado o inducido por la acción humana de modo accidental, en función de LA probabilidad de ocurrencia espacial y temporal (Servicio Geológico Colombiano [SGC], 2023).

Importancia del criterio

Para el establecimiento de cultivos de maíz tradicional, lo ideal es que no haya erosión o que el grado sea ligero o máximo moderado, porque las actividades que implican el cultivo, relacionadas con el suelo en su preparación, mantenimiento y cosecha, lo expone a la pérdida por erosión, la cual se intensifica con la pendiente y la alta pluviosidad. La pérdida de suelo implica disminución de la profundidad y pérdida de la fertilidad, lo cual redunda en el crecimiento de los cultivos. Además, el desgaste del suelo significa generación de sedimento, que influye en la calidad de las aguas al ser contaminadas por el proceso de escorrentía.

Limitantes de la evaluación del criterio

La representación cartográfica estuvo regida por las unidades cartográficas de suelos a escala 1:100.000, las cuales contienen las fases por erosión, ya que las otras variables consisten en polígonos de mayor tamaño que no permiten precisión en la delimitación del proceso de pérdida de los suelos.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado

Se consideró que la susceptibilidad a la pérdida de suelos tuvo límites que se calificaron como *no aptos* (N1), ya que en algunos casos prácticamente no existe capa productiva y deben estar destinadas a la restauración ecológica.

Metodología de procesamiento de la información

El criterio se estableció a través de un árbol de decisión para los cultivos comerciales de maíz mediante 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 (Misión Topográfica Shuttle Radar) de 30 metros; y el mapa de amenazas por movimientos en masa del Servicio Geológico Colombiano (2016), como se puede observar en la tabla de abajo:

Árbol de decisión

Fases por erosión	Degradación de suelos por erosión	Pendiente	Amenaza por movimientos en masa	Aptitud
Sin evidencia	No hay; ligera	≤25	Baja y media	A1
			Alta	A1
			Muy alta	A1
		>25	Baja y media	A1
			Alta	A2
			Muy alta	A2
	Moderada	≤25	Baja y media	A1
			Alta	A1
			Muy alta	A2
		>25	Baja y media	A2
			Alta	A2
			Muy alta	A3
	Severa	≤25	Baja y media	A1
			Alta	A2
			Muy alta	A2
		>25	Baja y media	A2

			Alta	A3
			Muy alta	A3
	Muy severa	≤25	Baja y media	A2
			Alta	A2
			Muy alta	A3
		>25	Baja y media	A3
			Alta	A3
			Muy alta	A3
Ligera	No hay; ligera	≤25	Baja y media	A1
			Alta	A1
			Muy alta	A2
		>25	Baja y media	A
			Alta	A2
			Muy alta	A3
	Moderada	≤25	Baja y media	A2
			Alta	A2
			Muy alta	A2
		>25	Baja y media	A2
			Alta	A3
			Muy alta	A3
	Severa	≤25	Baja y media	A2
			Alta	A2
			Muy alta	A3
		>25	Baja y media	A3
			Alta	A3
			Muy alta	A3
	Muy severa	≤25	Baja y media	A2
			Alta	A3
			Muy alta	A3
		>25	Baja y media	A3
			Alta	A3
			Muy alta	N
Moderada	No hay; ligera	≤25	Baja y media	A3
			Alta	A3

			Muy alta	A3
		>25	Baja y media	A3
			Alta	A3
			Muy alta	A3
	Moderada	≤25	Baja y media	A3
			Alta	A3
			Muy alta	A3
		>25	Baja y media	A3
			Alta	A3
			Muy alta	N1
	Severa	≤25	Baja y media	N1
			Alta	N1
			Muy alta	N1
		>25	Baja y media	N1
			Alta	N1
			Muy alta	N1
	Muy severa	≤25	Baja y media	N1
			Alta	N1
			Muy alta	N1
		>25	Baja y media	N1
			Alta	N1
			Muy alta	N1
Severa; muy severa	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	N1

Rangos para la asignación de valores de aptitud

El argumento para diferenciar los niveles de aptitud radicó en el efecto que cada uno de los rangos tuvo en las condiciones para la pérdida de suelo, ya que redujo las posibilidades de mantener un área productiva. A continuación, se presenta los criterios cualitativos de calificación:

Criterio de calificación	Aptitud
Baja susceptibilidad a la pérdida de suelo para la producción del cultivo	Alta (A1)
Condiciones que presentan moderada susceptibilidad a la pérdida de suelo para la producción del cultivo	Media (A2)
Condiciones que presentan fuerte susceptibilidad a la pérdida de suelo para la producción del cultivo	Baja (A3)
Restricciones por susceptibilidad a la pérdida de suelo que imposibilitan la producción del cultivo	No apta (N1)

Fuentes de información

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

Food and Agriculture Organization of the United Nations (1991). *Guidelines: land evaluation for extensive grazing*. FAO soils bulletin 58. Roma, Italia: 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*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). Recuperado de https://n9.cl/g7g5d

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

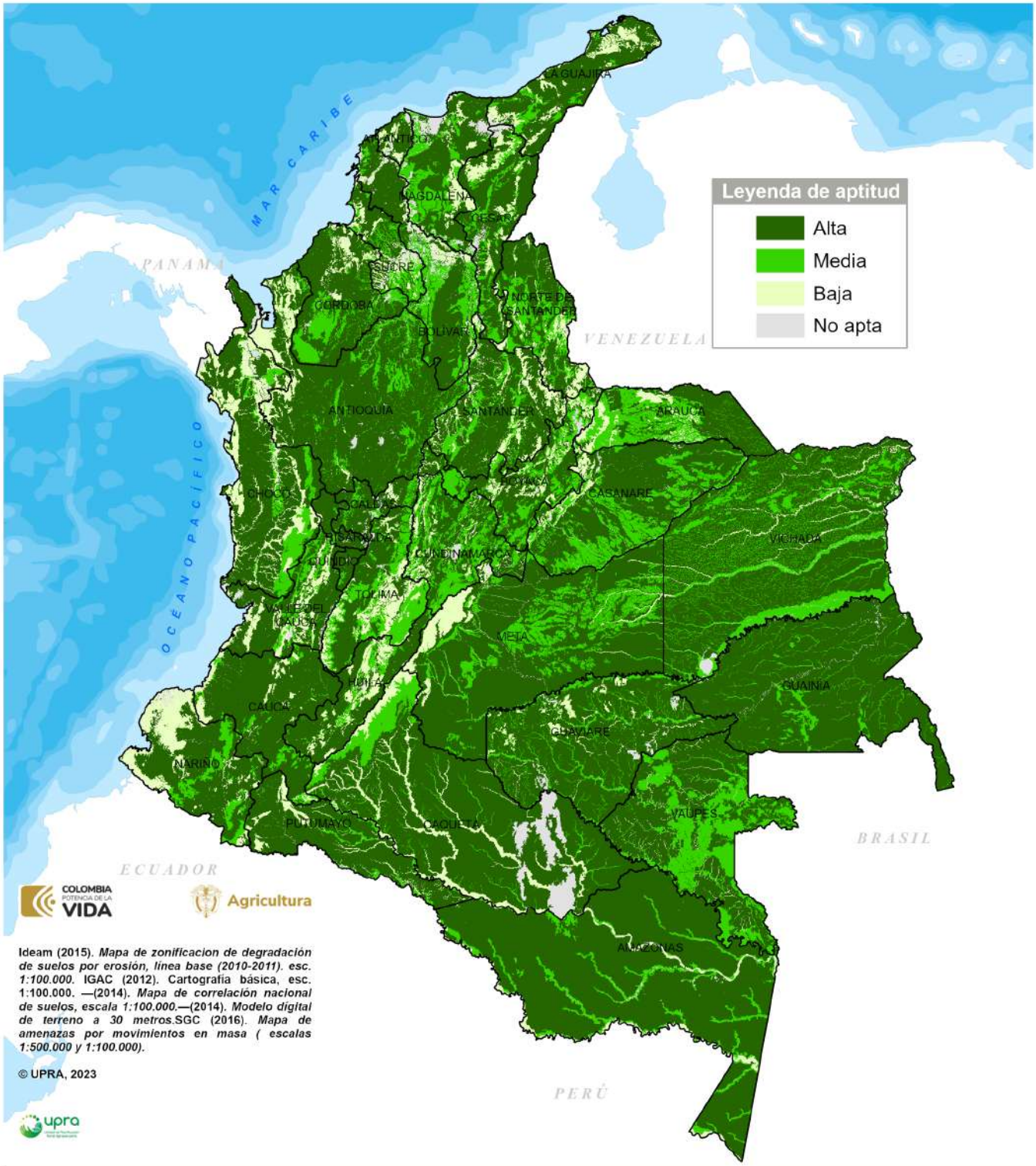
Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Servicio Geológico Colombiano (2023). *Evaluación de amenaza por movimientos en masa*. Bogotá, Colombia: Servicio Geológico Colombiano (SGC). Recuperado de https://n9.cl/4xh57

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

Klingebiel, A.A. & P.H. Montgomery (1961). *Land-capability classification: agriculture handbook n.° 210*. Washington, D.C., United States of America: United States Department of Agriculture (USDA), Soil Conservation Service.

Representación cartográfica del criterio



Criterio *susceptibilidad a la pérdida de suelos*

1.7. Criterio *disponibilidad de oxígeno*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: físico. Subcomponente: edáfico		
Criterio asociado: *disponibilidad de oxígeno*		
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	✓
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Variables asociadas al criterio

Susceptibilidad a inundaciones, expresada en clases por duración.

Drenaje natural, expresado en clases de drenaje.

Definición

Cualidad que indica las condiciones de aireación del suelo. Cuando el suelo no está saturado de agua, los poros permiten tanto la libre circulación del dióxido de carbono hacia la atmósfera como la entrada del oxígeno del exterior.

Importancia del criterio

Incide en la producción de los cultivos de maíz tradicional, dado que indica no sólo el buen suministro de oxígeno en suelos bien drenados, sino también el estrés generado por excesos de agua (anoxia), lo cual afecta el metabolismo normal de la nutrición de las plantas. La aireación del suelo permite el desarrollo de las raíces y de todas las funciones fisiológicas de las plantas. Además, la tendencia de los terrenos planos a ser inundados o a permanecer encharcados puede afectar el desarrollo normal de las plantas de maíz, porque la ausencia de oxígeno en la matriz del suelo se considera una intoxicación para las plantas.

Limitantes de la evaluación del criterio

La mayoría de las unidades cartográficas de suelos a escala 1:100.000 son asociaciones, en las que para cada una de las 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 diversos tamaños que tienen calificaciones de aptitud diferentes al componente calificado. La falta de información de la periodicidad y duración de las inundaciones no permitió la precisión en la delimitación de las áreas no aptas para el cultivo.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado

Se consideran tierras *no aptas* (N1) para los cultivos de maíz tradicional las que tienen drenaje natural muy pobre.

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 describe a continuación:

Rangos de las variables

Variable	Unidad de medida	Aptitud			
		Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	No apta (N1)
Susceptibilidad a las inundaciones	Duración	No hay	Cortas	Largas, muy largas	—
Drenaje natural	Clase de drenaje	Bueno	Moderado, excesivo, moderadamente excesivo	Imperfecto, pobre	Muy pobre

Los rangos de aptitud de las variables se establecieron de acuerdo con las consultas a Fenalce y a la literatura científica pertinente.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

El argumento para determinar los diferentes niveles de aptitud del criterio se asoció a la limitación que cada una de las variables representa en el desarrollo de los cultivos tradicionales de maíz, ya que implica bajo desarrollo de las plantas y disminución de la producción (ver siguiente tabla).

Árbol de decisión del criterio

Drenaje natural	Inundaciones	Aptitud
Bueno	No hay	A1
	Cortas	A1
	Largas, muy largas	A3
Moderado, excesivo,	No hay	A2

moderadamente excesivo	Cortas	A2
	Largas, muy largas	A3
Imperfecto, pobre	No hay	A3
	Cortas	A3
	Largas, muy largas	A3
Muy pobre	Cualquiera	N1

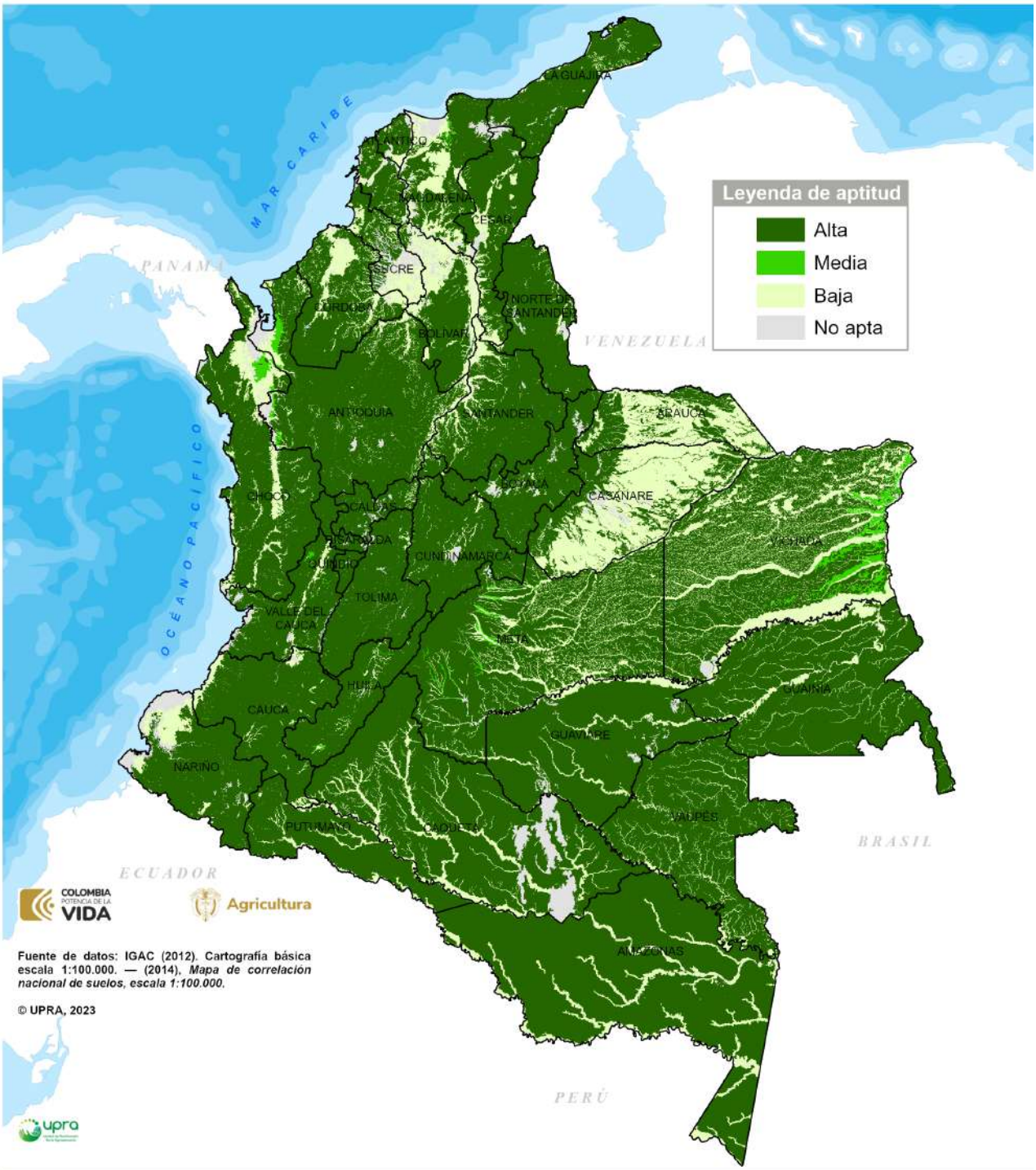
Fuentes de información

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Bogotá, Colombia: 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*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Representación cartográfica del criterio



Criterio *disponibilidad de oxígeno*

1.7.1. Variable *drenaje natural*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: físico. Subcomponente: edáfico		
Criterio asociado: *disponibilidad de oxígeno*		
Variable: *drenaje natural*	Unidad de medida: clases de drenaje	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	✓
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Rapidez y grado de remoción de agua del suelo por la escorrentía y el flujo a través del suelo a los espacios subterráneos (Klingebiel & Montgomery, 1961). El drenaje natural combina los drenajes tanto interno como externo del suelo y estima la relación entre la pendiente, la escorrentía e infiltración y las evidencias de procesos de óxido-reducción, colores gley y profundidad a la cual aparece el nivel freático (Cortés y Malagón, 1984).

Importancia de la variable

Incide sobre la respuesta de las plantas del maíz a la presencia o ausencia de niveles freáticos a diferentes profundidades dentro de la zona radicular. Los cultivos de maíz no soportan suelos muy pobremente drenados. Las condiciones de mal drenaje implican requerimientos de obras de adecuación de tierras que favorezcan el movimiento del agua interna de los suelos y de la escorrentía.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

Para los cultivos tradicionales de maíz se excluyeron como *zonas aptas* (N1) las tierras con drenaje muy pobre, ya que se encuentra agua por largos periodos en la zona radicular de las plantas.

Limitantes de la evaluación de la variable

La mayoría de las unidades cartográficas de suelos en los estudios generales representan asociaciones, por lo que se calificó el componente de mayor representatividad. Esto significa que algunos sectores 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). En los casos en que no tuvo información sobre el drenaje natural, se complementó al interpretar la taxonomía de los suelos presentes en las unidades cartográficas. Se tomó como base la duración de las inundaciones y encharcamientos del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014).

Rangos para la asignación de valores de aptitud

De acuerdo tanto con las recomendaciones de manejo como con los documentos de consulta, el cultivo tradicional de maíz requiere suelos bien drenados (IICA, BID y Prociandino, 1991 y 1993; Violic, 2001; Ospina, 2015; Deras, 2020; Senasa, 2020). Por lo tanto, los suelos bien drenados obtuvieron *aptitud alta* (A1), debido a que no hubo restricciones por disponibilidad de oxígeno; los drenajes naturales moderado y excesivo obtuvieron *aptitud media* (A2), por requerir de algunas obras para optimizar el oxígeno disponible; los drenajes naturales imperfecto y pobre obtuvieron *aptitud baja* (A3), dada la falta de oxígeno disponible temporalmente y por requerir obras de mayor envergadura para adecuar el drenaje. No se consideran aptos los suelos con drenaje muy pobre debido a la ausencia permanente de oxígeno en las raíces (ver siguiente tabla).

Rangos de aptitud	
Drenaje natural	**Aptitud**
Bueno	Alta (A1)
Moderado, excesivo, moderadamente excesivo	Media (A2)
Imperfecto, pobre	Baja (A3)
Muy pobre	No apto (N1)

Los rangos de aptitud de las variables se establecieron con base en las consultas al gremio (Fenalce) y a la literatura científica pertinente.

Unidad de análisis

Unidades cartográficas de suelos: asociaciones, consociaciones y complejos.

Fuentes de información

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

Deras, H. (2020). *Guía técnica: el cultivo del maíz*. San Salvador, El Salvador: IICA, PAF, CENTA, Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). Recuperado de https://n9.cl/1d2lc

Grupo Semillas. 2004. *Revista semillas. Edición 22-23*. Recuperado el 26 de agosto de 2021 de: https://www.semillas.org.co/apc-aa-files/0ccc57454a31b3c038b4b92d620f7f60/revista-semillas-22-23.pdf.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Bogotá, Colombia: 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*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Banco Interamericano de Desarrollo y Programa Cooperativo de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria para la Subregión Andina (1991). Experiencias en el cultivo de maíz en el área andina. Quito, Ecuador: Programa Cooperativo de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria para la Subregión Andina (Prociandino). Recuperado de http://hdl.handle.net/20.500.12324/34452

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Banco Interamericano de Desarrollo y Programa Cooperativo de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria para la Subregión Andina (1993). *Experiencias en el cultivo de maíz en el área andina*. Volumen II. Quito, Ecuador: Programa Cooperativo de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria para la Subregión Andina (Prociandino). Recuperado de http://hdl.handle.net/20.500.12324/34452

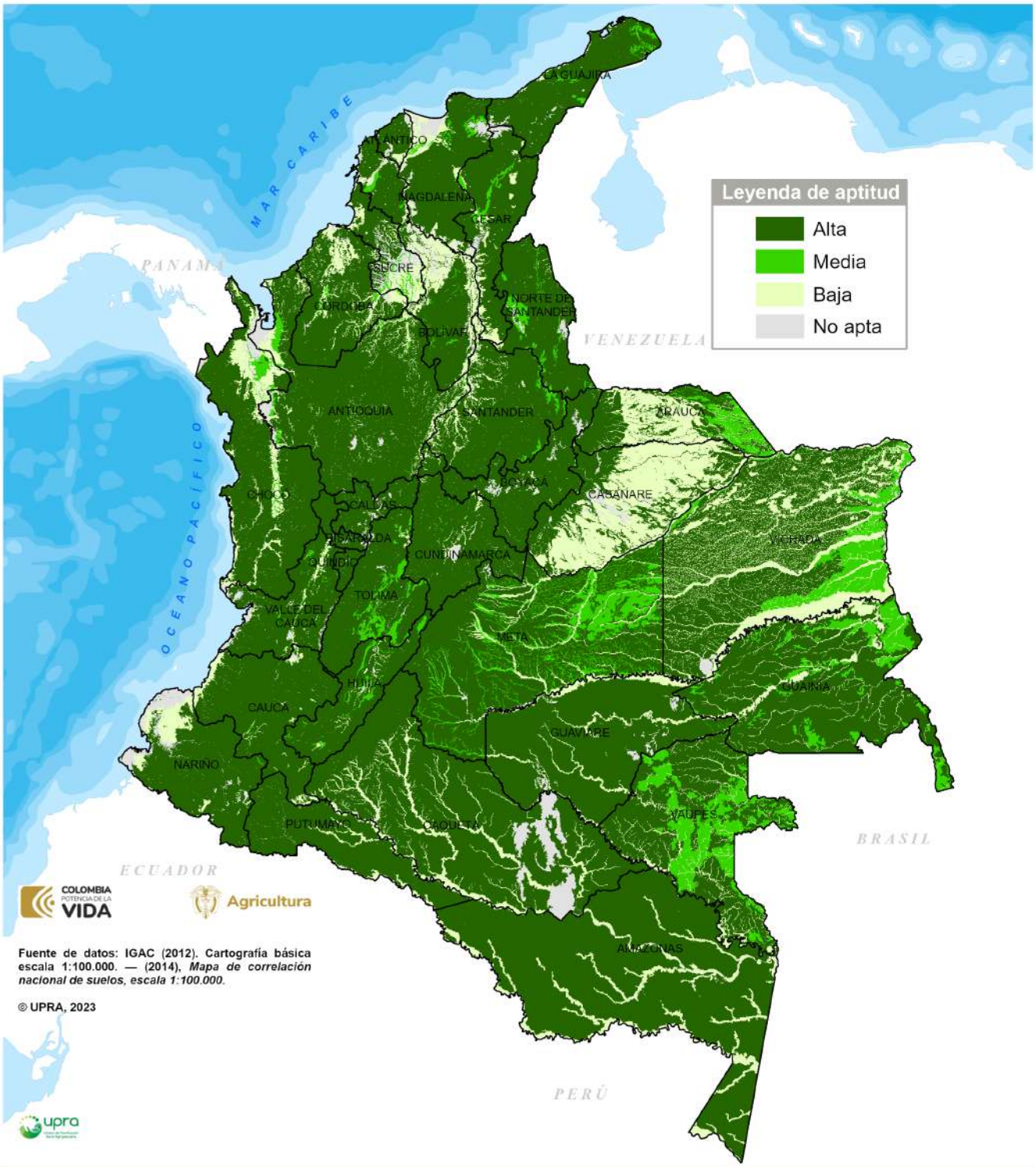
Klingebiel, A.A. & P.H. Montgomery (1961). *Land-capability classification: agriculture handbook n.° 210*. Washington, D.C., United States of America: United States Department of Agriculture (USDA), Soil Conservation Service.

Ospina, J.G. (2015). *Manual técnico del cultivo de maíz bajo buenas prácticas agrícolas*. Medellín, Colombia: Gobernación de Antioquia. Recuperado de https://n9.cl/ev5ny

Servicio Nacional de Sanidad Agraria del Perú (2020). *Guía para la implementación de buenas prácticas agrícolas (BPA) para el cultivo de maíz choclo*. Lima, Perú: Ministerio de Agricultura y Riego, Dirección de Insumos Agropecuarios e Inocuidad Agroalimentaria, Subdirección de Inocuidad Agroalimentaria. Recuperado de https://n9.cl/xzprl

Violic, A.D. (2001). Manejo integrado de cultivos. En Paliwal, R. L., Granados, G., Lafitte, H.R. y Violic, A.D. *El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción* (pp. 205-302). Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Recuperado de https://n9.cl/qr10u

Representación cartográfica de la variable



Criterio *disponibilidad de oxígeno*

Variable *drenaje natural*

1.7.2. Variable *susceptibilidad a inundaciones*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: físico. Subcomponente: edáfico		
Criterio asociado: *disponibilidad de oxígeno*		
Variable: *susceptibilidad a inundaciones*	Unidad de medida: clases por duración	
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, la acumulación de agua procedente de drenajes en zonas que normalmente no se encuentran anegadas (Organización Meteorológica Mundial [OMM] y Unesco, 2012).

Importancia de la variable

Las inundaciones suelen afectar 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 los encharcamientos depende de cada especie vegetal. Las plantas del maíz no toleran encharcamientos ni inundaciones por periodos prolongados, ya que se presentan significativas pérdidas económicas que van desde retrasos en el crecimiento, pérdida de vigor, daños por enfermedades y pudriciones radiculares, hasta la muerte de las plantas.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

No se consideraron tierras sin aptitud (N1), en las cuales se presentaron inundaciones, ya que donde ocurren, así sean largas o muy largas, estas tierras permiten al menos un cultivo en el año.

Limitantes de la evaluación de la variable

En la base de datos del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014), muchas unidades cartográficas no registran información sobre fase por inundación o encharcamiento. Por lo tanto, en la zonificación de aptitud para cultivos de maíz tradicional se incluyó el análisis a partir del régimen de humedad que proporcionan los nombres taxonómicos, sin pretender excluir el total de las zonas inundables, debido a que no se puede predecir la duración del evento que es la causante de los daños en los cultivos.

Metodología de procesamiento de la información

El IGAC (2010) clasifica las inundaciones y encharcamientos de acuerdo con la frecuencia en que ocurren y la duración, de la siguiente manera:

Clases por duración de las inundaciones o encharcamientos	
Clase	**Descripción**
Extremadamente corta	Menor de un 1 día
Muy corta	De 1 a 2 días
Corta	De 2 a 7 días
Larga	De 7 a 30 días
Muy larga	De 30 a 90 días
Extremadamente larga	De 90 a 180 días

Se tomó como base la duración de las inundaciones y encharcamientos del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014).

Rangos para la asignación de valores de aptitud

De acuerdo con las recomendaciones de manejo de los cultivos de maíz (IICA, BID y Prociandino, 1991; Deras, 2020; Ospina, 2015), las unidades cartográficas donde no se registra ocurrencia de inundaciones obtuvo una aptitud alta (A1); las inundaciones cortas, aptitud media (A2); las inundaciones largas y muy largas se incluyeron en el rango de aptitud baja (A3), como se registra en la siguiente tabla:

Rangos de aptitud	
Inundaciones	**Aptitud**
No hay	Alta (A1)
Cortas	Media (A2)
Largas y muy largas	Baja (A3)

Los rangos de aptitud de las variables se determinaron de acuerdo con las consultas al gremio (Fenalce) y a la literatura científica pertinente.

Unidad de análisis

Unidades cartográficas de suelos: asociaciones, consociaciones y complejos.

Fuentes de información

Deras, H. (2020). *Guía técnica: el cultivo del maíz*. San Salvador, El Salvador: IICA, PAF, CENTA, Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). Recuperado de https://n9.cl/1d2lc

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

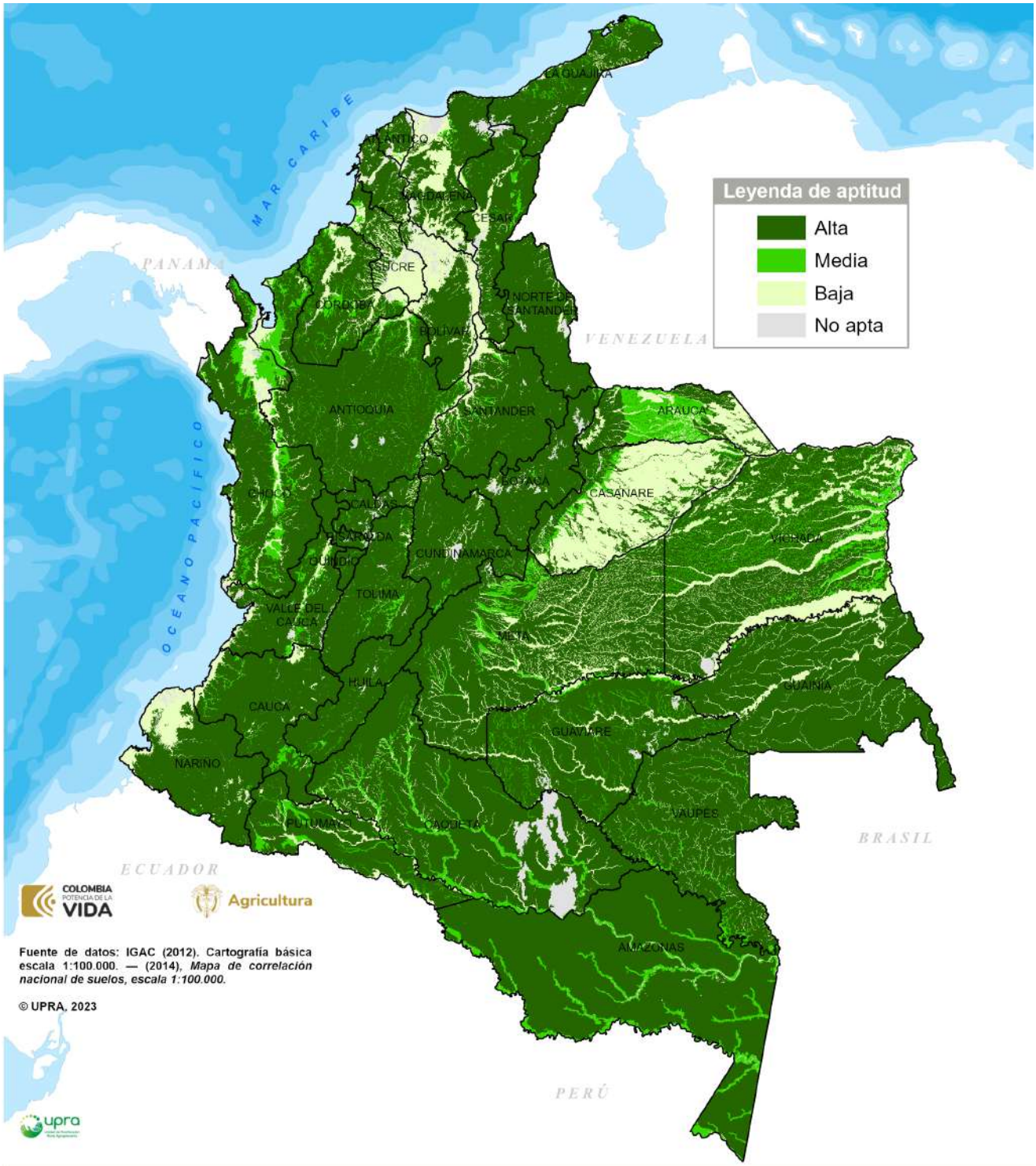
Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Banco Interamericano de Desarrollo y Programa Cooperativo de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria para la Subregión Andina (1991). Experiencias en el cultivo de maíz en el área andina. Quito, Ecuador: Programa Cooperativo de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria para la Subregión Andina (Prociandino). Recuperado de http://hdl.handle.net/20.500.12324/34452

Ospina, J.G. (2015). *Manual técnico del cultivo de maíz bajo buenas prácticas agrícolas*. Medellín, Colombia: Gobernación de Antioquia. Recuperado de https://n9.cl/ev5ny

Organización Meteorológica Mundial y Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2012). *Glosario hidrológico internacional*. Ginebra, Suiza: Organización Meteorológica Mundial (OMM). Recuperado de https://n9.cl/7k8qk

Representación cartográfica de la variable



Criterio *disponibilidad de oxígeno*
Variable *susceptibilidad e inundaciones*

1.8. Criterio *susceptibilidad fitosanitaria*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: físico. Subcomponente: climático		
Criterio asociado: *susceptibilidad fitosanitaria*		
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Variables asociadas al criterio

Temperatura media anual asociada al gusano cogollero.

Índice de disponibilidad de humedad del cultivo (IDHC) asociado al gusano cogollero.

Temperatura media anual asociada al complejo de la enfermedad denominada mancha de asfalto.

Humedad relativa media anual asociada al complejo mancha de asfalto.

Índice de disponibilidad de humedad del cultivo (IDHC) asociado a la mancha de asfalto.

Definición

Conjunto de condiciones ambientales que favorecen la presencia de plagas o enfermedades de importancia económica para el cultivo. Para el caso del cultivo de maíz tradicional, tales condiciones se asocian a la plaga llamada *gusano cogollero* (*Spodoptera frugiperda*) y a la enfermedad denominada *mancha de asfalto*, causada por el complejo *Phyllachora maydis*, *Monographella maydis* y *Coniothyrium phyllachorae*.

Importancia del criterio

El gusano cogollero del maíz: *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), constituye la plaga de mayor importancia en el cultivo de maíz. La especie está distribuida en todo el continente americano y parece ser de origen tropical, dada su mayor abundancia, adaptación y número de plantas hospedantes en el trópico. Por su parte, la mancha de asfalto es una enfermedad producida por la interacción sinérgica de tres hongos: *Phyllachora maydis*, *Monographella maydis* y *Coniothyrium phyllachorae*, que se alimentan de los azúcares de la planta hasta provocar la muerte de las hojas y, finalmente, de la planta.

Limitantes de la evaluación del criterio

Los organismos fitopatógenos responden a diversos estímulos o condiciones que hacen que su aparición y desarrollo biológico no estén enmarcados dentro de unas condiciones estrictas o constantes a lo largo del tiempo. Debido a esto, la generación de información sobre procesos epidemiológicos sólo puede analizarse dentro de un contexto de riesgo de aparición, desarrollo y daños. Dentro del análisis para generar la cartografía del cultivo en descripción, no se presentaron datos de monitoreo en campo de la plaga y la enfermedad; así mismo, no se encontraron modelos particulares (ecuaciones empíricas) para el país que relacionaran a través de métodos estocásticos o determinísticos a las variables ambientales con la enfermedad.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado

No se presentaron para este criterio valores de exclusión.

Metodología de procesamiento de la información

Mediante las referencias consultadas, se establecieron los rangos de aptitud por variable asociada, a saber: *temperatura media anual asociada a la plaga gusano cogollero*; *índice de disponibilidad de humedad del cultivo (IDHC) asociada a la plaga gusano cogollero*; *temperatura media anual asociada a la enfermedad mancha de asfalto*; *humedad relativa media anual asociada al complejo de la enfermedad denominada mancha de asfalto*; e *índice de disponibilidad de humedad del cultivo (IDHC) asociado a la enfermedad mancha de asfalto*. Acto seguido, se llevó a cabo una integración por árbol de decisión por plaga o enfermedad; finalmente, fueron integradas, como se muestra a continuación:

Árbol gusano cogollero

Temperatura media anual asociada al gusano cogollero (°C)	*Índice de disponibilidad de humedad del cultivo (IDHC) asociado al gusano cogollero*	Aptitud
A1	A1	A1
	A2	A1
	A3	A1
A2	A1	A1
	A2	A2
	A3	A2
A3	A1	A2

Árbol mancha de asfalto

Temperatura media anual asociada al complejo mancha de asfalto (°C)	*Índice de disponibilidad de humedad del cultivo (IDHC) asociado a la enfermedad mancha de asfalto*	*Humedad relativa media anual asociada a la mancha de asfalto (%)*	Aptitud
A1	A1	A1	A1
		A2	A1
		A3	A3
	A2	A1	A1
		A2	A2
		A3	A3
	A3	A1	A1

Árbol final

Árbol gusano cogollero	Árbol mancha de asfalto	Aptitud final
A1	A1	A1
	A2	A1
	A3	A3
A2	A1	A1
	A2	A2
	A3	A3
A3	A1	A2

	A2	A2
	A3	A3

		A2	A2
		A3	A3
A2	A1	A1	A1
		A2	A1
		A3	A2
	A2	A1	A1
		A2	A2
		A3	A3
	A3	A1	A2
		A2	A2
		A3	A3
A3	A1	A1	A1
		A2	A2
		A3	A3
	A2	A1	A2
		A2	A2
		A3	A3
	A3	A1	A2
		A2	A2
		A3	A3

	A2	A2
	A3	A3

Fuentes de información

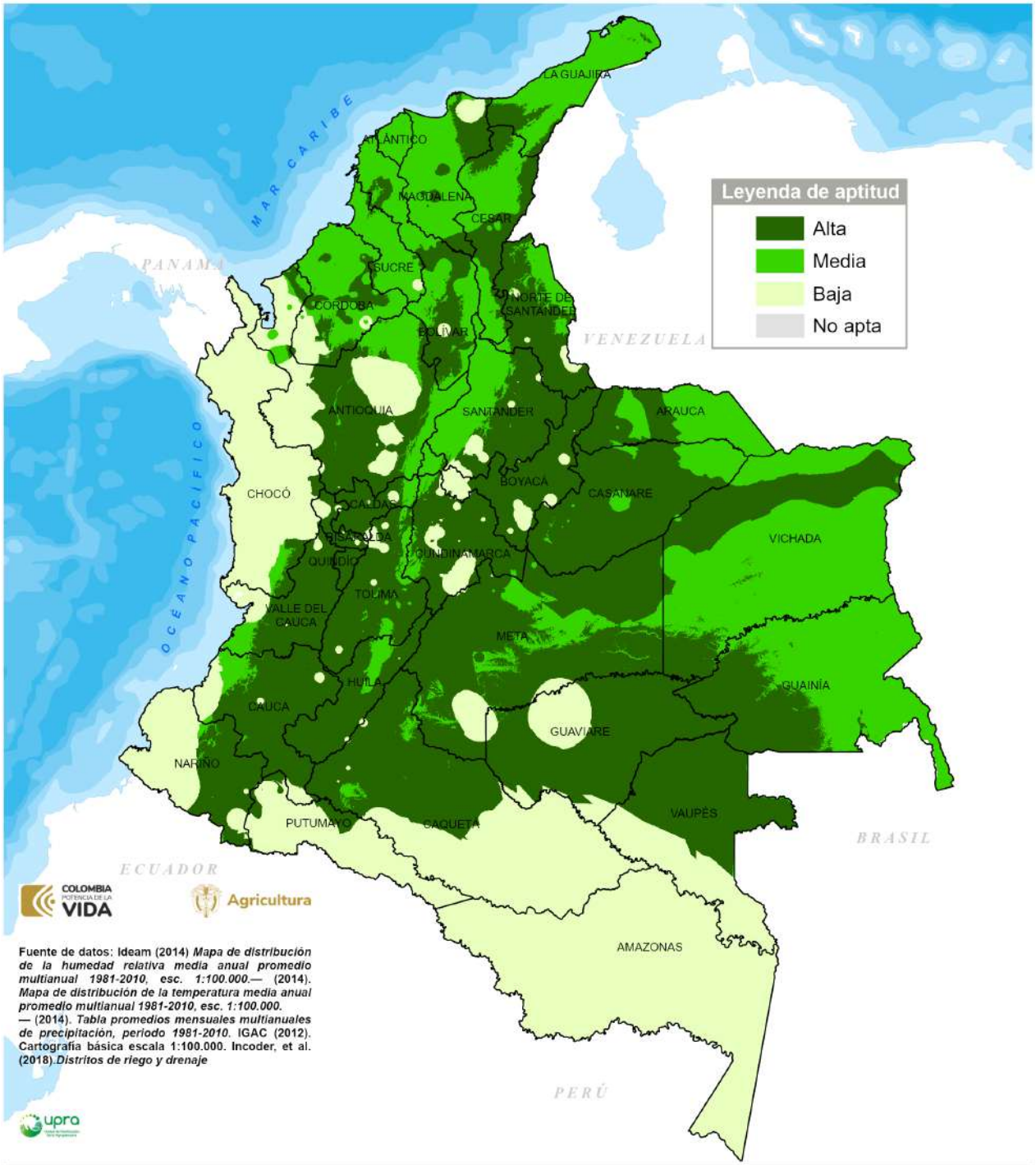
Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D, y Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos: estudio FAO riego y drenaje 56*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Recuperado de: https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf

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

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2010). *Mapa de humedad relativa media anual multianual de Colombia*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2014). *Base de datos de temperatura media mensual multianual, precipitación media mensual multianual, evapotranspiración de referencia mensual de Colombia para el período 1981-2010*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Representación cartográfica del criterio



Criterio *susceptibilidad fitosanitaria*

1.8.1. Variable *temperatura media anual asociada al gusano cogollero*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: físico. Subcomponente: fitosanitario		
Criterio asociado: *susceptibilidad fitosanitaria*		
Variable: *temperatura media anual asociada al gusano cogollero*	Unidad de medida: °C/año	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Medida del estado térmico del aire con respecto a su habilidad de transmitir calor alrededor. Depende de la latitud y de la altitud, y se toma como un índice de balance calórico, expresado en grados centígrados °C (Ideam, 2014). Las limitantes fitosanitarias (plagas y enfermedades) presentan una estrecha relación con la temperatura del ambiente. Generalmente, con el aumento de la temperatura y dentro de un rango, los ciclos de los organismos plaga se aceleran, mientras que para las enfermedades son menos severas.

Importancia de la variable

La temperatura del aire ejerce un efecto directo sobre el crecimiento y desarrollo de las plagas y enfermedades que afectan a los cultivos. La velocidad de crecimiento de estos organismos está limitada por un rango de temperatura, que comprende los valores máximos y mínimos, fuera de los cuales su aparición, crecimiento y desarrollo se detiene o se disminuye notablemente. Entre estos dos valores se encuentra el óptimo. La modificación de la temperatura puede llegar a alterar la interacción entre las plagas, sus enemigos naturales y el cultivo. La temperatura se relaciona directamente con la aparición y presencia de organismos fitopatógenos, de modo que, a mayor temperatura, mayor es el crecimiento y desarrollo de insectos fitopatógenos, lo cual, al agilizar el metabolismo y acortar los ciclos de vida, se refleja en incrementos de población. En el caso de las enfermedades, la temperatura desempeña un papel determinante en la creación de ambientes que favorecen la presencia de hongos fitopatógenos, que, en presencia de altos niveles de humedad relativa y precipitación, favorecen la prevalencia de la mayoría de enfermedades.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

No hubo rangos de exclusión técnica (N1) para la variable, debido a que debido a que los niveles de prevalencia de los patógenos pueden variar con el manejo y con el control fitosanitario. Cabe destacar que las plagas y enfermedades priorizadas se trataron de manera independiente, dadas las diferencias en sus rangos de adaptación. De tal forma, se estableció para la variable los siguientes rangos de aptitud:

Variable	Aptitud			
	A1	A2	A3	N1
Temperatura media anual asociada al gusano cogollero (°C)	>22	22-26	>26	—

Limitantes de la evaluación de la variable

No existen ecuaciones empíricas que correlacionen la variable con la plaga, por lo cual se construyeron rangos a partir de las referencias bibliográficas.

Metodología de procesamiento de la información

Unidades térmicas media tomadas del mapa de isotermas anuales elaborado por el Ideam en el 2014, basado en la serie histórica 1981-2010. Se realizó un ejercicio de delimitación espacial, de acuerdo con los rangos establecidos por el equipo profesional de trabajo del componente físico, actividad que fue soportada por el grupo de las TIC de la UPRA.

Unidad de análisis

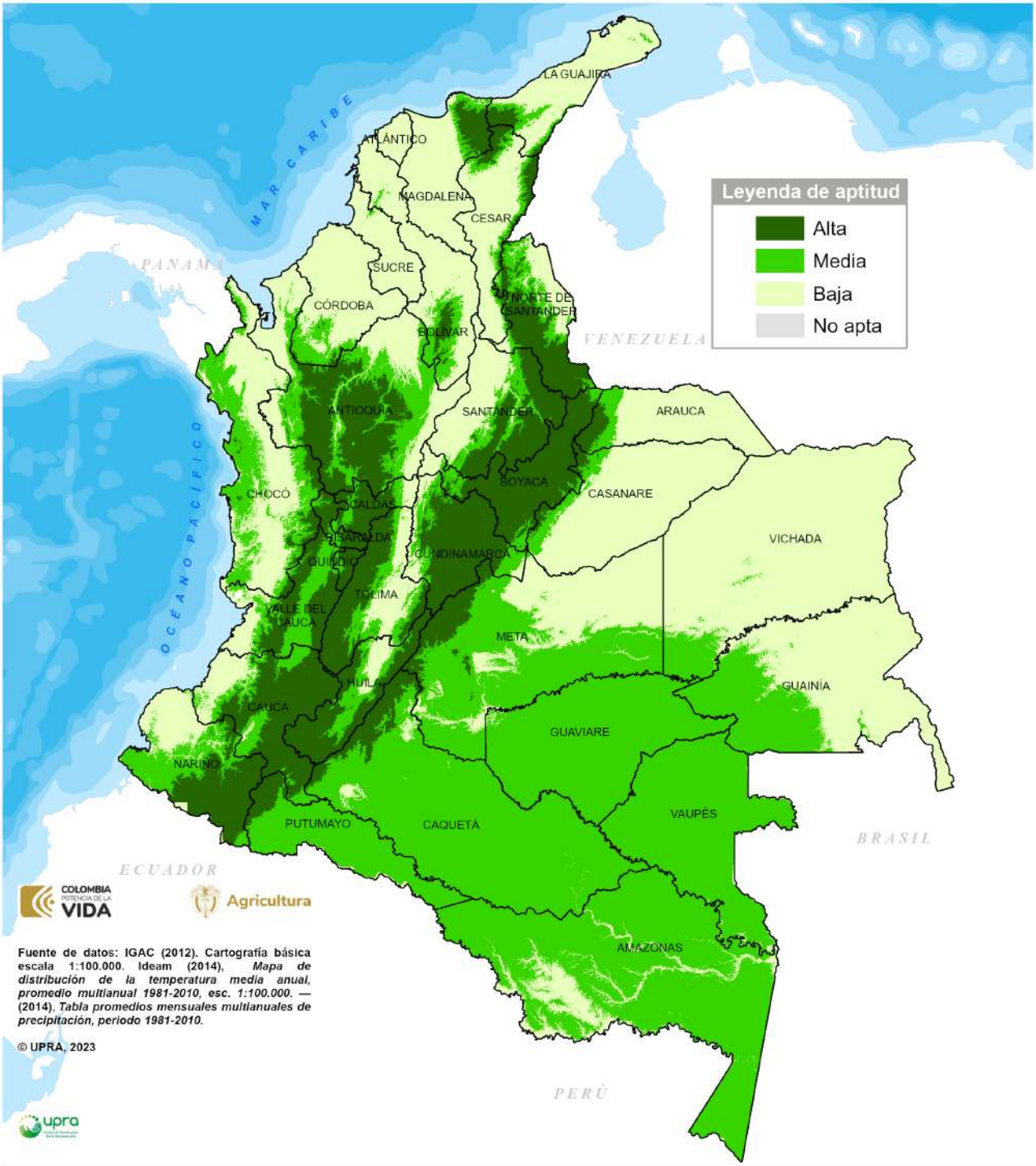
Isotermas

Fuentes de información

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2014). *Mapa de distribución de la temperatura media anual, promedio multianual 1981-2010, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: 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).

Representación cartográfica de la variable



Criterio *susceptibilidad fitosanitaria*

Variable *temperatura media anual asociada al gusano cogollero*

1.8.2. Variable *índice de disponibilidad de humedad del cultivo (IDHC) asociado al gusano cogollero*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: físico. Subcomponente: fitosanitario		
Criterio asociado: *susceptibilidad fitosanitaria*		
Variable: *índice de disponibilidad de humedad del cultivo (IDHC) asociado al gusano cogollero*	Unidad de medida: cualitativa	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Índice que estima el nivel de humedad climática mediante la relación mensual entre la precipitación total y la evapotranspiración del cultivo. El índice se lleva a una medida de tendencia anual y se expresa en valores que oscilan entre 0 y 1. Para el caso del cultivo del maíz tradicional, se asoció al potencial de oferta de follaje del cultivo de maíz para el gusano cogollero.

Importancia de la variable

El gusano cogollero del maíz: *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), constituye la plaga de mayor importancia en el cultivo de maíz. Esta especie está distribuida en todo el continente americano y parece ser de origen tropical, dada su mayor abundancia, adaptación y número de plantas hospedantes en el trópico.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

Se establecieron para la variable los siguientes rangos de aptitud:

Variable	Aptitud			
	A1	A2	A3	N1
Índice de disponibilidad de humedad del cultivo (IDHC) asociado al gusano cogollero	>0,8	0,75-0,8	<0,75	—

Limitantes de la evaluación de la variable

No existen ecuaciones empíricas que correlacionen la variable (o variables relacionadas) con la plaga, por lo cual se construyeron rangos a partir de las referencias bibliográficas.

Metodología de procesamiento de la información

El procesamiento de esta variable se realizó en un sistema de información geográfico mediante mapas *raster* de precipitación, evapotranspiración de referencia y evapotranspiración del cultivo mes a mes, a partir de los siguientes cálculos *raster*. El índice de disponibilidad de humedad para el cultivo (IDHC) de maíz tradicional se calculó en función de la siguiente ecuación:

$$IDHC = [(ETa_{ene}/ETc_{ene})+(ETa_{feb}/ETc_{feb}) \ldots\ldots\ldots (ETa_{dic}/ETc_{dic})]/12$$

$$ETa = ETc, \text{ cuando } P \geq ETc \text{ y } ETa = P, \text{ cuando } P < ETc$$

donde

P = precipitación mensual multianual;

ETc = evapotranspiración del cultivo mensual bajo condiciones estándar;

ETa = la evapotranspiración actual que se refiere a la cantidad de agua que suministra la precipitación en dicho mes y es evapotranspirada, datos anteriores generados a partir de la normal climatológica 1981-2010. Por su parte, la evapotranspiración del cultivo (*ETc*) fue la siguiente:

$$ETc = Kc * ETo$$

donde

Kc = coeficiente hídrico del cultivo de maíz tradicional (0,90);

ETo = evapotranspiración de referencia mensual: demanda de evapotranspiración de la atmósfera en función de un cultivo de referencia, específicamente, pasto con una altura de 0,12 metros, resistencia superficial de 70sm^{-1} y un albedo de 0,23. Una vez calculados los valores de IDHC mensuales multianuales de enero a diciembre, fueron llevados a un promedio anual.

Unidad de análisis

Isolíneas de IDHC.

Fuentes de información

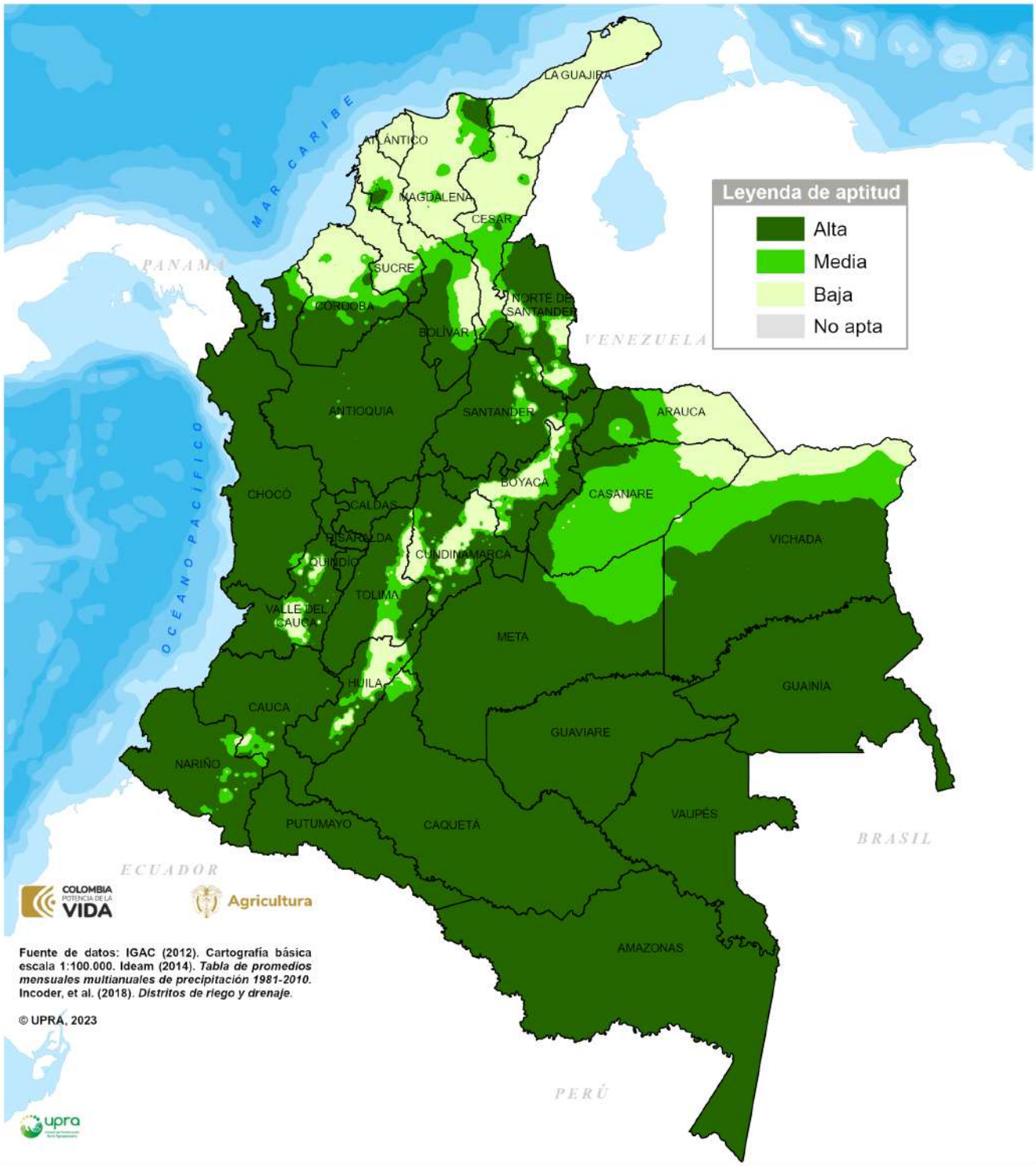
Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D, y Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos: estudio FAO riego y drenaje 56*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Recuperado de: https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf

Campos, D. (2005). *Agroclimatología cuantitativa de cultivos*. México, D.F.: Trillas. Recuperado de: https://n9.cl/vo4jz

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2014a). *Tabla de promedios mensuales multianuales de precipitación, periodo 1981-2010*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2014b). *Base de datos de temperatura media mensual multianual, precipitación media mensual multianual, evapotranspiración de referencia mensual de Colombia para el período 1981-2010*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Representación cartográfica de la variable



Criterio *susceptibilidad fitosanitaria*

Variable *Índice de disponibilidad de humedad del cultivo (IDHC) asociado al gusano cogollero*

1.8.3. Variable *temperatura media anual asociada al complejo de asfalto*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: físico. Subcomponente: fitosanitario		
Criterio asociado: *susceptibilidad fitosanitaria*		
Variable: *temperatura media anual asociada al complejo de asfalto*	Unidad de medida: °C/año	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Medida del estado térmico del aire con respecto a su habilidad de transmitir calor alrededor. Depende de la latitud y de la altitud, y se toma como un índice de balance calórico, expresado en grados centígrados °C (Ideam, 2014). Para el caso del cultivo del maíz tradicional, tiene efecto sobre el potencial de aparición, incidencia y severidad de la enfermedad denominada *mancha de asfalto* por el complejo de hongos *Phyllachora maydis, Monographella maydis y Coniothyrium phyllachorae*.

Importancia de la variable

La temperatura desempeña un papel determinante en la creación de ambientes que favorecen la aparición de hongos fitopatógenos, los cuales, en presencia de altos niveles de humedad relativa y precipitación, favorecen la prevalencia de la mayoría de enfermedades.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

Se establecieron para la variable los siguientes rangos de aptitud:

Variable	Aptitud			
	A1	A2	A3	N1
Temperatura media anual al complejo de asfalto (°C)	<22	22-28	>28	—

Limitantes de la evaluación de la variable

No existen ecuaciones empíricas que correlacionen la variable con la plaga, por lo cual se construyeron rangos a partir de las referencias bibliográficas.

Metodología de procesamiento de la información

Unidades térmicas medias tomadas del mapa de isotermas anuales, elaborado por el Ideam en el año 2014, basado en la serie histórica 1981-2010. Se realizó un ejercicio de delimitación espacial de acuerdo con los rangos establecidos por el equipo profesional de trabajo del componente físico, actividad que fue soportada por el grupo de las TIC de la UPRA.

Unidad de análisis

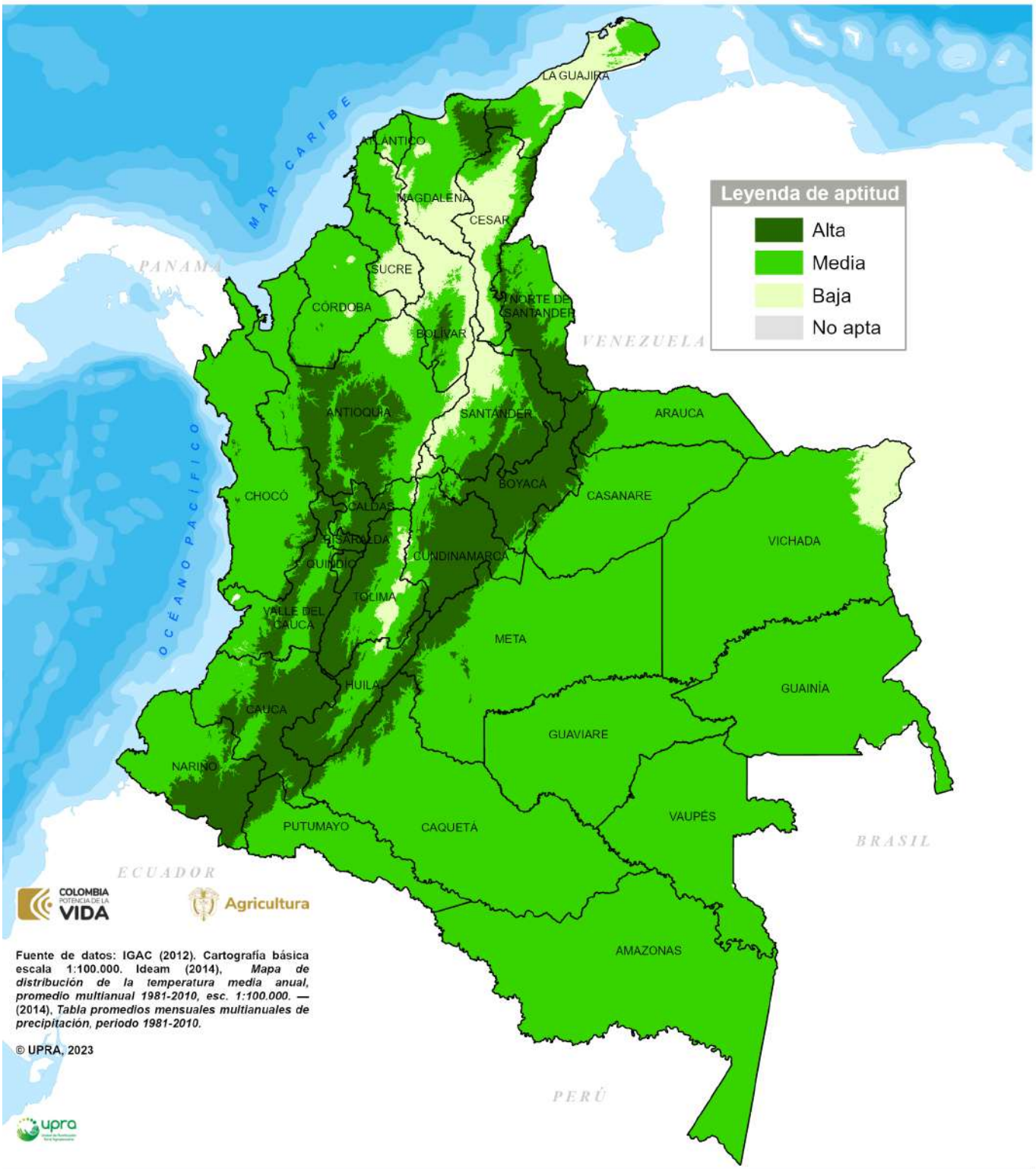
Isotermas.

Fuentes de información

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2014). *Mapa de distribución de la temperatura media anual, promedio multianual 1981-2010, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: 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).

Representación cartográfica de la variable



Criterio *susceptibilidad fitosanitaria*

Variable *temperatura media anual asociada al complejo mancha de asfalto*

1.8.4. Variable *humedad relativa media anual asociada al complejo de asfalto*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: físico. Subcomponente: fitosanitario		
Criterio asociado: *susceptibilidad fitosanitaria*		
Variable: *humedad relativa media anual asociada al complejo mancha de asfalto*	Unidad de medida: %	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Relación entre la presión parcial del vapor de agua y la presión de vapor de equilibrio del agua a una temperatura dada (Ideam, 2019). Para el caso del cultivo del maíz tradicional, tiene un efecto sobre el potencial de aparición, incidencia y severidad de la enfermedad denominada *mancha de asfalto* por el complejo de hongos *Phyllachora maydis, Monographella maydis y Coniothyrium phyllachorae*.

Importancia de la variable

La enfermedad mancha de asfalto, causada por el complejo de hongos *Phyllachora maydis, Monographella maydis y Coniothyrium phyllachorae*, se constituye como la enfermedad de mayor importancia en el cultivo del maíz. Las condiciones de alta humedad relativa favorecen la incidencia y severidad de la enfermedad; mientras que las condiciones de baja humedad relativa atenúan el daño.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

Se establecieron para la variable los siguientes rangos de aptitud:

Variable	Aptitud			
	A1	A2	A3	N1
Humedad relativa media anual asociada al complejo mancha de asfalto	<80	80-85	>85	—

Limitantes de la evaluación de la variable

No existen ecuaciones empíricas que correlacionen la variable con la plaga, por lo cual se construyeron rangos a partir de las referencias bibliográficas.

Metodología de procesamiento de la información

Mapa de humedad relativa media anual elaborado por el Ideam en el año 2014 a escala 1:100.000, basado en la serie histórica 1981-2010. Se realizó un ejercicio de delimitación espacial de acuerdo con los rangos establecidos por el equipo profesional de trabajo del componente físico, actividad que fue soportada por el grupo de las TIC de la UPRA.

Unidad de análisis

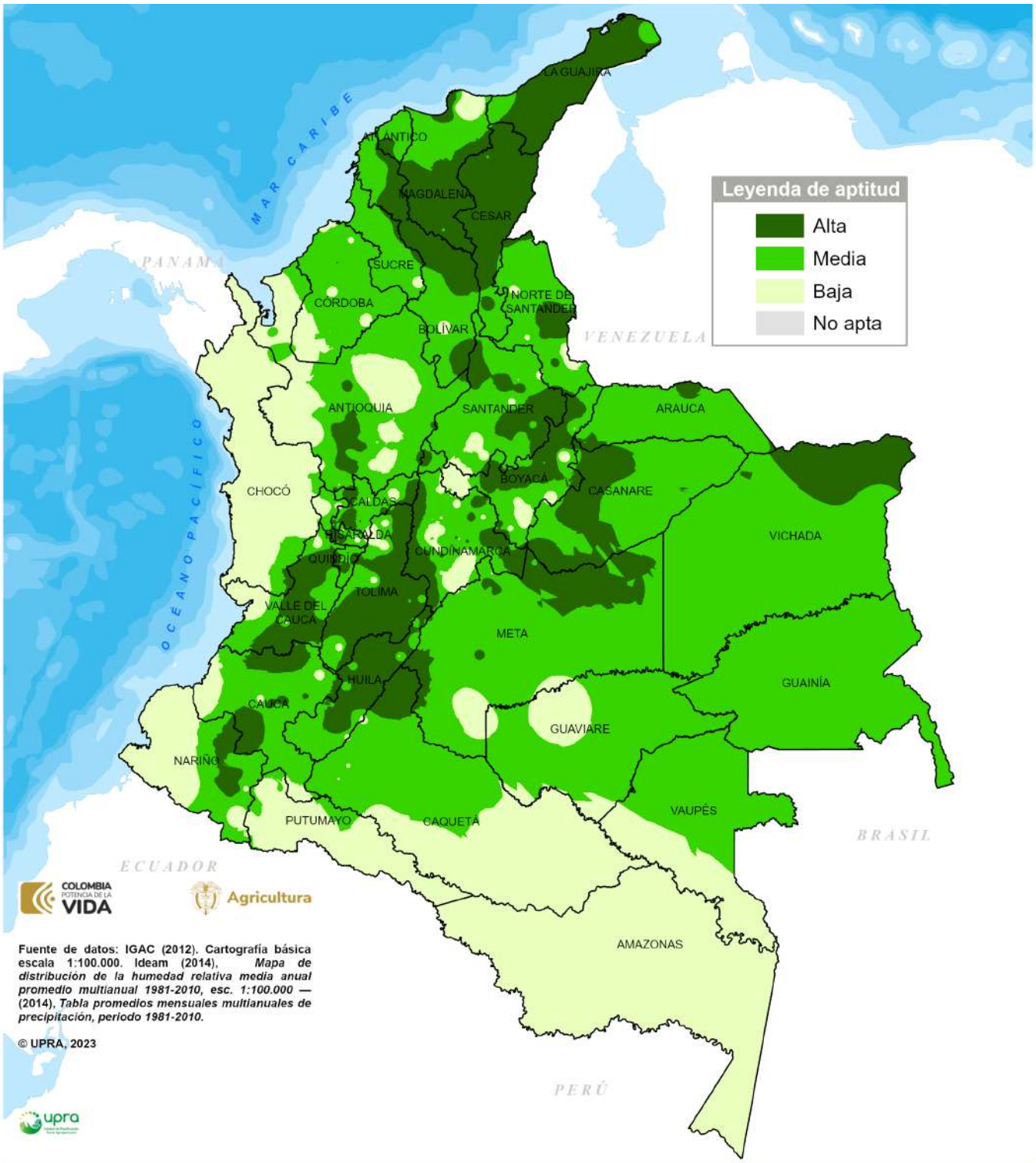
Isotermas.

Fuentes de información

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2014). *Mapa de distribución de la temperatura media anual, promedio multianual 1981-2010, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: 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).

Representación cartográfica de la variable



Criterio *susceptibilidad fitosanitaria*

Variable *humedad relativa media anual asociada al complejo mancha de asfalto*

1.8.5. Variable *índice de disponibilidad de humedad del cultivo (IDHC) asociado a la mancha de asfalto*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: físico. Subcomponente: fitosanitario		
Criterio asociado: *susceptibilidad fitosanitaria*		
Variable: *índice de disponibilidad de humedad del cultivo (IDHC) asociado a la mancha de asfalto*	Unidad de medida: cualitativa	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Índice que estima el nivel de humedad pluvial mediante la relación mensual entre la precipitación total y la evapotranspiración del cultivo. El índice es llevado a una medida de tendencia anual, expresado en valores que oscilan entre 0 y 1, el cual, para el caso del cultivo del maíz tradicional, tiene un efecto sobre el potencial de aparición, incidencia y severidad de la enfermedad mancha de asfalto por el complejo de hongos *Phyllachora maydis*, *Monographella maydis y Coniothyrium phyllachorae*.

Importancia de la variable

La enfermedad mancha de asfalto, causada por el complejo de hongos *Phyllachora maydis*, *Monographella maydis y Coniothyrium phyllachorae*, se constituye como la enfermedad de mayor importancia en el cultivo del maíz.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

Se establecieron para la variable los siguientes rangos de aptitud:

Variable	Aptitud			
	A1	A2	A3	N1
Índice de disponibilidad de humedad del cultivo (IDHC) asociado a la mancha de asfalto (%)	<0,8	0,8-0,9	>0,9	—

Limitantes de la evaluación de la variable

No existen ecuaciones empíricas que correlacionen la variable con la plaga, por lo cual se construyeron rangos a partir de las referencias bibliográficas.

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, mediante los siguientes cálculos *raster*. El índice de disponibilidad de humedad para el cultivo del maíz (IDHC) se calculó en función de la siguiente ecuación:

$$IDHC = [(ETa_{ene}/ETc_{ene})+(ETa_{feb}/ETc_{feb}) \ldots\ldots\ldots (ETa_{dic}/ETc_{dic})]/12$$

$$ETa = ETc, \text{ cuando } P \geq ETc \text{ y } ETa = P, \text{ cuando } P < ETc$$

donde

P = precipitación mensual multianual;

ETc = evapotranspiración del cultivo mensual bajo condiciones estándar;

ETa = evapotranspiración actual, la cual se refiere a la cantidad de agua que suministra la precipitación en dicho mes y es evapotranspirada. Los datos anteriores se generaron a partir de la normal climatológica en el periodo 1981-2010. Por su parte, la evapotranspiración del cultivo (*ETc*) fue

$$ETc = Kc * ETo$$

donde

Kc = coeficiente hídrico del cultivo de maíz tradicional (0,90);

ETo = evapotranspiración de referencia mensual: demanda de evapotranspiración de la atmósfera en función de un cultivo de referencia, específicamente, pasto con una altura de 0,12 metros de resistencia superficial de $70 sm^{-1}$ y un albedo de 0,23. Una vez calculados los valores de IDHC mensuales multianuales desde enero hasta diciembre, se llevan a un promedio anual.

Unidad de análisis

Isotermas de IDHC.

Fuentes de información

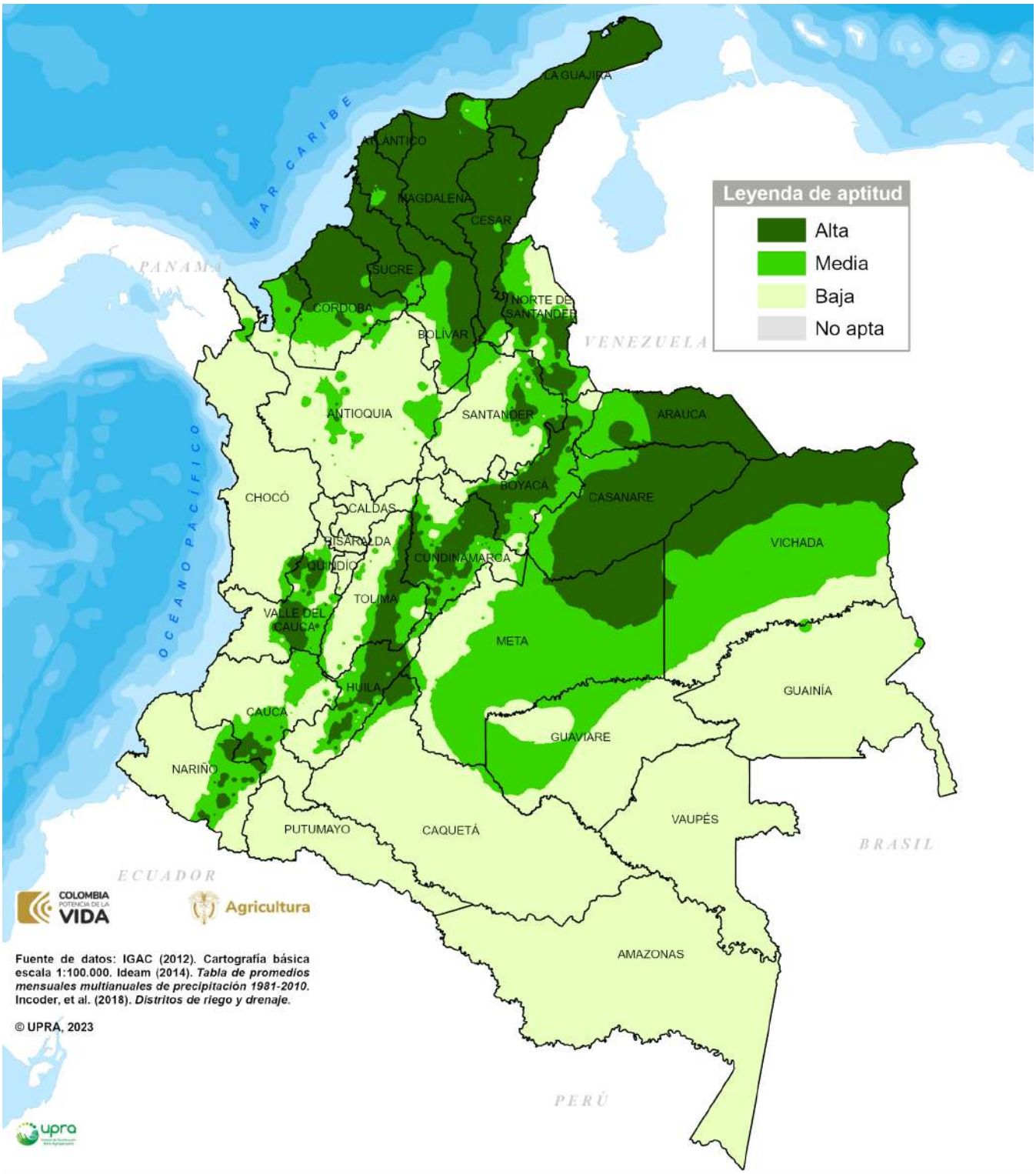
Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D, y Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos: estudio FAO riego y drenaje 56*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Recuperado de: https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf

Campos, D. (2005). *Agroclimatología cuantitativa de cultivos*. México, D.F.: Trillas. Recuperado de: https://n9.cl/vo4jz

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2014a). *Tabla de promedios mensuales multianuales de precipitación, periodo 1981-2010*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2014b). *Base de datos de temperatura media mensual multianual, precipitación media mensual multianual, evapotranspiración de referencia mensual de Colombia para el período 1981-2010*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Representación cartográfica de la variable



Criterio *susceptibilidad fitosanitaria*

Variable *índice de disponibilidad de humedad del cultivo (IDHC) asociado a la mancha de asfalto*

1.9. Criterio *capacidad de laboreo*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: físico. Subcomponente: edáfico		
Criterio asociado: *capacidad de laboreo*		
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	✓
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Variables asociadas al criterio

Pendiente, expresada en fases de pedregosidad (%).

Textura, expresada en clases texturales.

Pedregosidad, expresada como fase cartográfica de pedregosidad.

Definición

La labranza puede ser definida como la manipulación química, física o biológica de los suelos para optimizar la germinación, la emergencia de las plántulas y el establecimiento de un cultivo dado. Hoy en día, esta definición incluye todas las operaciones involucradas en la producción de un cultivo, como el corte o triturado de los residuos; la siembra; la aplicación de pesticidas y fertilizantes; y la cosecha, aun cuando el suelo no sea labrado, lo cual tendrá una marcada influencia en la condición del suelo (Siemens, Dickey & Threadgill, 1992; Violic, 2001).

Importancia del criterio

Incide en la realización de las diversas labores culturales, tanto manuales como mecanizadas, que abarcan la preparación del lote, la siembra, la aplicación de plaguicidas, las fertilizaciones y la cosecha, entre otras.

Limitantes de la evaluación del criterio

La mayoría de las unidades cartográficas de suelos a escala 1:100.000 son asociaciones, en las cuales, para cada una de las 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 de aptitud diferentes al componente calificado.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado

Se consideró que en pendientes mayores al 75 % no es viable el establecimiento de cultivos de maíz tradicional, ya que dificultan las labores manuales e impiden las que tiene que ver con el uso de la maquinaria.

Metodología de procesamiento de la información

Los datos para las tres variables que conformaron este criterio se obtuvieron de la información del mapa nacional de correlación de suelos (IGAC, 2014), el cual correspondió a los límites de variación de la pendiente, la fase de pedregosidad y las clases texturales, como se puede observar a continuación:

Rangos de las variables					
Variable	Unidad de medida	Aptitud			
		Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	No apta (N1)
Pendiente	Porcentaje (%)	≤25	25-50	50-75	>75
Textura	Clases de texturas	F, FL, FA, FArA, FArL, FAr	ArA, ArL, L (oxisoles, ultisoles, subgrupos *oxic*, arcillosos)	A, AF, Ar	—
Pedregosidad	Fase cartográfica	Sin fase de pedregosidad	Con fase de pedregosidad	—	—

Los rangos de aptitud de las variables se establecieron de acuerdo con las consultas al gremio (Fenalce) y a la literatura científica pertinente.

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 mediante un árbol de decisión. Los suelos clasificados como *oxisoles*, *ultisoles* y los subgrupos *oxic* tuvieron una calificación de A2, ya que, al contener arcillas de relación 1:1 y óxidos de hierro y aluminio, son menos pegajosos y el laboreo se efectúa de forma más satisfactoria.

El argumento para discriminar los diferentes niveles de aptitud se asoció a la limitación que cada una de las variables representa en el manejo de los suelos, ya que reduce las posibilidades de buena preparación del suelo y, por lo tanto, genera cultivos con deficiencias en el desarrollo y con dificultades para las labores culturales (ver siguiente tabla).

Árbol de decisión del criterio			
Pendiente	**Pedregosidad**	**Textura**	**Aptitud**
≤25	Sin fase de pedregosidad	F, FL, FA, FArA, FArL, FAr	A1
		ArA, ArL, L	A1
		A, AF, Ar	A3
	Con fase de pedregosidad	Cualquiera	A2
25-50	Sin fase de pedregosidad	F, FL, FA, FArA, FArL, FAr	A2
		ArA, ArL, L	A2
		A, AF, Ar	A3
	Con fase de pedregosidad	Cualquiera	A2
50-75	Sin fase de pedregosidad	F, FL, FA, FArA, FArL, FAr	A3
		ArA, ArL, L	A3
		A, AF, Ar	A3
	Con fase de pedregosidad	Cualquiera	A3
>75	Cualquiera	Cualquiera	N1

Fuentes de información

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

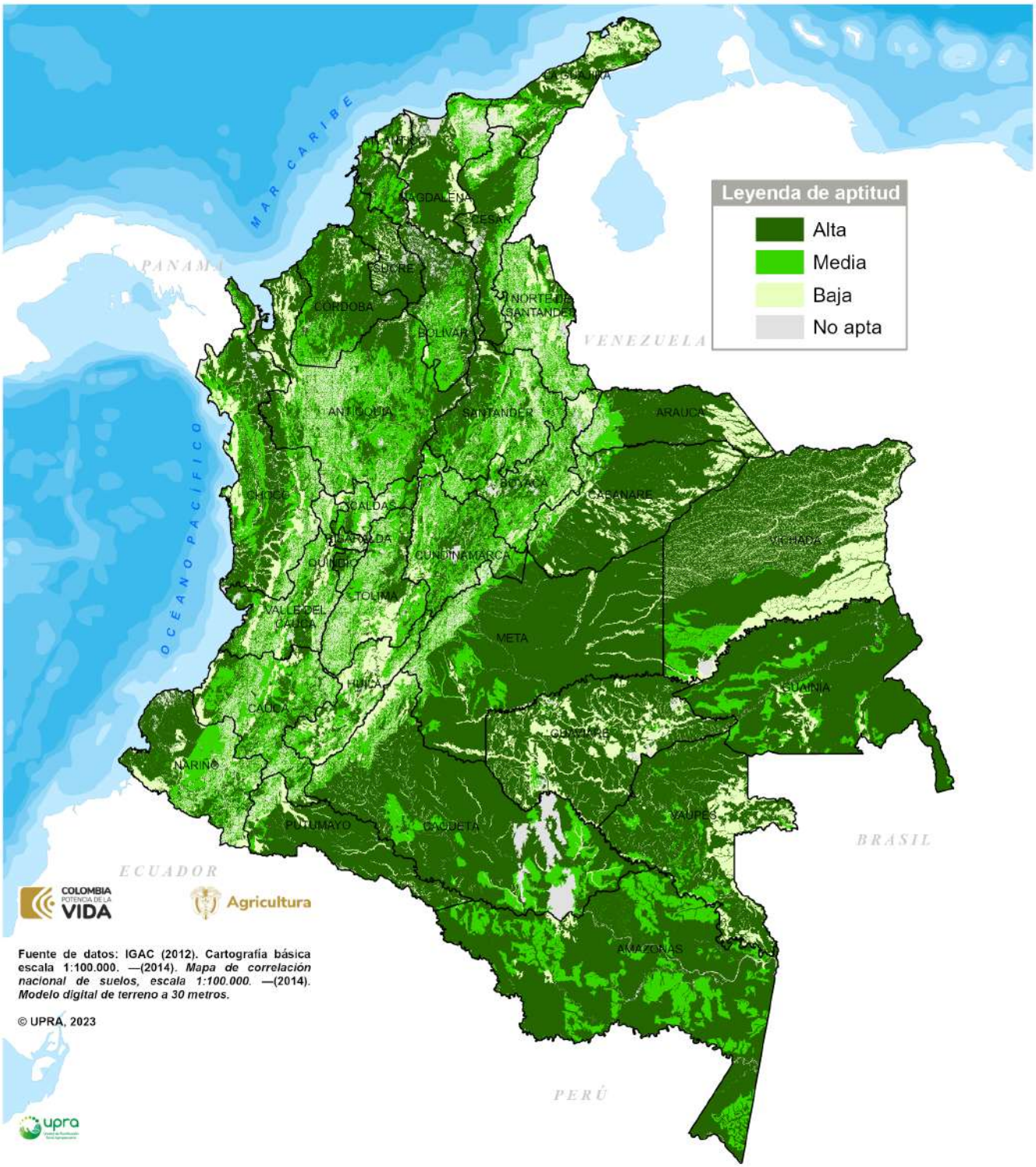
Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Siemens, J.C., Dickey, E.C., & Threadgill, E.D. (1992). Definitions of tillage systems for corn. *Biological Systems Engineering* (246), 1-4. Recuperado de https://n9.cl/1q9lp

Violic, A.D. (2001). Manejo integrado de cultivos. En Paliwal, R. L., Granados, G., Lafitte, H.R. y Violic, A.D. *El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción* (pp. 205-302). Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Recuperado de https://n9.cl/qr10u

Representación cartográfica del criterio



Criterio *capacidad de laboreo*

1.9.1. Variable *pendiente*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: físico. Subcomponente: edáfico		
Criterio asociado: *capacidad de laboreo*		
Variable: *pendiente*	Unidad de medida: fases de pedregosidad	
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

Afecta directamente la movilidad y eficiencia en la adecuación, preparación, siembra, mantenimiento y cosecha del maíz. El desempeño de los tractores que usan implementos permite trabajar sin dificultad en pendientes de hasta del 12 %. De aquí en adelante, a medida que aumenta la inclinación del terreno se dificultan las prácticas culturales tanto para el establecimiento como para el mantenimiento y cosecha.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

Se consideró que la pendiente no fue *apta* (N1) para los cultivos de maíz cuando al ser mayor al 75 %.

Limitantes de la evaluación de la variable

El uso de las fases cartográficas por pendiente a la escala 1:100.000 implicó que, en un polígono determinado, se encontraran áreas pequeñas que pudieran tener mayor o menor pendiente a la dominante, las cuales indicaron diferencias en el manejo del suelo.

Metodología de procesamiento de la información

La forma y la gradiente de la pendiente se manejaron de acuerdo con los rangos adoptados por el IGAC (2010), como se registra en 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 consistió en el uso de las fases de pendiente hasta del 75 % del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014). De aquí en adelante, se utilizaron los mismos rangos, pero originados del modelo de elevación (DEM) de 30 metros.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

Basados en los rangos considerados (IICA, BID y Prociandino, 1991; Violic, 2001; Ospina, 2015; Deras, 2020; Senasa, 2020;), se establecieron los rangos de calificación de esta variable a partir de los datos de laboratorio que aparecen en los perfiles modales valorados en la base de datos, como se puede consultar en la siguiente tabla:

Pendiente (%)	Aptitud
≤25	Alta (A1)
25-50	Media (A2)
50-75	Baja (A3)
>75	No apta (N1)

Los rangos de aptitud se determinaron de acuerdo con las consultas al gremio de los productores (Fenalce) y a la literatura científica pertinente.

Unidad de análisis

Unidades cartográficas de suelos: asociaciones, consociaciones y complejos.

Fuentes de información

Deras, H. (2020). *Guía técnica: el cultivo del maíz*. San Salvador, El Salvador: IICA, PAF, CENTA, Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). Recuperado de https://n9.cl/1d2lc

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Bogotá, Colombia: 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*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Banco Interamericano de Desarrollo y Programa Cooperativo de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria para la Subregión Andina (1991). Experiencias en el cultivo de maíz en el área andina. Quito, Ecuador: Programa Cooperativo de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria para la Subregión Andina (Prociandino). Recuperado de http://hdl.handle.net/20.500.12324/34452

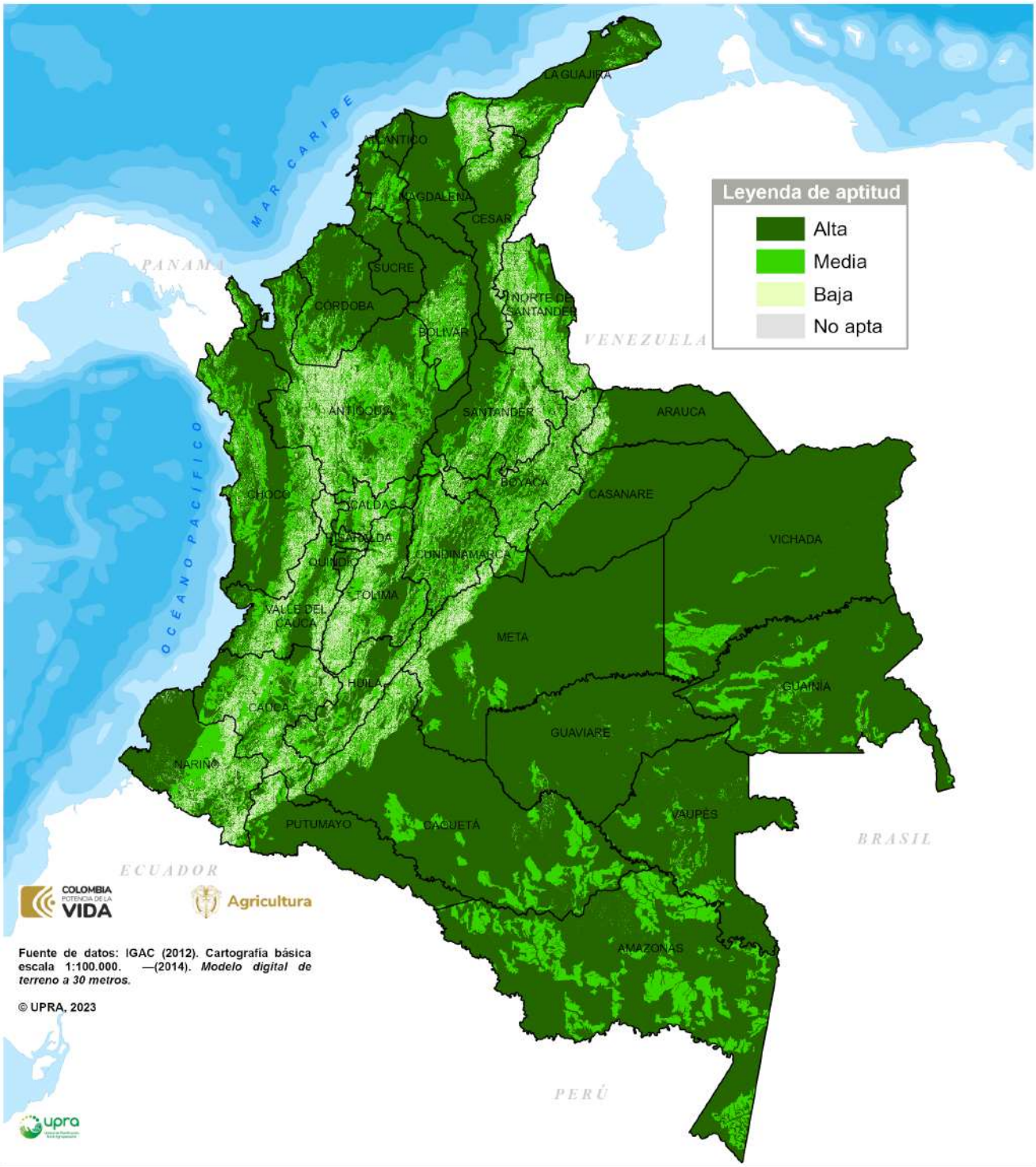
Ospina, J.G. (2015). *Manual técnico del cultivo de maíz bajo buenas prácticas agrícolas*. Medellín, Colombia: Gobernación de Antioquia. Recuperado de https://n9.cl/ev5ny

Servicio Nacional de Sanidad Agraria del Perú (2020). *Guía para la implementación de buenas prácticas agrícolas (BPA) para el cultivo de maíz choclo*. Lima, Perú: Ministerio de Agricultura y Riego, Dirección de Insumos Agropecuarios e Inocuidad Agroalimentaria, Subdirección de Inocuidad Agroalimentaria. Recuperado de https://n9.cl/xzprl

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

Violic, A.D. (2001). Manejo integrado de cultivos. En Paliwal, R. L., Granados, G., Lafitte, H.R. y Violic, A.D. *El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción* (pp. 205-302). Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Recuperado de https://n9.cl/qr10u

Representación cartográfica de la variable



Criterio *capacidad de laboreo*
Variable *pendiente*

1.9.2. Variable *textura*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: físico. Subcomponente: edáfico		
Criterio asociado: *capacidad de laboreo*		
Variable: *textura*	Unidad de medida: cualitativa (clase de textura)	
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 un diámetro inferior a dos milímetros (Malagón y Montenegro, 1990).

Importancia de la variable

Se relaciona con la *consistencia*, la cual determina la resistencia del suelo a su ruptura y deformación en los estados de humedad, que 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 presentan la relación 2:1). En otras palabras: 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 diferentes grados de dificultad para el movimiento del suelo, para el uso de implementos manuales o de maquinaria, no se excluyó alguna clase textural.

Limitantes de la evaluación de la variable

La mayoría de las unidades cartográficas de suelos en los estudios generales representan asociaciones o complejos de suelos, lo cual dificulta la calificación, ya que el criterio utilizado es la dominancia de la clase textural en los horizontes superficiales del mayor componente de la unidad. Por lo tanto, es posible tener algunos sectores dentro de cada unidad de suelos con texturas de diferente calificación, la cual no fue posible reflejar en la calificación de la unidad, dada la escala que se determinó para la presente zonificación.

Metodología de procesamiento de la información

La información 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, especialmente, en lo relacionado con la pegajosidad, las facilidades de labranza y la susceptibilidad a la compactación. Esta variable se calificó de acuerdo con 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)

Rangos para la asignación de valores de aptitud

Teniendo en cuenta las mejores texturas de los suelos para el cultivo tradicional de maíz (IICA, BID y Prociandino, 1991 y 1993; Violic, 2001; Ospina, 2015; Deras, 2020; Senasa, 2020), las clases texturales cuyas prácticas de laboreo se pueden realizar satisfactoriamente sin implicar deterioro o daños a las propiedades físicas del suelo ni a los implementos de la maquinaria se determinaron con *aptitud alta* (A1). Las clases texturales con *aptitud media* (A2) correspondieron a las que presentaron altos contenidos de arcillas que pueden compactar el suelo y generar pegajosidad. Los suelos con dominancia de arcillas 1:1 (oxisoles, ultisoles y subgrupos *oxic*) se incluyeron en la *aptitud media* (A2), dada su baja pegajosidad.

Las clases texturales con *aptitud baja* (A3) correspondieron a las gruesas, porque facilitan la compactación del suelo, desgastan con mayor rapidez las herramientas y no permiten la construcción de surcos. En esta misma aptitud se incluyó la clase arcillosa cuando ésta presentó una proporción mayor al 60 %, lo cual correspondió a suelos vertisoles y a los integrados vérticos, como se puede apreciar en la tabla de abajo:

Rangos de aptitud	
Textura	**Aptitud**
F, FL, FA, FArA, FArL, FAr	Alta (A1)
ArA, ArL, L, orgánicos (oxisoles, ultisoles, subgrupos *oxic*, arcillosos)	Media (A2)
A, AF, Ar	Baja (A3)

Unidad de análisis

Unidades cartográficas de suelos: asociaciones, consociaciones y complejos.

Fuentes de información

Deras, H. (2020). *Guía técnica: el cultivo del maíz*. San Salvador, El Salvador: IICA, PAF, CENTA, Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). Recuperado de https://n9.cl/1d2lc

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Bogotá, Colombia: 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*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Banco Interamericano de Desarrollo y Programa Cooperativo de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria para la Subregión Andina (1991). Experiencias en el cultivo de maíz en el área andina. Quito, Ecuador: Programa Cooperativo de Investigación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria para la Subregión Andina (Prociandino). Recuperado de http://hdl.handle.net/20.500.12324/34452

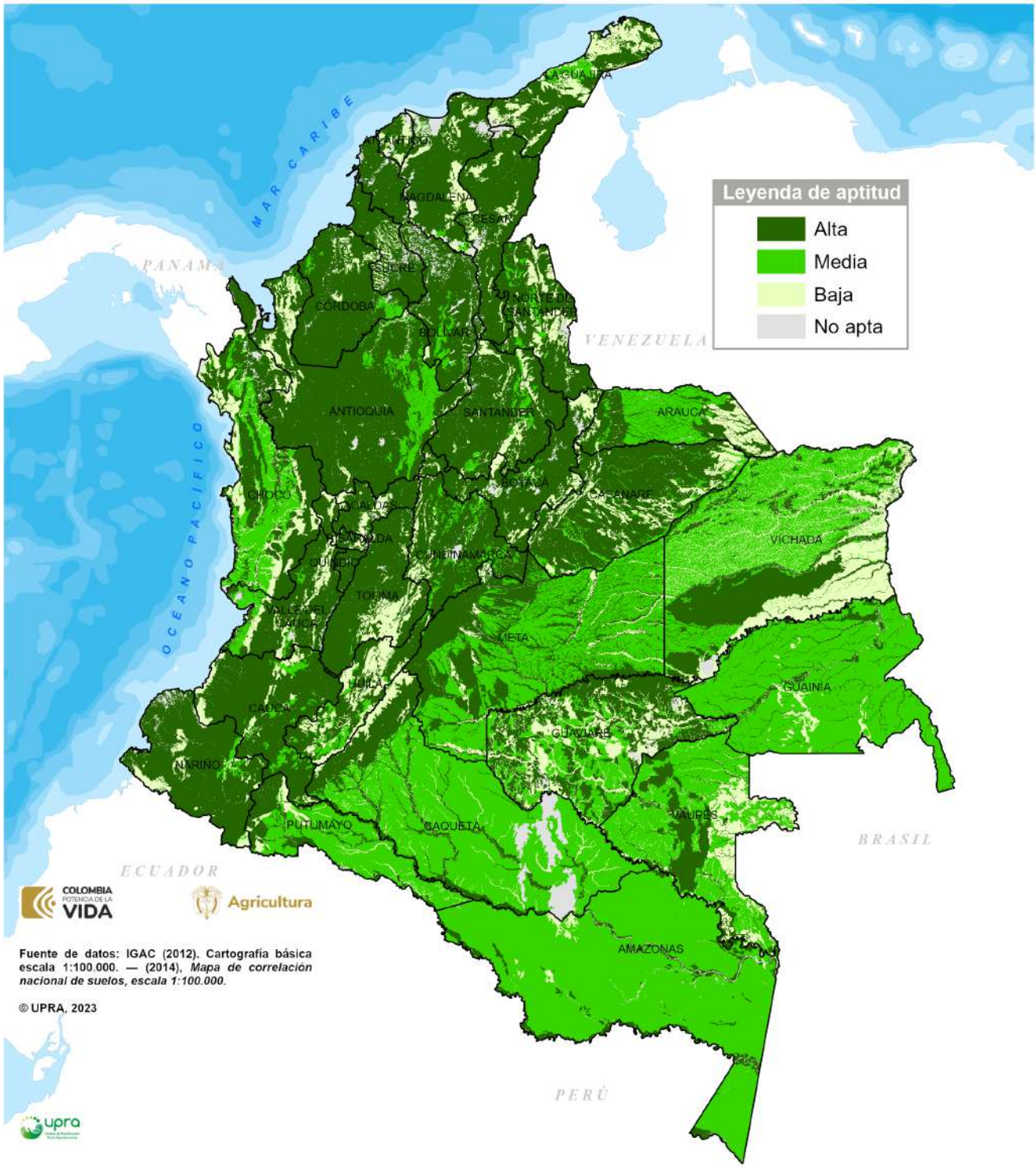
Malagón, D. y Montenegro, H. (1990). *Propiedades físicas de los suelos*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Ospina, J.G. (2015). *Manual técnico del cultivo de maíz bajo buenas prácticas agrícolas*. Medellín, Colombia: Gobernación de Antioquia. Recuperado de https://n9.cl/ev5ny

Servicio Nacional de Sanidad Agraria del Perú (2020). *Guía para la implementación de buenas prácticas agrícolas (BPA) para el cultivo de maíz choclo*. Lima, Perú: Ministerio de Agricultura y Riego, Dirección de Insumos Agropecuarios e Inocuidad Agroalimentaria, Subdirección de Inocuidad Agroalimentaria. Recuperado de https://n9.cl/xzprl

Violic, A.D. (2001). Manejo integrado de cultivos. En Paliwal, R. L., Granados, G., Lafitte, H.R. y Violic, A.D. *El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción* (pp. 205-302). Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Recuperado de https://n9.cl/qr10u

Representación cartográfica de la variable



Criterio *capacidad de laboreo*
Variable *textura*

1.9.3 Variable *pedregosidad*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: físico. Subcomponente: edáfico		
Criterio asociado: *capacidad de laboreo*		
Variable: *pedregosidad*	Unidad de medida: cualitativa (fase cartográfica)	
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* (Van Wambeke y Forbes, 1987).

Importancia de la variable

Incide en la integridad de los implementos agrícolas, pues limita las prácticas de laboreo 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 demás prácticas culturales, como la elaboración de los drenajes, los surcos, el diseño de la siembra y la cosecha de las mazorcas, entre otras.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

No se consideró algún rango de exclusión (N1) para el cultivo del maíz tradicional, ya que se pueden mejorar las condiciones del suelo removiendo la pedregosidad, aunque estas prácticas elevan los costos de preparación de las tierras.

Limitantes de la evaluación de la variable

La principal limitante para la evaluación de esta variable se encontró en la forma como se registra la información en el mapa nacional de correlación de suelos (IGAC, 2014), ya que solamente aparece la fase pedregosa. Además, no se encuentra discriminada en rangos por porcentaje de recubrimiento.

Metodología de procesamiento de la información

Las clases de pedregosidad se obtuvieron a partir de la fase cartográfica de pedregosidad del mapa de correlación nacional de suelos (IGAC, 2014). Esta variable se tomó únicamente como aparece en los registros de la información de la base de datos, es decir, como fase pedregosa, pero sin especificar rangos por porcentaje de pedregosidad.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

La asignación de rangos correspondió a la misma fase cartográfica de pedregosidad, es decir, a la *fase pedregosa* y *sin fase de pedregosidad*, expresiones que indican tácitamente que no hay pedregosidad. Las tierras con fase pedregosa —o sea, con más del 35 % por volumen— se calificaron con *aptitud media* (A2*)*, dadas las limitaciones que presentó tanto en el manejo de los suelos como de los cultivos tradicionales de maíz tradicional, como se puede consultar en la siguiente tabla:

Rangos de aptitud	
Pedregosidad (fase de pedregosidad)	**Aptitud**
Sin fase de pedregosidad	Alta (A1)
Con fase de pedregosidad	Media (A2)

Los rangos de aptitud se definieron de acuerdo con las consultas a Fenalce y a la literatura científica pertinente.

Unidad de análisis

Unidades cartográficas de suelos: asociaciones, consociaciones y complejos.

Fuentes de información

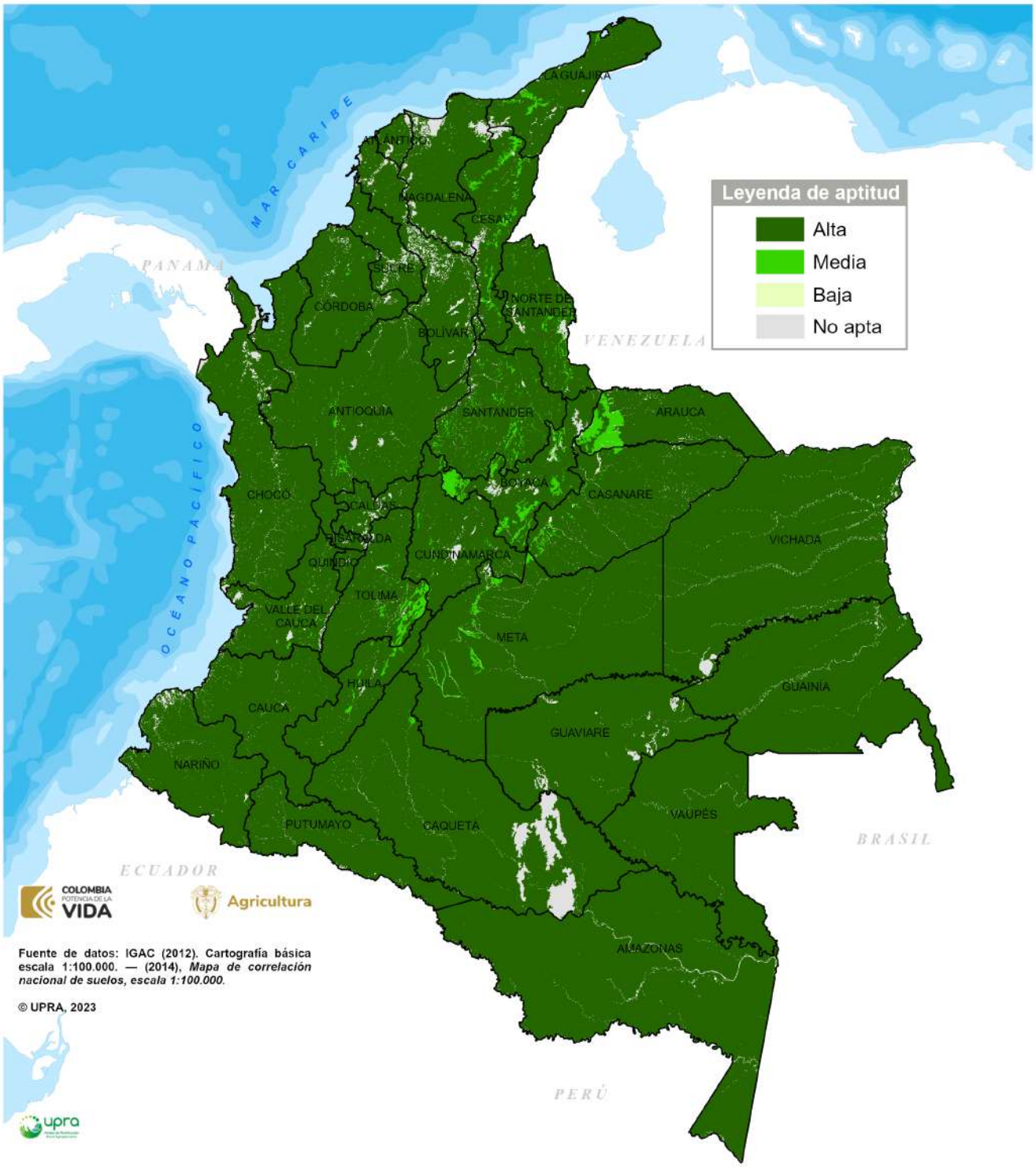
Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2010). *Instructivo para los levantamientos de suelos (manual de códigos)*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

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*. Bogotá, Colombia: 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*. Nueva York, Estados Unidos: Cornell University, Department of Agronomy.

Representación cartográfica de la variable



Criterio *capacidad de laboreo*
Variable *pedregosidad*

2. Fichas metodológicas del componente socioecosistémico

2.1. Criterio *apropiación del agua*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: socioecosistémico		
Criterio: *apropiación de agua*		
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Variables asociadas al criterio

Diferencia del uso consuntivo.

Índice del uso del agua.

Definición

Representa la cantidad de agua retenida del flujo de la cuenca y del agua lluvia para satisfacer la demanda del cultivo de maíz tradicional, tanto para su crecimiento como materia prima para sustentar el cultivo y la producción de maíz tradicional. Del agua captada por este cultivo, una parte queda contenida en la biomasa; otra retorna a la cuenca en como excesos o menores rendimientos de aprovechamiento del riego; otra se pierde en el balance hídrico de la cuenca, porque queda contenida en el producto que se exporta para aprovechamiento o por evapotranspiración de los cultivos. Este requerimiento de agua es suplido en la unidad geográfica de análisis[1], dependiendo de su oferta hídrica, en primer lugar, a partir del agua contenida naturalmente en el suelo y los aportes de la lluvia, luego desde el agua de drenaje superficial, e incluso desde el aporte desde fuentes subterráneas, y en casos excepcionales a partir de transvases desde cuencas circundantes. Así, entre mayor sea la demanda del cultivo de maíz tradicional, mayor será la cantidad de elementos involucrados para el suministro, y mayor será la competencia frente a las demás coberturas y los usos establecidos en la unidad de análisis.

[1] Para este caso, se empleó como unidad de análisis el polígono resultante del cruce entre las zonas de evapotranspiración real (ETR) y las subzonas hidrográficas (SZH) del *Estudio nacional del agua 2018* (Ideam, 2019).

Este abastecimiento suple el crecimiento de la especie, la producción agrícola y la neutralización de los principales contaminantes generados por la dinámica de producción, incluidas las concentraciones aceptables en los cuerpos de agua de acuerdo con los niveles permitidos por la normativa ambiental del país. De este modo, ante la prospectiva de una demanda adicional en la unidad de análisis —en este caso, el cultivo de maíz tradicional por desarrollar— y la situación de un consumo real en cada subzona hidrográfica dada por las coberturas y usos establecidos, se planteó la disyuntiva acerca de la sostenibilidad hídrica del nuevo cultivo, bien por competencia frente a las demás coberturas y usos, bien por riesgo en el abastecimiento para estos cultivos. De acuerdo con el Estudio nacional del agua 2018 (ENA, 2019), la apropiación de agua para el cultivo de maíz es alta, puesto que representa el 40 % del total del área sembrada de cultivos transitorios. A continuación, se muestran algunas referencias de otros cultivos:

Demanda hídrica y huella hídrica azul y verde para algunos cultivos de interés comercial, prioritarios en el proyecto de zonificación de aptitud

Cultivo	Demanda hídrica verde (Mm^3/año)	Huella hídrica azul (Mm^3/año)	Huella hídrica verde (Mm^3/año)
Maíz	628,0	334,9	3463,7
Arroz de riego	1881,0	564,3	1772,8
Papa	144,3	77,0	390,4
Otros transitorios	66,8	35,6	169,2

La mayor relevancia de estos datos no es su valor absoluto, sino la relación de sostenibilidad que representa ese valor en el contexto de capacidad hídrica de cada unidad de análisis. Debido a la falta de discriminación de la demanda hídrica del cultivo, pues la cadena se enfoca en evaluar el consumo de agua del maíz tradicional, se decidió calcularla en relación con la evapotranspiración asociada a la subzona hidrográfica y teniendo en cuenta tanto las unidades de producción agropecuaria (UPA) como la información reportada por las evaluaciones agropecuarias municipales (EVA).

Importancia del criterio

Permite estimar la sostenibilidad hídrica de la unidad geográfica de análisis, mediante polígonos de evapotranspiración de referencia (ETo) por subzona hidrográfica (SZH), en el establecimiento del cultivo de maíz tradicional. De esta forma, es posible identificar si, dada la capacidad hídrica de la SZH, se configura un riesgo para el abastecimiento del cultivo o si establecer el cultivo entra en competencia con los ecosistemas, los agrosistemas y los demás usos existentes al interior.

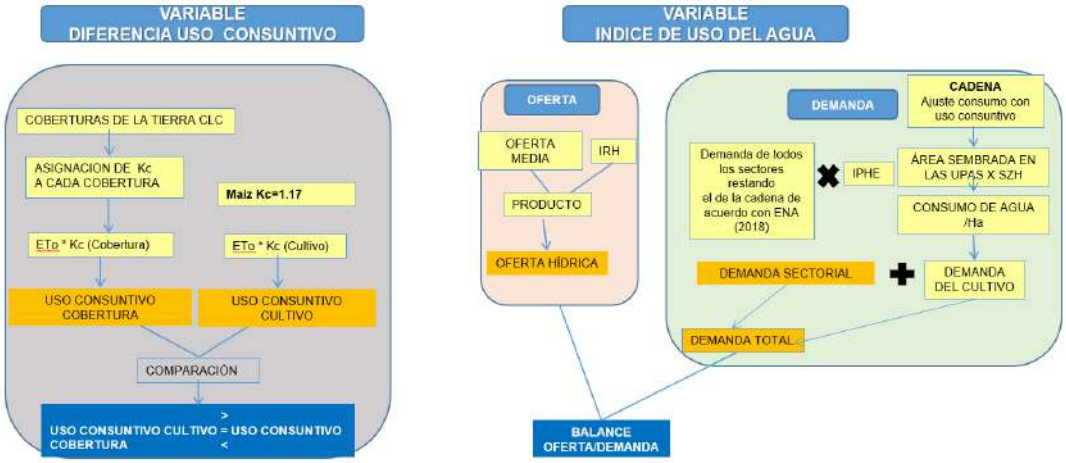
Limitantes de la evaluación del criterio

Para el procesamiento del componente de índice de uso de agua por el cultivo, se recurrió al reporte de las áreas sembradas de las UPA correspondiente al censo agropecuario del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE, 2014), lo cual depende de la confiabilidad de los datos del censo y su temporalidad, puesto que, para el caso del maíz, se identificó mayor área sembrada de acuerdo con lo reportado por las evaluaciones agropecuarias municipales en el 2019.

Metodología de evaluación

Para el procesamiento de la variable *apropiación del agua* para el cultivo del maíz tradicional, se siguió la siguiente metodología:

Metodología para el cálculo de la apropiación de agua para el cultivo de maíz tradicional



CLC: Corine Land Cover; Kc: coeficiente del cultivo; IRH: índice de regulación hídrica; IPHE: índice de presión hídrica de los ecosistemas.

El criterio se compone de dos variables: *diferencia del uso consuntivo* e *índice del uso del agua*. De acuerdo con el Ideam (2011), 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). De tal modo, la variable *diferencia de uso consuntivo* se refiere a la comparación del Kc de las coberturas actuales multiplicado por la evapotranspiración de referencia y el Kc del potencial cultivo de maíz tradicional, a nivel del territorio nacional, multiplicado por la evapotranspiración de referencia.

En relación con lo anterior, se puede comparar la evapotranspiración de las coberturas actuales con las de un cultivo de maíz tradicional. Si el dato de la relación es mayor a 0, la evapotranspiración del cultivo de maíz tradicional 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, en relación con la cobertura actual, la evapotranspiración del cultivo es menor, por lo que un cambio de la cobertura actual por este cultivo sería favorable. Hay un rango intermedio alrededor del 0 cuya variación no es grande y cuyas coberturas tienen similares evapotranspiraciones.

La variable *índice del uso del agua* es una relación entre la oferta y la demanda hídrica en la subzona hidrográfica. Para esto, se toma el dato de oferta media del *Estudio nacional del agua 2018* (ENA, 2019) y se multiplica por el índice de regulación hídrica para verificar si esa oferta está bien distribuida o no durante todo el año, con esto lo que obtiene la oferta total por subzona hidrográfica. En relación a la demanda, se toman los datos de la demanda sectorial del ENA (2019) y se resta la demanda del cultivo de maíz reportada por el informe. Posteriormente, a esta demanda se le adiciona la demanda hídrica del cultivo de maíz tradicional, teniendo en cuenta el Kc descrito en la variable de diferencia de uso consuntivo para llevar el dato de milímetros a litros por hectárea mediante la superposición por subzonas hidrográficas y ajustar con el valor de área de las UPA y las EVA (2019), a fin de obtener el área de cultivos sembrados.

Esta demanda se multiplica por el índice de presión de los ecosistemas para considerar la demanda requerida por los ecosistemas para su sostenibilidad. En general, el índice de uso del agua en este caso corresponderá a la diferencia entre la oferta y la demanda total. Finalmente, con los resultados del índice de uso del agua y la diferencia de uso consuntivo, se estableció la aptitud por apropiación de agua para el cultivo, para lo cual se utilizó un árbol de decisión que involucra estas dos variables, como se muestra a continuación:

Rangos para la asignación de valores de aptitud

Índice del uso del agua	Diferencia del uso consuntivo	Aptitud
		Apropiación de agua
A1	A1	A1
	A2	A1
	A3	A2
A2	A1	A1
	A2	A2
	A3	A3
A3	A1	A2
	A2	A3
	A3	A3

Posteriormente, se estableció un valor que correspondió a la relación entre la capacidad hídrica de la subzona hidrográfica y el requerimiento del cultivo. La aptitud varió entre un máximo de aptitud alta (A1) en los lugares de ETo por SZH en donde existiera agua disponible como para satisfacer la nueva demanda impuesta por el cultivo, sin poner en riesgo los usos preexistentes o al mismo cultivo. El valor mínimo de aptitud baja (A3) se estableció en los lugares en situación de mayor déficit hídrico, en los cuales el establecimiento del cultivo de maíz tradicional puede generar un riesgo por desabastecimiento tanto para el cultivo como para los demás usos dispuestos en la subzona hidrográfica. La obtención de los rangos de variación provino del procesamiento entre los rangos de los mapas constitutivos, a saber: *diferencia del uso consuntivo* e *índice del uso de agua* por el cultivo, como se indica en la tabla siguiente:

Rango de variación de la aptitud por apropiación de agua para el cultivo del maíz tradicional		
Descripción	**Rango de variación**	**Aptitud**
Zonas con sostenibilidad hídrica alta para el abastecimiento de la demanda del cultivo del maíz tradicional y los usos preexistentes. Puede implicar niveles bajos de riesgo hídrico para el cultivo 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 del cultivo de maíz tradicional y los usos preexistentes. Puede implicar niveles moderados de riesgo hídrico para el cultivo 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 del cultivo de maíz tradicional y los usos preexistentes. Puede implicar niveles altos de riesgo hídrico para el cultivo o presión alta por competencia con las coberturas naturales o los usos establecidos en la unidad de análisis.	A2A3 A3A2 A3A3	Baja (A3)

Fuentes de información

Arévalo, D. (2012). *WWF Reporte Colombia 2012: una mirada a la agricultura de Colombia desde su huella hídrica*. Bogotá, Colombia: Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) Colombia. Recuperado de: https://n9.cl/j3wb0

Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia, Good Stuff International Latinoamérica y El Caribe, Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2015). *Evaluación multisectorial de la huella hídrica en Colombia: resultados por subzonas hidrográficas en el marco del estudio nacional del agua 2014*. Medellín, Colombia: Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia (CTA). Recuperado de https://n9.cl/vg5nw

González, M.C., Saldarriaga G.J. y Jaramillo, O. (2010). Estimación de la demanda de agua: conceptualización y dimensionamiento de la demanda hídrica sectorial. En: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ed.). *Estudio nacional del agua 2010* (pp. 169-228). Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam) y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Recuperado de https://n9.cl/d8gxj

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2011). *Estudio nacional del agua: capa de subzonas hidrográficas, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

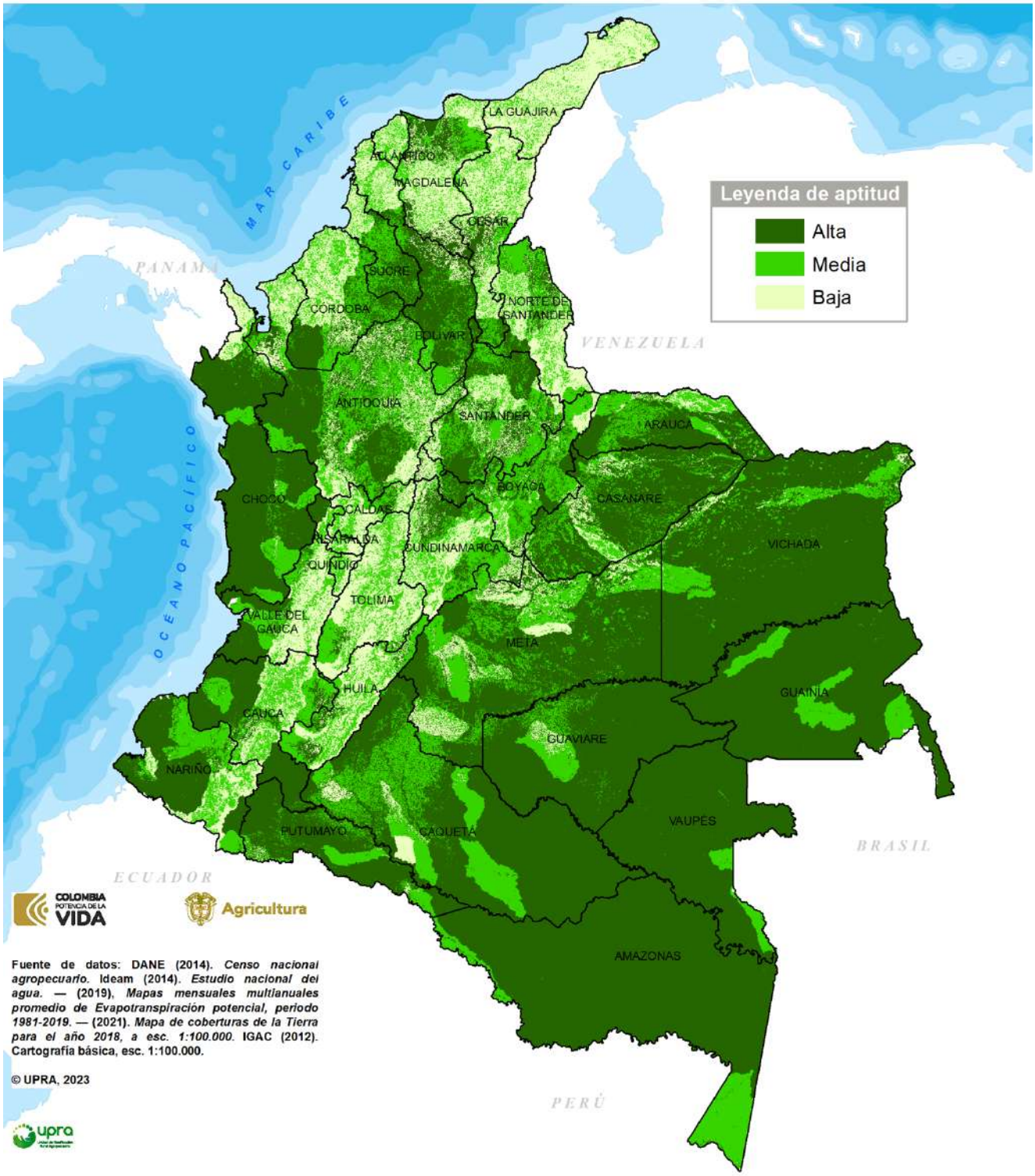
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2012). *Mapa nacional de cobertura de la tierra: imágenes 2005-2009, escala 1:100.000*. Bogotá. Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2014). *Atlas climatológico de Colombia: capa de zonas de evapotranspiración potencial, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2019). *Estudio nacional del agua 2018*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). Recuperado de https://n9.cl/jtozxg

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Representación cartográfica del criterio



Criterio *apropiación del agua*

2.1.1. Variable *diferencia del uso consuntivo*

<table>
<tr><th colspan="3">Ficha metodológica de la variable</th></tr>
<tr><td>Tipo de utilización de la tierra (TUT)</td><td colspan="2">Cultivo del maíz (Zea mays L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.</td></tr>
<tr><td colspan="3">Componente: socioecosistémico</td></tr>
<tr><td colspan="3">Criterio asociado: apropiación de agua</td></tr>
<tr><td>Variable:
diferencia del uso consuntivo</td><td colspan="2">Unidad de medida:
mm/año</td></tr>
<tr><td 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

De acuerdo con el Ideam (2010), el uso consuntivo corresponde al requerimiento de agua neta para el establecimiento del cultivo, partiendo del agua contenida en el suelo disponible para la cobertura vegetal. Es decir: para esta variable no se tiene en cuenta el agua que alimenta los acuíferos superficiales o subterráneos (UPRA, 2016). Según la FAO (2019), 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. Este uso consuntivo está calculado para otras coberturas vegetales. La variable analizó la relación entre el uso consuntivo del cultivo de maíz tradicional 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 evaporación directa del agua del suelo y la transpiración asociada a la vaporización del agua contenida en los tejidos vegetales. El cálculo de la evapotranspiración, propia de la cobertura y del cultivo de maíz tradicional mediante la determinación del uso consuntivo, permite estimar el requerimiento de agua por parte de estas coberturas vegetales. La variable se refiere a la comparación entre la evapotranspiración de las coberturas actuales y la evapotranspiración de un cultivo de maíz tradicional. Lo que se pretendió evaluar fue la sostenibilidad del territorio en relación con la evapotranspiración: si es mejor mantener las coberturas actuales o eventualmente, sería mejor tener un cultivo como el de maíz tradicional.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

Esta variable no generó alguna exclusión (N1).

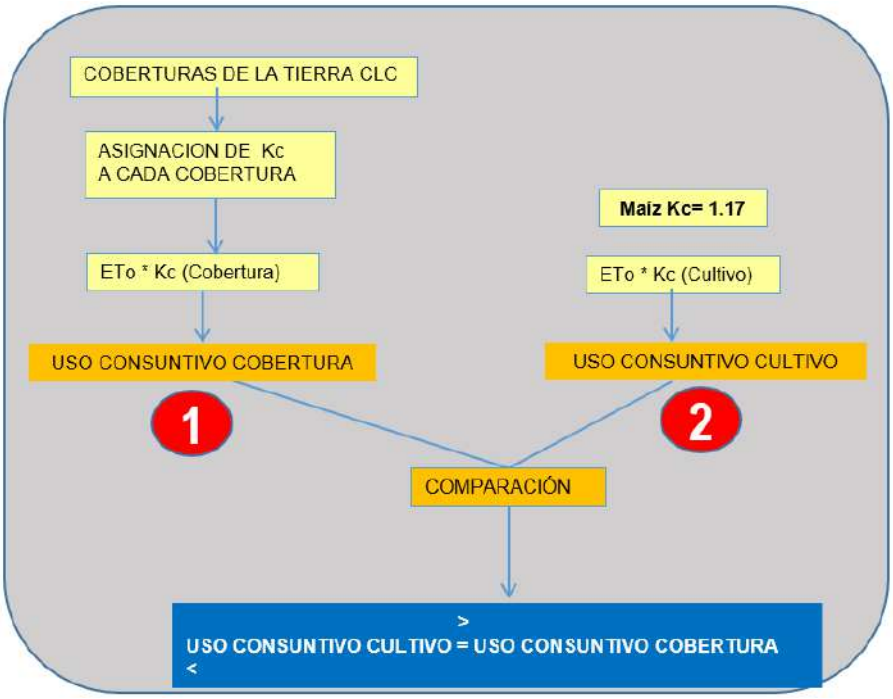
Limitantes de la evaluación de la variable

Para procesar el componente de diferencia de uso consuntivo por el cultivo, se recurrió al dato de área sembrada para la estimación del consumo efectivo por unidad de superficie, lo cual depende de la confiabilidad de los datos del censo agropecuario del DANE (2014).

Metodología de procesamiento de la información

El uso consuntivo se obtuvo, de acuerdo con el Ideam (2010), aplicando el enfoque del coeficiente del cultivo (Kc), el cual correspondió al coeficiente entre la evapotranspiración del cultivo (ETo) y la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETp), correspondiente al pasto (FAO, 2006). La ETp representa un indicador de la demanda climática; mientras que el Kc cambia en función de las características principales del cultivo o de la cobertura vegetal, por lo que la evapotranspiración del cultivo se obtuvo de la multiplicación del ETp y el Kc correspondiente (FAO, 2006). Para procesar la variable *diferencia del uso consuntivo* para el cultivo de maíz tradicional, se siguió la siguiente metodología:

Metodología para el cálculo de la diferencia del uso consuntivo para el cultivo del maíz tradicional



Uso consuntivo de la cobertura

Para el cálculo del uso consuntivo, se partió de la información de evapotranspiración potencial (ETP), generada a partir de la temperatura y el índice calórico (I), de acuerdo con el método de Thornthwaite, adoptado por la UPRA. Así pues, resultaron las siguientes ecuaciones:

$$ETP = 0{,}53\left(\frac{10T}{I}\right)^{\propto}$$

donde

ETP = evapotranspiración potencial media diaria sin ajustar, medida en milímetros;
T = temperatura media (°C);
I = índice calórico anual.

$$I = 12\left(\frac{T_{\text{anual}}}{5}\right) \times 1{,}514$$

$$\propto = (675 \times 10^{-9})\mathrm{I}^3 - (771 \times 10^{-7})I^2 + (179 \times 10^{-4})I + 0{,}492$$

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 disponible para la vegetación o, mejor, que no alimenta los acuíferos superficiales o subterráneos. Para esto, el valor obtenido de ETP se corrigió por el factor de consumo de agua del cultivo (*Kc*) de la siguiente forma:

$$ETo = K_c \times ETP$$

El valor de *Kc* fue calculado por el grupo físico del proyecto de zonificación, de lo cual se obtuvo para el cultivo del maíz tradicional un valor de 1,17. El dato generado requirió una conversión por un factor multiplicador de 10, que representa el cambio de unidades de milímetros de precipitación (de la información climática) a metros cúbicos de agua por hectárea, para hacerlo compatible con la información de oferta de las subzonas hidrográficas. Así, para el cultivo de maíz tradicional resultó lo siguiente:

$$ETo = ETP \times (1{,}17) \times 10$$

Al final, de acuerdo con la amplitud de rango de los datos, se estableció una división en cuatro intervalos equivalentes y se realizó la siguiente reclasificación para obtener los datos de aptitud por uso consuntivo:

Aptitud por uso consuntivo para el cultivo de maíz tradicional		
Descripción	**Rango ETo (mm/año)**	**Aptitud**
El cultivo evapotranspira menos que la cobertura actual: uso consuntivo menor	<422	Alta (A1)
La evapotranspiración del cultivo es similar al de la cobertura actual: uso consuntivo moderado	422-902	Media (A2)
La cobertura actual evapotranspira menos que el cultivo: uso consuntivo alto	>902	Baja (A3)

Unidad de análisis

Unidad de cobertura.

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*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Recuperado de: https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf

Food and Agriculture Organization of the United Nations (2019). *Aquastat*. Roma, Italia: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Recuperado de: https://n9.cl/uxjt3

González, M.C., Saldarriaga G.J. y Jaramillo, O. (2010). Estimación de la demanda de agua: conceptualización y dimensionamiento de la demanda hídrica sectorial. En: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ed.). *Estudio nacional del agua 2010* (pp. 169-228). Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam) y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Recuperado de https://n9.cl/d8gxj

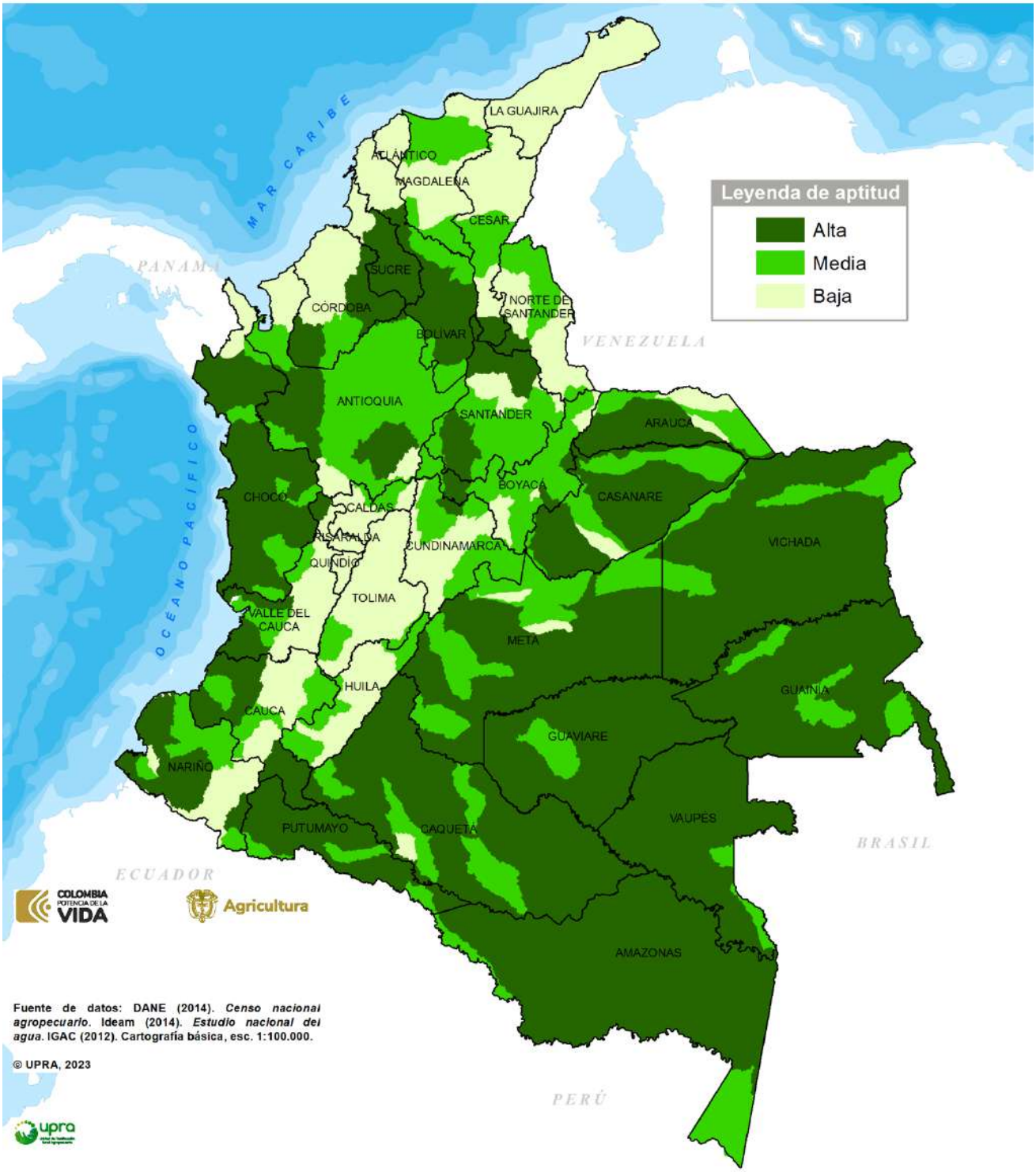
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2011). *Estudio nacional del agua: capa de subzonas hidrográficas, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2012). *Mapa nacional de cobertura de la tierra: imágenes 2005-2009, escala 1:100.000*. Bogotá. Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2014). *Atlas climatológico de Colombia: capa de zonas de evapotranspiración potencial, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Toro-Trujillo, A.M., Arteaga-Ramírez, R., Vázquez-Peña, M.A. e Ibáñez-Castillo L.A. (2016). Requerimientos de riego y predicción del rendimiento en el cultivo de banano mediante un modelo de simulación en el Urabá antioqueño, Colombia. *Tecnol Cienc Agua, 7*(6), 105-122. Recuperado de https://n9.cl/w0j3r

Representación cartográfica de la variable



Criterio *apropiación del agua*

Variable *diferencia del uso consuntivo*

2.1.2. Variable *índice del uso del agua*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: socioecosistémico		
Criterio asociado: *apropiación de agua*		
Variable: *índice del uso del agua*	Unidad de medida: mm^3	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Representa la cantidad de agua que es retenida del flujo de la cuenca para satisfacer la demanda del cultivo del maíz tradicional, tanto para su crecimiento como para la materia prima para el sustento del cultivo. 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 riego; otra se pierde en el balance hídrico de la cuenca, porque queda contenida en el producto que se exporta para el aprovechamiento o por evapotranspiración desde el cultivo.

Importancia de la variable

Permite estimar la sostenibilidad hídrica de la unidad geográfica de análisis en el escenario del establecimiento del cultivo de maíz tradicional. De esta forma, fue posible identificar si, dada la capacidad hídrica de la SZH, se configuró un riesgo para el abastecimiento del cultivo o si el cultivo por establecer entró en competencia con los ecosistemas, agrosistemas y demás usos existentes al interior.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

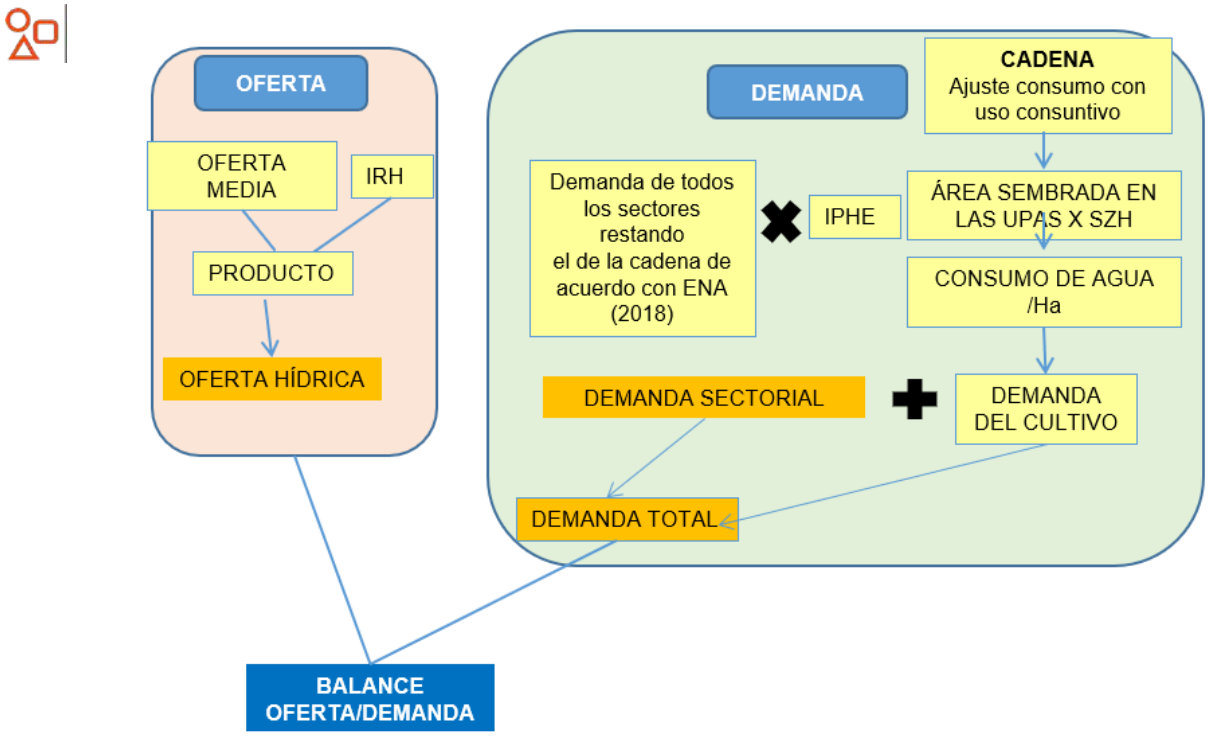
Esta variable no generó exclusión técnica (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

Para procesar el componente del índice del uso de agua por el cultivo, se recurrió al dato de área sembrada para la estimación del consumo efectivo por unidad de superficie, lo cual depende de la confiabilidad de los datos del censo agropecuario del DANE (2014). Adicionalmente, el dato contenido en las evaluaciones agropecuarias municipales se consideró un dato general para todo el municipio.

Metodología de procesamiento de la información

El procesamiento de la variable *índice del uso del agua* se presenta en el siguiente diagrama:



Para este cálculo, se partió de la información sobre oferta y demanda hídrica por subzonas hidrográficas del *Estudio nacional del agua 2018* (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 restó el dato de la demanda de agua por el cultivo de maíz tradicional. Esta demanda se multiplicó por el índice de presión hídrica de los ecosistemas (IPHE) para considerar la demanda requerida para la sostenibilidad.

A esta demanda sectorial calculada se le incluyó la demanda del cultivo de maíz tradicional, calculada a partir del uso consuntivo de cada cultivo. Para ello, se tuvo en cuenta el Kc descrito en la variable de diferencia de uso consuntivo y se llevó el dato de milímetros a litros por hectárea mediante la superposición por subzonas hidrográficas, la cual se ajustó con el valor de área de las UPA y las EVA (2019) a fin de obtener tanto el área de cultivos sembrados como el dato de la demanda del cultivo. El índice de uso del agua corresponderá a la diferencia entre la oferta y la demanda total, valor que fue categorizado en rangos para obtener el mapa de la variable de índice de uso del agua. La aptitud por la diferencia del uso del agua se puede observar en la siguiente tabla:

Aptitud por diferencia de uso de agua para el cultivo de maíz tradicional		
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 del cultivo de maíz tradicional.	>3.000	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 del cultivo de maíz tradicional.	1.000-3.000	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 del cultivo de maíz tradicional.	<1.000	Baja (A3)

Unidad de análisis

Subzonas hidrográficas.

Fuentes de información

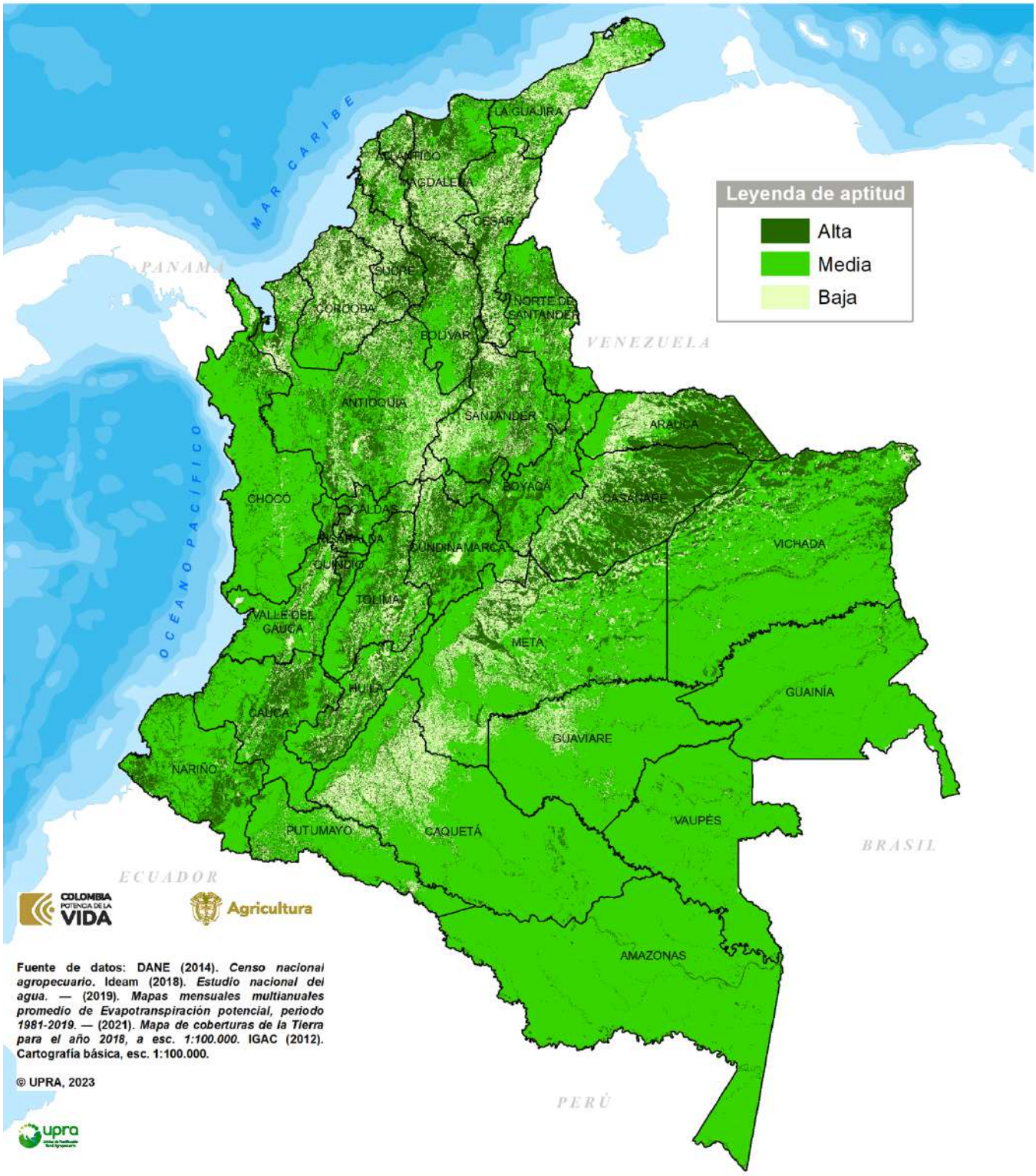
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2011). *Estudio nacional del agua: capa de subzonas hidrográficas, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2012). *Mapa nacional de cobertura de la tierra: imágenes 2005-2009, escala 1:100.000*. Bogotá. Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2019). *Estudio nacional del agua 2018*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). Recuperado de https://n9.cl/jtozxg

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Representación cartográfica de la variable



Criterio *apropiación del agua*
Variable *índice del uso del agua*

2.2. Criterio *integridad ecológica*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: socioecosistémico		
Criterio asociado: *integridad ecológica*		
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Variables asociadas al criterio

En este estudio, la integridad ecológica (IE) se evaluó a través de las siguientes variables estructurales de paisaje:

Conectividad estructural de las coberturas naturales (CECN), expresada como categoría de costo-distancia acumulada.

Índice de naturalidad (INAT), calculado como la proporción de superficie de coberturas naturales en cada polígono de unidad biogeográfica, la cual varía entre 0 y 100 %.

Áreas de concentración de especies sensibles (ACES).

Subvariables

Áreas prioritarias para la conservación (APC).

Áreas de importancia para la conservación de aves silvestres (AICAS).

Áreas críticas para aves migratorias en agroecosistemas (AC).

Definición

Capacidad del ecosistema no sólo de soportar y mantener su capital natural sin degradarse, sino también de funcionar permanentemente de forma saludable o apropiada. Ésta es una condición indispensable para la prestación, regulación y 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 tanto en la planificación como en la 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 la de los hábitats naturales en una región*.

La IE constituye una medida del funcionamiento permanente saludable o apropiado de los ecosistemas en un territorio y de la provisión continuada de recursos naturales y servicios ecosistémicos (autogenerados y autosostenibles). En consecuencia, vincula el bienestar humano actual y futuro con el cuidado y protección de la Tierra y sus ecosistemas como hábitat de las especies (Mackey, 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, lo cual permite establecer el grado de salud de los ecosistemas o paisajes, es decir, la vocación como área de conservación, la orientación hacia la restauración o, por el contrario, la aptitud hacia el establecimiento de cultivos de maíz tradicional. El análisis de este criterio se orienta a proteger y restablecer la integridad de los sistemas ecológicos, con especial preocupación por la diversidad biológica y por los procesos naturales que sustentan la vida; evitar el deterioro del territorio mediante el desarrollo de acciones ambientales sostenibles, aunque, 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 presente zonificación, un territorio con integridad ecológica es capaz de sobreponerse y superar tanto las perturbaciones naturales como los disturbios inducidos por el hombre, con lo cual se garantiza la identidad ecosistémica y la prestación de los servicios ecosistémicos que lo definen. La integridad ecológica en los paisajes transformados refleja no sólo la salud ambiental —entendida como la capacidad para amortiguar situaciones de alteración—, sino también la sostenibilidad del territorio. De este modo, la IE está en relación directa con el mantenimiento de la capacidad productiva de los sistemas agropecuarios que conforman la matriz rural, la cual alberga el potencial productivo de un territorio. También expresa 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).

Con la integridad ecológica se contribuye con el logro de los compromisos adquiridos por el sector agropecuario a través del Decreto 2478 de 1999, el cual establece que el 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 principio según el cual la aptitud para el establecimiento de cultivos de maíz tradicional varía en relación inversa con la integridad ecológica del territorio, de manera que la aptitud se considera baja donde existen altos valores ecológicos de conservación (AVC), pues deben primar las prácticas de preservación, conservación o restauración. La aptitud se incrementa en lugares donde la integridad es reducida, debido a la transformación del paisaje o a la ausencia de los AVC.

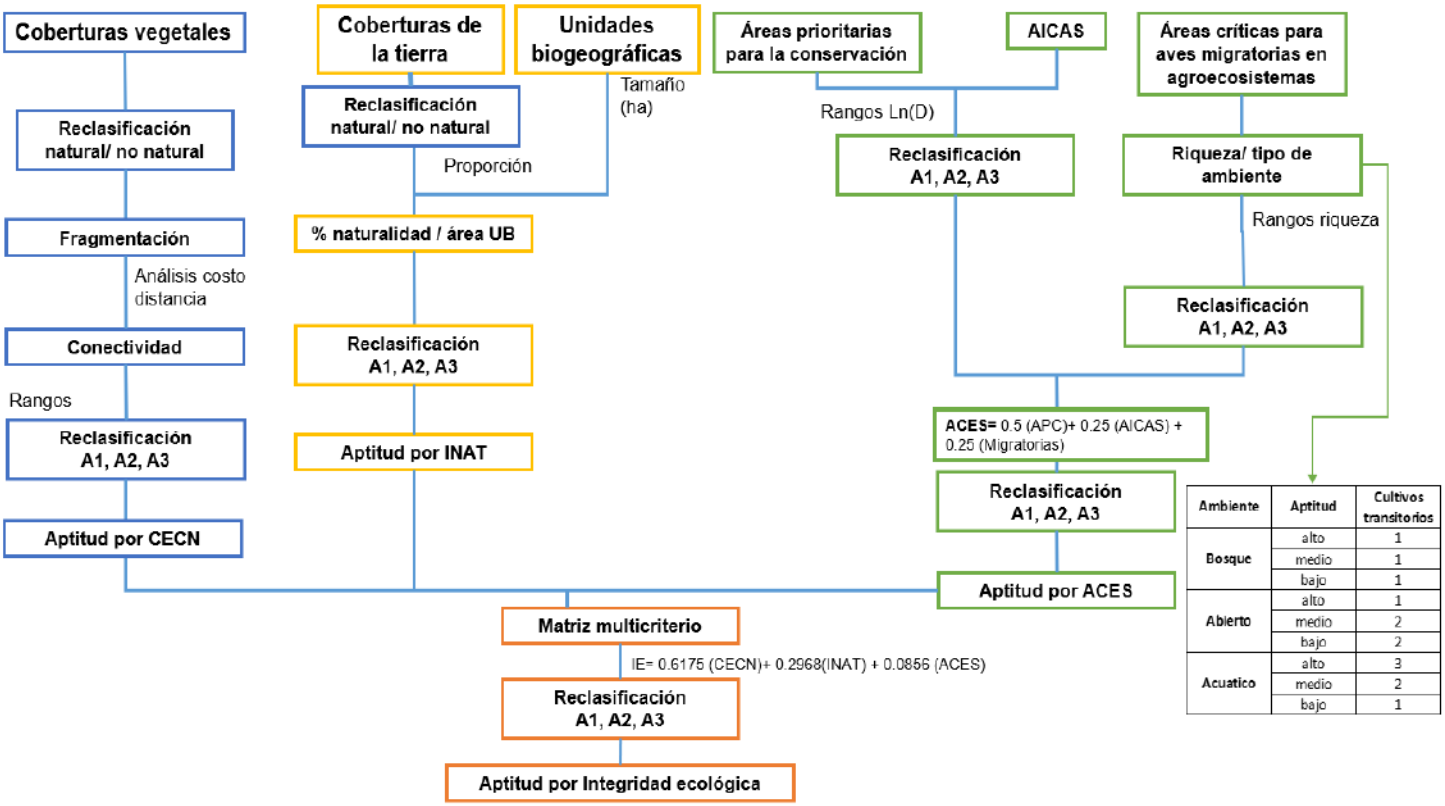
Limitantes de la evaluación del criterio

La temporalidad de la información del Corine Land Cover, asociada a las coberturas del año 2018, limitó una interpretación actualizada de la situación ecosistémica real. Sin embargo, ésta es la última información oficial generada y disponible. Adicionalmente, la información sobre la biodiversidad suele contar con limitaciones relacionadas con la representatividad de los grupos taxonómicos y el esfuerzo de muestreo, por lo cual es difícil presentar la información de forma homogénea para las regiones del país.

Metodología de procesamiento de la información

La integridad ecológica analiza los componentes estructurales del sistema —es decir, la integridad espacial e integridad ecosistémica— mediante la integración de las variables conectividad estructural de las coberturas naturales (CECN), índice de naturalidad por unidades de análisis (INAT) y áreas de concentración de especies sensibles (ACES). Para la evaluación del criterio *integridad ecológica* se realizó un procesamiento independiente de cada variable, como se puede observar en la siguiente figura:

Esquema metodológico para la determinación de la aptitud del criterio integridad ecológica



Para la construcción del criterio, se llevó a cabo la integración de las variables mediante la suma ponderada de sus valores de aptitud, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$A_{IE} = \alpha A_{CECN} + \beta A_{INAT} + \gamma A_{ACES}$$

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 este proceso, los valores respectivamente fueron los siguientes:

$\alpha = 0{,}6175.$
$\beta = 0{,}2968.$
$\gamma = 0{,}0856.$

Los resultados de esta suma se agruparon en tres categorías de aptitud para el criterio: A1, A2 y A3, para lo cual se emplearon los intervalos geométricos, método de agrupamiento del programa ArcGIS, como se presentan en la siguiente tabla:

Criterio	Categorías de aptitud			
	Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	No apta (N1)
Integridad ecológica	Valores menores del rango del criterio, clasificados por cortes naturales. La actividad productiva irrumpe en baja medida sobre la conectividad natural, espacios naturales o los procesos vitales de especies sensibles (2,03-2,97)	Valores intermedios del rango del criterio, clasificados por cortes naturales. 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 (1,33-2,03)	Valores mayores del rango del criterio, clasificados por cortes naturales. 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 (0,99-1,33)	—

Rangos para la asignación de valores de aptitud					
Variables	Unidad de medida	Categorías de aptitud			
		Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)	No apta N1
Conectividad estructural de las coberturas naturales (CECN)	Categoría de costo-distancia acumulada	Conectividad baja >17.000.000	Conectividad media 17.000.000-0	Conectividad alta 0	—
Índice de naturalidad (INAT)	Índice de naturalidad (%)	Naturalidad muy baja-vital (0-5 %). Naturalidad baja-estratégica (5-30 %). Naturalidad moderada (30-50%)	Naturalidad media-alta (50-75 %)	Naturalidad muy alta-protección (75-100 %)	—
Áreas de concentración de especies sensibles (ACES)	Categorías de concentración de especies sensibles	Zonas de muy baja densidad de especies sensibles: <2,3. Áreas sin identificación o baja presencia de APC. Ausencia de AICAS: *Ln*(*D*) < –8,085. Áreas sin importancia para especies migratorias: 1,5-2,75.	Zonas de baja densidad de especies sensibles: 1,6-2,3. APC con alta presencia de especies sensibles. AICAS con densidad muy baja o baja de especies sensibles: *Ln*(*D*) = de –8,085 a –4,189. Áreas de importancia moderada o alta para especies migratorias: 1,0-1,5.	Zonas de moderada, alta y muy alta densidad de especies: 1-1,6. APC con densidad muy alta asociada a coberturas naturales. AICAS con moderada, alta y muy alta densidad de especies sensibles: *Ln*(*D*) = de –4,189 a 1,670. Áreas de importancia muy alta para especies migratorias: 0,7-1.	—

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). Quito, Ecuador: Birdlife International. Recuperado de https://n9.cl/tou2e

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Agencia Nacional de Hidrocarburos (2010). *Áreas prioritarias para la conservación, escala 1:250.000*. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH).

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (2015). *Áreas importantes para la conservación de las aves, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: 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*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). Recuperado de https://n9.cl/23v8d

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2011). *Estudio nacional del agua: capa de subzonas hidrográficas, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

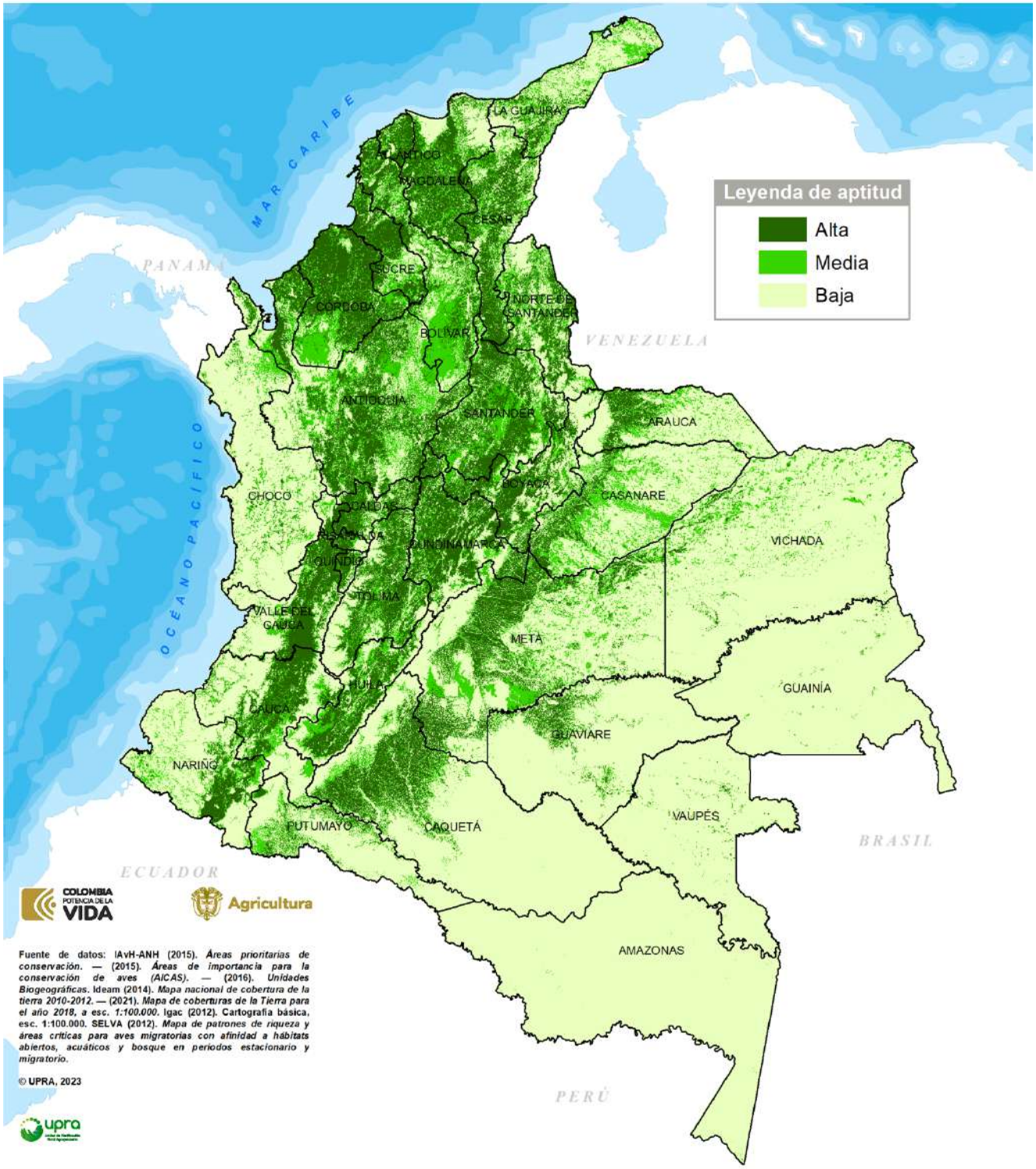
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2021). *Mapa nacional de cobertura de la tierra, imágenes 2017-2018, escala 1:100.000*. Bogotá. Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

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). Ámsterdam, Países Bajos: KIT Publishers BV.

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*. Bogotá, Colombia: SELVA: Investigación para la Conservación en el Neotrópico y Unidad de Planificación de Tierras Rurales, Adecuación de Tierras y Usos Agropecuarios (UPRA).

Representación cartográfica del criterio



Criterio *integridad ecológica*

2.2.1. Variable *conectividad estructural de coberturas naturales*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: socioecosistémico		
Criterio asociado: *integridad ecológica*		
Variable: *conectividad estructural de las coberturas naturales (CECN)*	Unidad de medida: Categoría de costo-distancia acumulada	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

La conectividad se analiza a partir de la fragmentación y la heterogeneidad del paisaje (McArthur & Wilson, 1967; Tischendorf & Fahrig, 2000; Correa, 2008). En tal sentido, requiere establecer la continuidad y determinar la existencia de barreras (resistencias/contrastes) en el territorio que limiten o impriman mayor costo para el flujo de la biodiversidad, los bienes y servicios ecosistémicos, fundamentales tanto para el desarrollo de los sistemas productivos como para la sostenibilidad del territorio. En todo paisaje cultural, los relictos de vegetación natural desempeñan un papel determinante para la movilidad de la biodiversidad y la continuidad en prestación de los servicios ecosistémicos, que son la base ambiental que sustenta los procesos productivos. Por lo tanto, esta variable parte del análisis 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. De esta forma, en términos de la aplicación al presente estudio, en áreas de mayor conectividad de las coberturas naturales la aptitud para el establecimiento de cultivos de maíz tradicional fue menor.

Importancia de la variable

Contribuye a estimar la sostenibilidad ambiental mediante la favorabilidad del hábitat para el desplazamiento de la biodiversidad, flujos e información necesarios para el funcionamiento natural de la cual dependen los servicios ecosistémicos que sostienen los procesos vitales del sistema y el abastecimiento para 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 valores superiores a 0 (altamente conectado). Se estableció un rango de variación empleando los intervalos geométricos como método de agrupamiento del programa ArcGIS.

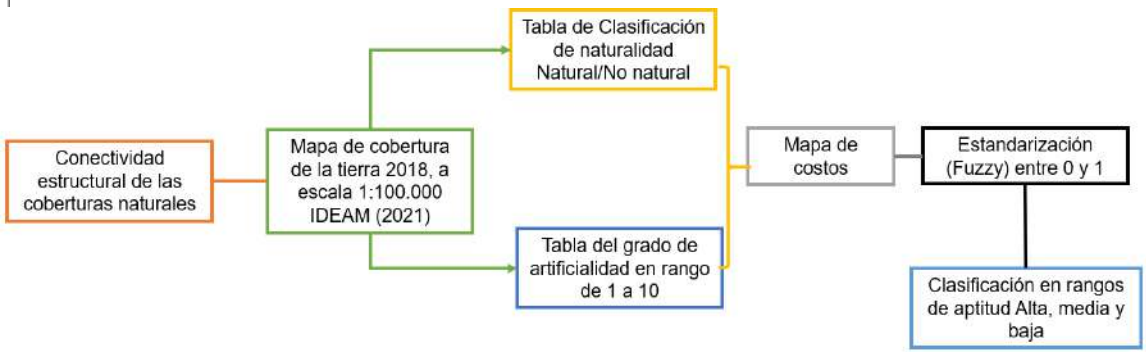
Limitantes de la evaluación de la variable

Al basarse en la capa base oficial de *Coberturas de la Tierra 2018* y su leyenda adaptada para Colombia (Ideam, 2010), la información muestra cierta discrepancia, en función de los cambios que se hayan producido desde el año 2018.

Metodología de procesamiento de la información

La conectividad estructural de las coberturas naturales (CECN) permite otorgar una aproximación rápida a escala de paisaje sobre la continuidad de los hábitats, lo cual es 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 2018*, adaptada para Colombia (Ideam, 2010). Adicionalmente, se identificaron las coberturas no naturales y el grado de artificialidad a partir de lo cual se definieron los pesos de resistencia de paso para luego determinar el costo de desplazamiento de las especies con el uso de la herramienta costes del programa ArcGIS (ver siguiente figura).

Esquema metodológico de la variable de conectividad estructural



Para establecer las calificaciones de artificialidad en la tabla se consideraron las áreas que representaban un alto costo para la conectividad de las estructuras de las coberturas naturales como los territorios artificializados, cuya calificación fue de 10. La resistencia de las coberturas se calificó conforme a un modelo de resistencia, que, según Correa (2008), describe los parámetros que confieren mayor o menor movilidad a las especies o a los servicios ecosistémicos mediante la matriz del paisaje. Así, las áreas que correspondieron a la cobertura existente o con un área de bosques o coberturas naturales cuyo costo fuera menor, le correspondió una calificación de 1. En las áreas con actividades agropecuarias, la calificación se dio respecto al impacto del desarrollo de las actividades en los procesos de conectividad, cuya calificación varió entre 2 y 9. Se consideraron las áreas húmedas y los cuerpos de agua con un costo moderado para la conectividad, ya que éstas permitieron la relación de las especies (ver siguiente tabla).

Calificación de costos para el criterio conectividad estructural

Calificación	
Artificialidad alta	10
Artificialidad media	9
Artificialidad baja	8
Semiartificial alto	7
Semiartificial medio	6
Semiartificial bajo	5
Sin artificialidad baja	4
Sin artificialidad media	3
Sin artificialidad alta	2
Natural	1

Tan pronto se identificaron las coberturas naturales del territorio con la calificación de la *artificialidad*, se elaboró el mapa de costo de distancia (coste de distancia) a través del análisis de sistema de información geográfica SIG, con el fin de establecer la aptitud para el cultivo de maíz tradicional. Así, la conectividad media, para el presente ejercicio, tendrá la mayor aptitud; para la conectividad baja, aptitud media, y para conectividad alta, una menor aptitud.

Rango de aptitud

Para la obtención de rangos, se estableció una clasificación en tres clases por el método de intervalos geométricos, dada la distribución asimétrica de los datos con respecto a la mediana. De esta forma, cada clase contiene aproximadamente el mismo número de valores, como se muestra a continuación:

Calificación de la variable *conectividad estructural de las coberturas naturales (CECN)*

Categorías de aptitud	Conectividad (costo-distancia acumulado)
Alta (A1)	Conectividad baja: >17.000.000
Media (A2)	Conectividad media: 17.000.000-0
Baja (A3)	Conectividad alta: 0
No apto (N1)	—

Fuentes de información

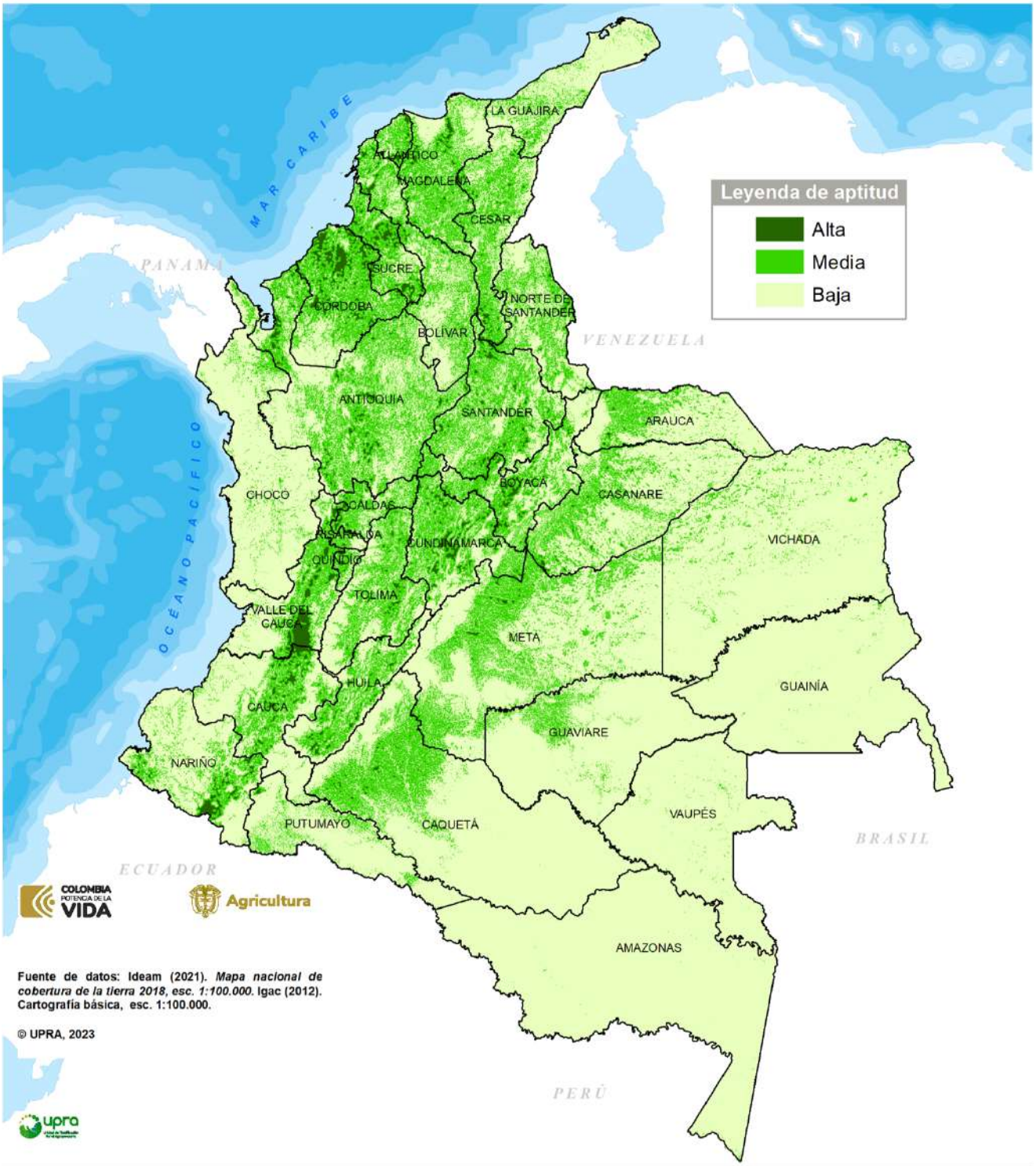
Correa-Ayram, C.A. (2008). Análisis del estado actual de conectividad de las coberturas vegetales de la cuenca media del río Tunjuelo. *Pérez-Arbelaezia*, (19), 115-139. Recuperado de https://n9.cl/03m2z

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*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). Recuperado de https://n9.cl/23v8d

MacArthur, R. H. & Wilson, E. O. (1967). *The theory of island biogeography*. Princeton (New Jersey), United States of America: Princeton University Press.

Tischendorf, L. & Fahrig, L. (2000). How should we measure landscape connectivity? *Landsc Ecol, 15*, 633-641. DOI: https://doi.org/10.1023/A:1008177324187

Representación cartográfica de la variable



Criterio *integridad ecológica*

Variable *conectividad estructural de coberturas naturales*

2.2.2. Variable *Índice de naturalidad (INAT)*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
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

La variable se refiere a las coberturas naturales en las cuales se desarrollan los procesos ecológicos esenciales y que son necesarios para sustentar la vida. La prestación de servicios ecosistémicos y la sostenibilidad ambiental en un área geográfica de análisis[2] está determinada 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 mismo territorio. 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, superficies de recarga hídrica, etc., en proporción al tamaño de la unidad biogeográfica. Así, cuanta más alta sea la naturalidad, tanta menor será la aptitud para establecer cultivos de maíz tradicional, pues las labores productivas interrumpen el potencial para desarrollar procesos naturales; igualmente, en áreas con menor y moderada naturalidad, mayor será la aptitud para el establecimiento del cultivo, pues no interrumpe los procesos naturales, e incluso potenciaría la prestación de algún servicio ecosistémico en comparación con la cobertura existente.

Importancia de la variable

Contribuye a estimar 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 a procesos productivos.

[2] Se emplean las unidades biogeográficas.

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 esa presencia de áreas naturales.

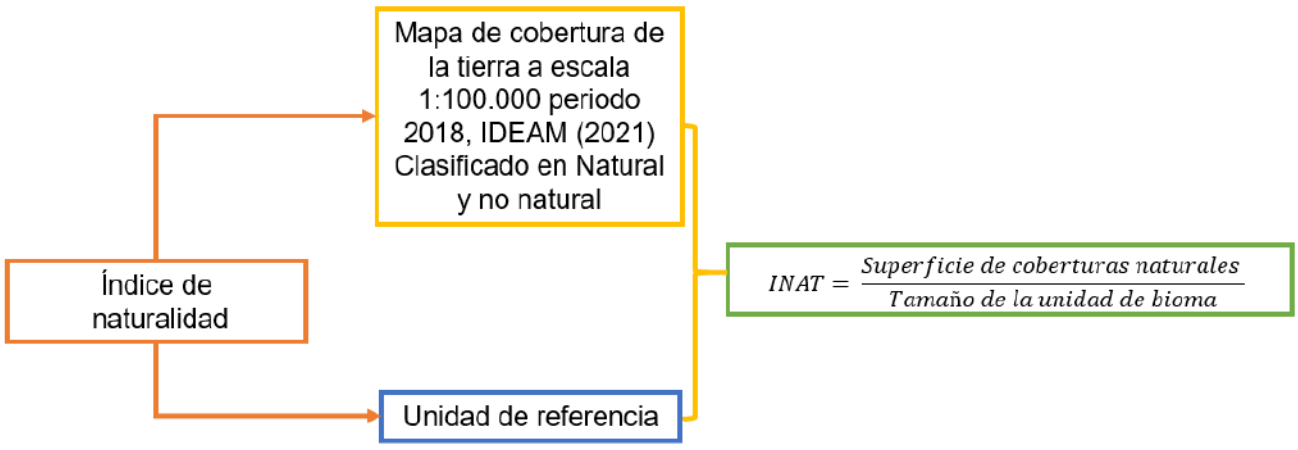
Limitantes de la evaluación de la variable

Al basarse en la capa base oficial de *Coberturas de la Tierra 2018* y la leyenda adaptada para Colombia (Ideam, 2010), su información tuvo cierto 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 del Corine Land Cover a partir del mapa oficial de coberturas a escala 1:100.000, elaborado por las entidades del SINA (Ideam, 2021). Para esto, 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). El índice de naturalidad (INAT) correspondió a la superficie de coberturas naturales en hectáreas sobre el tamaño de unidad biogeográfica en hectáreas, como se muestra en la tabla de abajo:

Esquema metodológico de la variable *índice de naturalidad (INAT)*



Rango de aptitud

Se reclasificaron, en términos de su aporte a la aptitud para el establecimiento de cultivos de maíz tradicional, y, de acuerdo con los parámetros establecidos por Márquez (2003), se establecieron los siguientes rangos:

Calificación de la variable índice de naturalidad (INAT) por subzona hidrográfica		
Descripción	**Rango**	**Aptitud**
Porcentaje de INAT muy baja-vital Porcentaje de INAT baja-estratégica Porcentaje de INAT moderada	Menor al 50 %	A1
Porcentaje de INAT alta	50-75 %	A2
Porcentaje de INAT muy alta-protección	75-100 %	A3

Fuentes de información

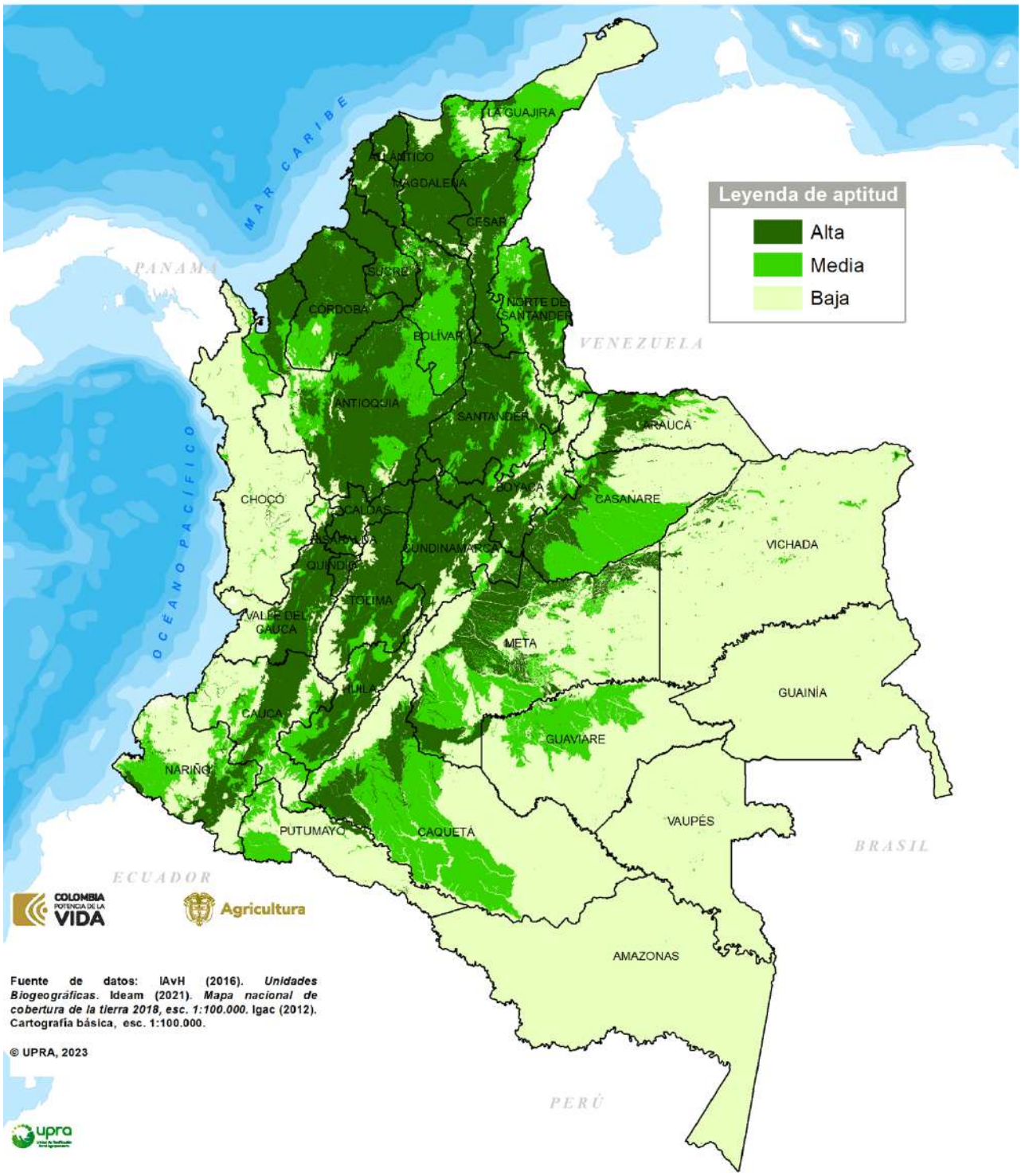
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2010). *Leyenda nacional de coberturas de la tierra: metodología CORINE Land Cover, adaptada para Colombia, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). Recuperado de https://n9.cl/23v8d

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2015). *Estudio nacional del agua 2014*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). Recuperado de https://n9.cl/60t80

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (2017). *Unidades biogeográficas*. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).

Márquez, G. (2003). Ecosistemas estratégicos. Boletín de la Sociedad Geográfica de Colombia, 46(135), 87-103. Recuperado de https://n9.cl/giu80g

Representación cartográfica de la variable



Criterio *integridad ecológica*

Variable *índice de naturalidad (INAT)*

2.2.3. Variable *áreas de concentración de especies sensibles (ACES)*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: socioecosistémico		
Criterio asociado: *integridad ecológica*		
Variable: *Áreas de concentración de especies sensibles (ACES)*	Unidad de medida: Cualitativa: requiere asignación de pesos para integrar especies sensibles en AICAS y APC; riqueza potencial de especies migratorias	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

La representatividad ecosistémica en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) es reducida y, con ello, el potencial para la conservación de la biodiversidad de Colombia. Por esta razón, existen en el territorio nacional áreas que, sin presentar figuras de protección, cuentan con altos valores para la conservación (AVC) por sus niveles de concentración de biodiversidad, en especial, de especies amenazadas y de distribuciones reducidas o dependientes de la calidad del hábitat a lo largo de rutas de migración. La variable establece lugares donde existe una concentración de especies sensibles 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 (ACMig). De igual forma, se integran las áreas de importancia para la conservación de aves silvestres (AICAS).

Estas áreas son consideradas importantes, debido a que constituyen sitios de refugio para elementos de la biodiversidad sensible, los cuales prestan servicios ecosistémicos, como la dispersión de semillas o control de plagas. Además, estas áreas aportan al funcionamiento natural de los ecosistemas nacionales y transfronterizos a través de 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 el establecimiento del cultivo de maíz tradicional, por cuanto 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 de cultivos de maíz tradicional es mayor.

Importancia de la variable

Permite identificar áreas en donde el establecimiento de cultivos de maíz tradicional podría 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

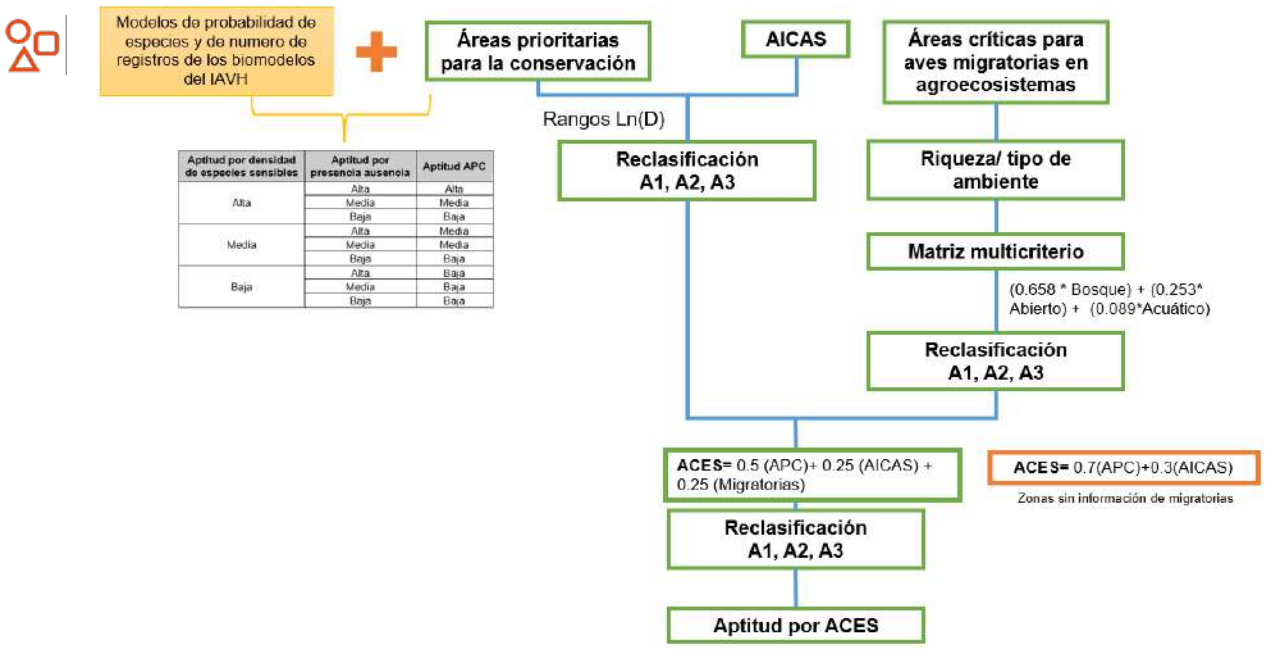
La concentración de especies sensibles es una variable que no generó exclusiones. Sin embargo, el enfoque se presentó en la continuidad que debe prevalecer en el territorio en términos de la favorabilidad de hábitat para el flujo de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos asociados, a saber: dispersión genética, polinización, regulación de cadenas tróficas, control biológico de plagas, entro otros. De esta manera, cuanta mayor sea la concentración de especies sensibles, tanta menor es la aptitud para el establecimiento de cultivos de maíz tradicional, 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 fue homogéneo. Esto supone integrar varios estudios realizados con metodologías y finalidades para complementar el panorama nacional. Partiendo del supuesto de que en todo el país hay biodiversidad con valor de conservación, se destacaron algunos lugares del territorio debido a la concentración de esta biodiversidad. Por lo tanto, la variable supuso una menor concentración en las áreas no mencionadas, pero puede corresponder en realidad a estudios no elaborados, por lo que ha de complementarse a medida que se incorpore nueva información al respecto.

Metodología de procesamiento de la información

Esta variable se construyó a partir de los siguientes insumos: los mapas de polígonos y 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 IAvH; el libro rojo de especies amenazadas en Colombia; las listas de áreas de importancia para la conservación de aves (AICAS); y la riqueza potencial para aves migratorias en agroecosistemas. Se empleó la información sobre la biodiversidad asociada a las APC (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt [IAvH] y Agencia Nacional de Hidrocarburos [ANH], 2013), las AICAS (IAvH, 2015) y los agroecosistemas (García-Márquez, Moreno y Sacharow, 2012). El esquema metodológico de la variable se describe a continuación:



Áreas prioritarias de conservación (APC)

En este 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 ello, se tomó la información del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH) y la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) en el año 2013 en el portafolio de áreas prioritarias de conservación (APC) a escala 1:100.000. Adicionalmente, se incluyeron la capa geográfica de las unidades biogeográficas y biomas en Colombia —que están siendo utilizadas para los Conpes nacionales ambientales— con datos para 355 áreas sobre bioma y superficie (en hectáreas); 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 incorporar esta información, se tomaron los objetos de conservación (OC) de filtro fino y de filtro grueso del portafolio de áreas prioritarias de conservación (APC), los cuales representaron unidades de análisis para la conservación de elementos de la biodiversidad a nivel de especies o ecosistemas, respectivamente. Cuanto mayor es 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—, tanta menor será la compatibilidad del territorio con el establecimiento de cultivos de maíz tradicional.

Para este análisis, se le 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 determinó mediante intervalos geométricos, como se indica an la siguiente tabla:

Aptitud por densidad de especies sensibles	Descripción
Alta	Áreas sin identificación de APC ($Ln(D) < -10,02$)
Media	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)
Baja	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)
No apta	No aplica

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 a las especies presentes y 0 a su ausencia. Se asignó a cada unidad biogeográfica el valor de las especies amenazadas o endémicas que le correspondió.

Acto seguido, se unieron estas dos tablas por medio del campo *unidad biogeográfica* en el programa ArcGIS 10.3, de lo que se obtuvo una tabla que indica la cantidad de especies amenazadas o endémicas para cada unidad, para, finalmente, realizar una clasificación de los valores obtenidos. Luego, reclasificaron los parámetros evaluados de acuerdo con el siguiente árbol de decisión, en el cual se adopta 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 realizó una comparación con las áreas naturales: las que contenían áreas naturales, se calificaron con *aptitud baja A3*, es decir, todas las áreas naturales se mantuvieron con aptitud A3; los APC se clasificaron como *aptitud media* y *alta* en las zonas donde no existían coberturas naturales. Los rangos finales de aptitud para APC se relacionan a continuación:

Descripción	Aptitud
Baja presencia de APC y especies sensibles	A1
Alta presencia de APC y especies sensibles	A2
Áreas asociadas a coberturas naturales, en las cuales se asume una muy alta densidad de especies	A3

Áreas de importancia para la conservación de aves silvestres (AICAS)

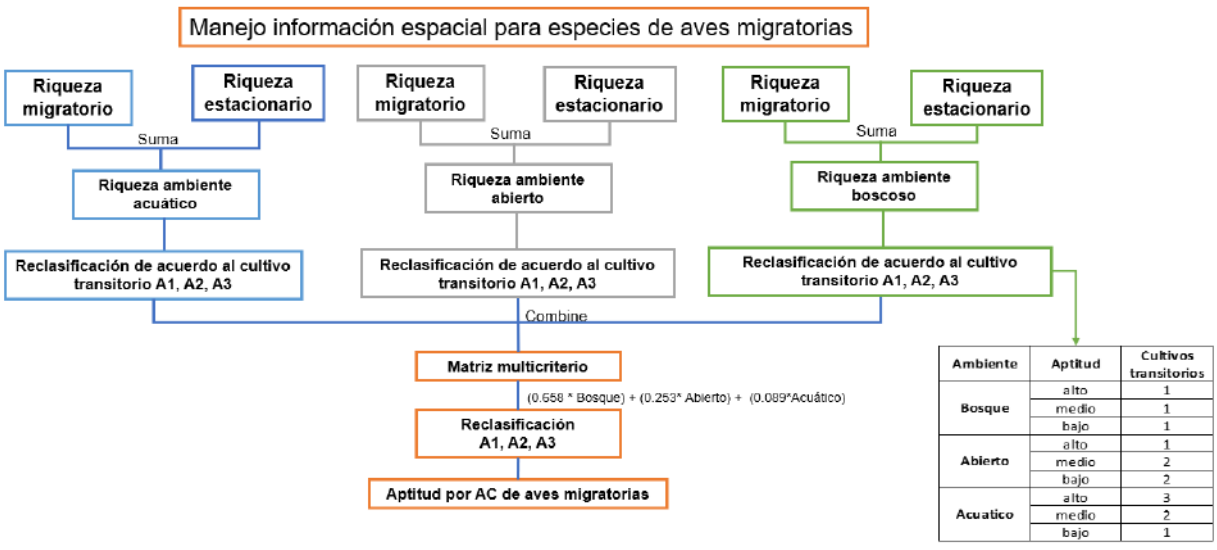
Para el desarrollo y análisis de las AICAS, se tomó la información suministrada por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH) relacionada con las AICAS, en formato *shape* y documental. Se ajustó la riqueza de la capa AICAS (IAvH, 2015) de acuerdo con la información publicada en la página BirdLife International, tomando las categorías de especies vulnerables y amenazadas de las AICAS. De la base de datos de especies se excluyeron las AICAS sin información georreferenciada y las especies duplicadas, luego de lo cual, para cada AICAS se definió el número de especies por categoría de amenaza a nivel nacional. Así, se definieron los rangos de riqueza aplicando la herramienta *natural breaks* de ArcGIS.

Para cada una de las AICAS, se calculó la densidad mediante el número de especies amenazadas: *en peligro crítico*, *en peligro* y *vulnerables*, que se reporta en cada AICAS de acuerdo con la base de datos facilitada, y se dividió por el área del AICAS en kilómetros cuadrados. Finalmente, para la reclasificación se calculó el logaritmo natural de la densidad obtenida y de allí se determinaron los rangos para su reclasificación, como se muestra a continuación:

Rango (*Ln D*)	Descripción	Código
Menor a –8,085	Áreas sin identificación de AICAS	A1
De –8,085 a –6,137 De –6,137 a –4,189	AICAS muy baja de especies sensibles AICAS baja de especies sensibles	A2
De –4,189 a –2,241 De –2,241 a –0,293 De –0,293 a 1,67	AICAS moderada de especies sensibles AICAS alta de especies sensibles AICAS muy alta de especies sensibles	A3

Áreas críticas (AC) para aves migratorias en paisajes agropecuarios

A partir de la información producida por García-Márquez, Moreno y Sacharow (2012), se emplearon las capas relacionadas con la riqueza de especies de periodo estacionario y migratorio asociadas a ambientes acuáticos, abiertos y de bosque. Para los hábitats de bosque y acuático, se realizó un esquema por *fuzzy*, en el que 1 es la menor presencia y 3, la mayor. Seguido a esto, los tres hábitats se reclasificaron y se combinaron. La reclasificación se realizó teniendo en cuenta la implementación de cultivos transitorios, como los de maíz tradicional, y su afectación en la aptitud de la riqueza. En el procedimiento para encontrar la aptitud de acuerdo con la riqueza de especies migratorias asociadas a ambientes acuáticos, abiertos y de bosque, en los periodos migratorio y estacionario, se sumaron estas dos capas con el fin de identificar las áreas que representan ambientes críticos a lo largo de todo el ciclo migratorio, como se ilustra en la siguiente figura:



A continuación, se consolidaron los ambientes mediante matrices multicriterio, las cuales permiten determinar el porcentaje de participación de cada ambiente, así:

Riqueza de especies migratorias = (0,658 * bosque) + (0,253 * abierto) + (0,089 * acuático)

Los valores de la riqueza se reclasificaron aplicando la herramienta de intervalos geométricos de ArcGIS para asignar categorías de aptitud, como se puede observar en la siguiente tabla:

Rango	Aptitud
>1,911	A1
1,658-1,911	A2
<1,658	A3

Para estructurar toda la información de concentración de especies sensibles relacionada con la biodiversidad y evitar redundancias, se realizó una integración a través de matrices multicriterio, de los cual se obtuvieron los siguientes pesos:

$$ACES = 0,5\ (APC) + 0,25\ (AICAS) + 0,25\ (migratorias).$$

Para las áreas que no presentaron información de especies migratorias, se manejó la siguiente integración:

$$ACES = 0,7\ (APC) + 0,3\ (AICAS)$$

La definición de aptitud se realizó a través de intervalos geométricos, como se puede consultar en la tabla de abajo:

Rango	Aptitud
1,5-2,75	A1
1,0-1,15	A2
0,7-1,0	A3

Fuentes de información

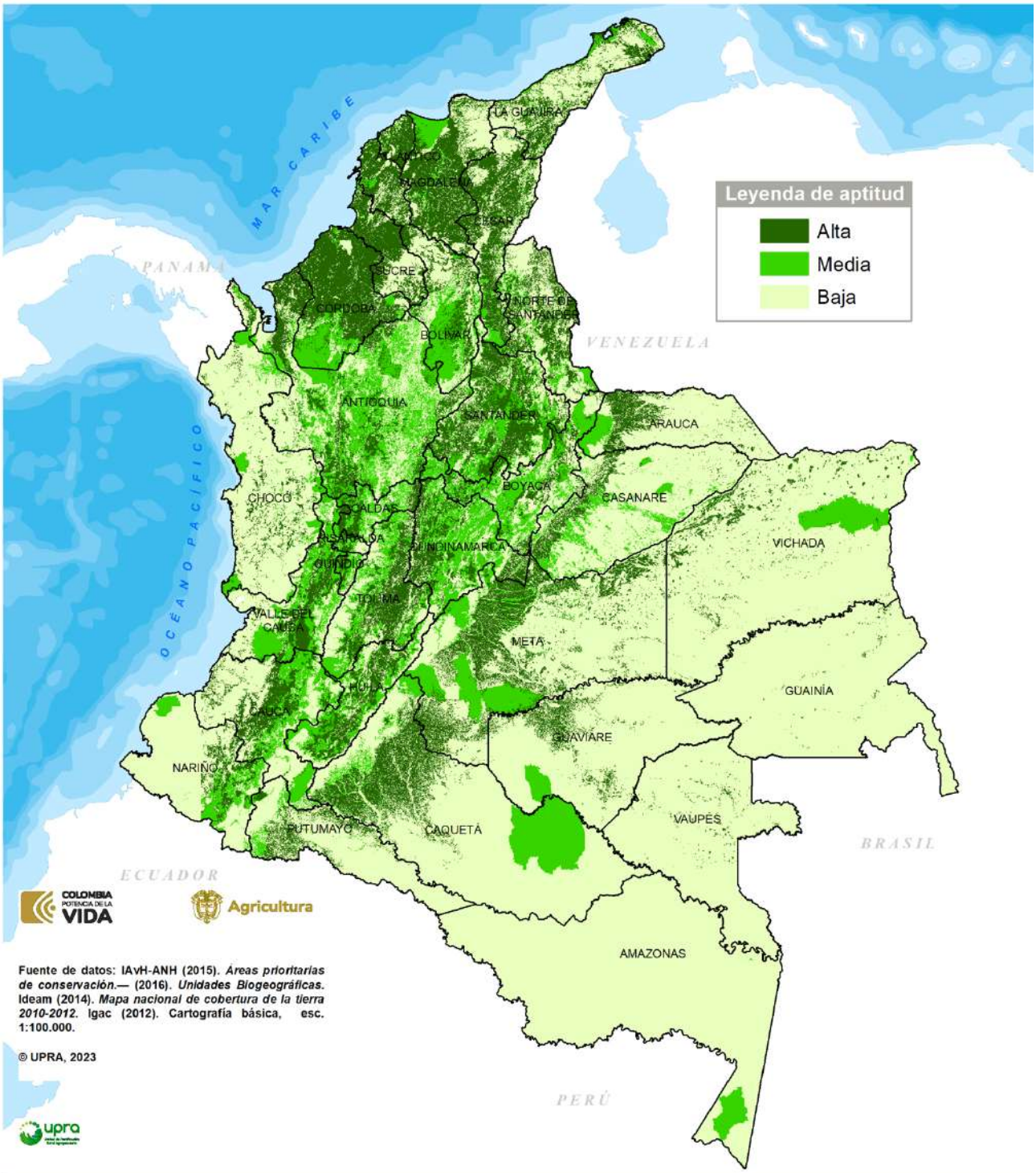
Franco, A.M., Devenish, C., Barrero, M.C. y Romero, M.H. (2009). Colombia. En Devenish, C., Díaz, D.F., Clay, R. P., Davidson, I., & Yépez, I. (eds.). *Important bird areas Americas: priority sites for biodiversity conservation* (pp. 135-148). Quito, Ecuador: Birdlife International. Recuperado de https://n9.cl/tou2e

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*. Bogotá, Colombia: 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*. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt 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)*. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Representación cartográfica de la variable



Criterio *integridad ecológica*

Variable *áreas de concentración de especies sensibles (ACES)*

2.3. Criterio *variación del contenido estimado de carbono*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
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

Es un criterio basado en la variación del contenido estimado de carbono en la biomasa, cuya unidad de medida es el índice de variación del contenido estimado de carbono.

Definición

Este criterio se asocia a los efectos ambientales de las actividades agropecuarias sobre la dinámica de captura y emisión de carbono, por lo cual la variación del contenido estimado de carbono se asocia al balance entre el contenido de carbono de la biomasa área y subterránea de la cobertura vegetal frente al potencial de cambio debido al establecimiento de cultivos de maíz tradicional. Esto permite establecer la sostenibilidad ambiental asociada al almacenamiento de carbono, clasificando áreas que se comportan como sumidero o emisión de carbono (UPRA, 2016).

Importancia del criterio

Permite determinar la sostenibilidad ambiental de un territorio en términos de la prestación del servicio ecosistémico de almacenamiento de carbono. De forma complementaria, esta 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 para 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

De forma consecuente con las metodologías empleadas, la estimación del contenido de carbono en las coberturas a partir de la productividad primaria neta se realizó a través de imágenes MODIS, las cuales tienen como mayor limitante la resolución espacial y la temporalidad.

Metodología de evaluación

El modelo utilizado de estimación del contenido de carbono se fundamentó en el cálculo de carbono contenido en la biomasa vegetal aérea, subterránea y del suelo, de acuerdo con la siguiente metodología:

a. Contenido de carbono en la biomasa vegetal aérea.

La estimación de la biomasa vegetal aérea (BA) se realizó a partir de la 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, según el rango del espectro electromagnético de infrarrojo de onda corta (SWIR, por sus siglas en inglés).

b. Contenido de carbono en la biomasa vegetal subterránea

La estimación de la biomasa subterránea se efectuó de acuerdo con los fundamentos planteados por Cairns *et al*. (1997) y Brown & Lugo (1992), según la siguiente ecuación:

$$\text{Biomasa vegetal subterránea} = e^{(-1{,}085 + 0{,}925 \times Ln(BA))}$$

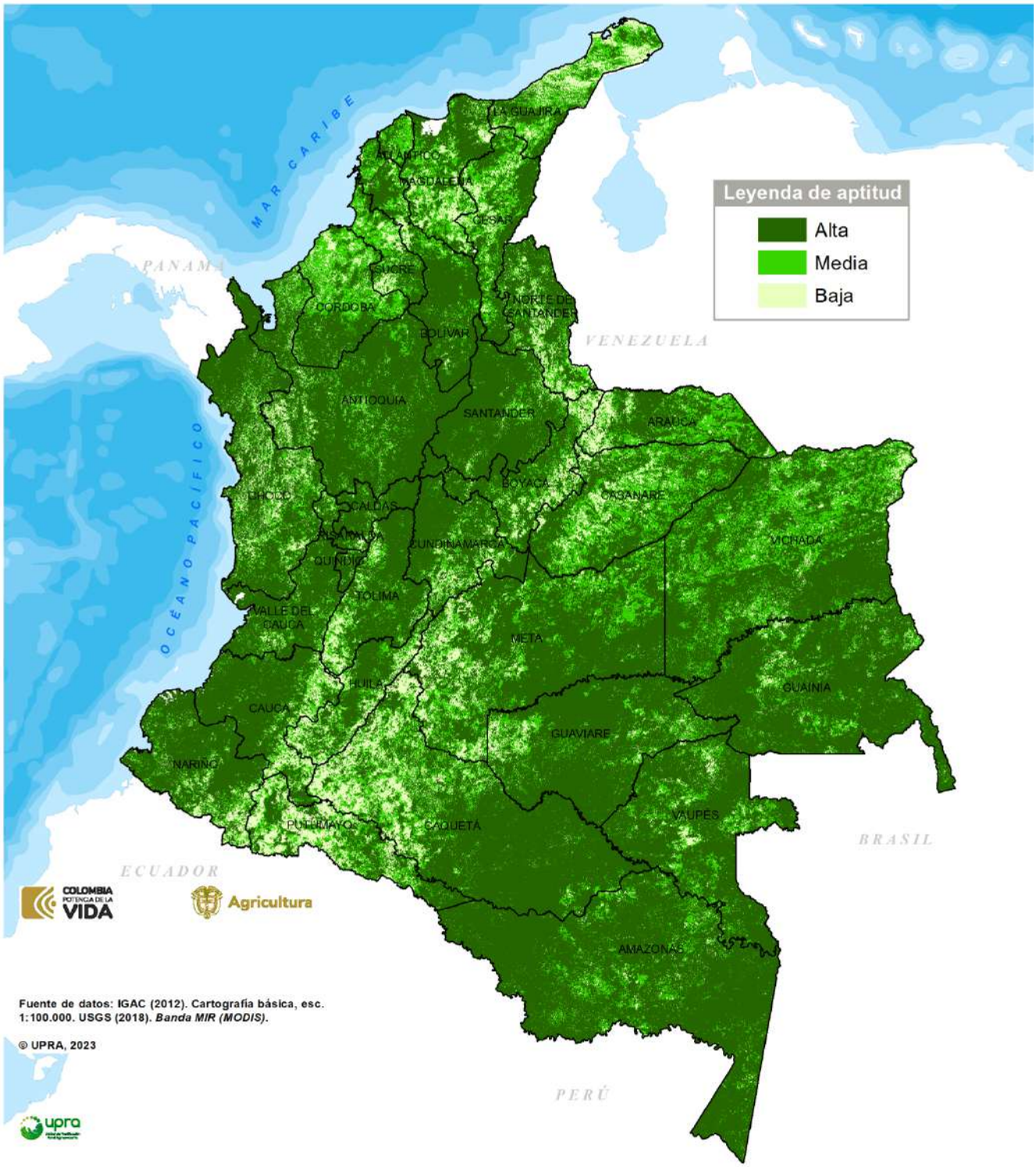
Igualmente, para el mapa de biomasa subterránea se calculó el mapa de carbono en biomasa subterránea de acuerdo con De Klein *et al*. (2006), mediante la siguiente ecuación:

$$C(\text{biomasa subterránea}) = \text{biomasa subterránea}/2$$

c. 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, el cual se presenta a continuación:

Carbono total contenido en la biomasa, cultivo comercial de maíz tradicional:



Criterio *variación del contenido estimado de carbono*

d. Contenido de carbono en el suelo

El contenido de carbono en el suelo se estimó a partir de la información suministrada por el International Soil Reference and Information Centre (2015) a partir de 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. El mapa de carbono orgánico total en el suelo se efectuó por álgebra de mapas mediante la aplicación de la siguiente ecuación, propuesta por la FAO (2013):

Carbono orgánico suelo = % carbono orgánico × densidad aparente × profundidad (0,3 m) × (1 –% fragmentos gruesos)

e. Contenido de carbono total

El mapa de carbono total se generó a partir de la suma de los mapas de biomasa vegetal subterránea y del carbono orgánico en el suelo.

f. 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 por hectárea del cultivo de maíz y el carbono capturado en toneladas por hectárea por año para cada departamento, como se observa en la siguiente tabla:

Departamento	Área sembrada	Cantidad de residuo (t/año)	Producción frutos t/ha/año	Cantidad de residuo (t/ha/año)	Biomasa Total (t/ha/año)	Carbono capturado (t/ha/año)
Antioquia	50.079	128.612	2	2,57	4,57	2,28
Atlántico	11.584	28.091	2	2,42	4,42	2,21
Bolívar	78.093	218.782	2	2,80	4,80	2,40
Boyacá	15.181	32.638	2	2,15	4,15	2,07
Caldas	3.017	12.483	2	4,14	6,14	3,07
Caquetá	7.410	9.632	2	1,30	3,30	1,65
Cauca	7.540	19.290	2	2,56	4,56	2,28
Cesar	52.455	146.078	2	2,78	4,78	2,39
Córdoba	70.741	292.420	2	4,13	6,13	3,07
Cundinamarca	27.635	88.184	2	3,19	5,19	2,60
Chocó	8.445	19.766	2	2,34	4,34	2,17
Huila	29.749	101.608	2	3,42	5,42	2,71
La Guajira	13.279	27.761	2	2,09	4,09	2,05

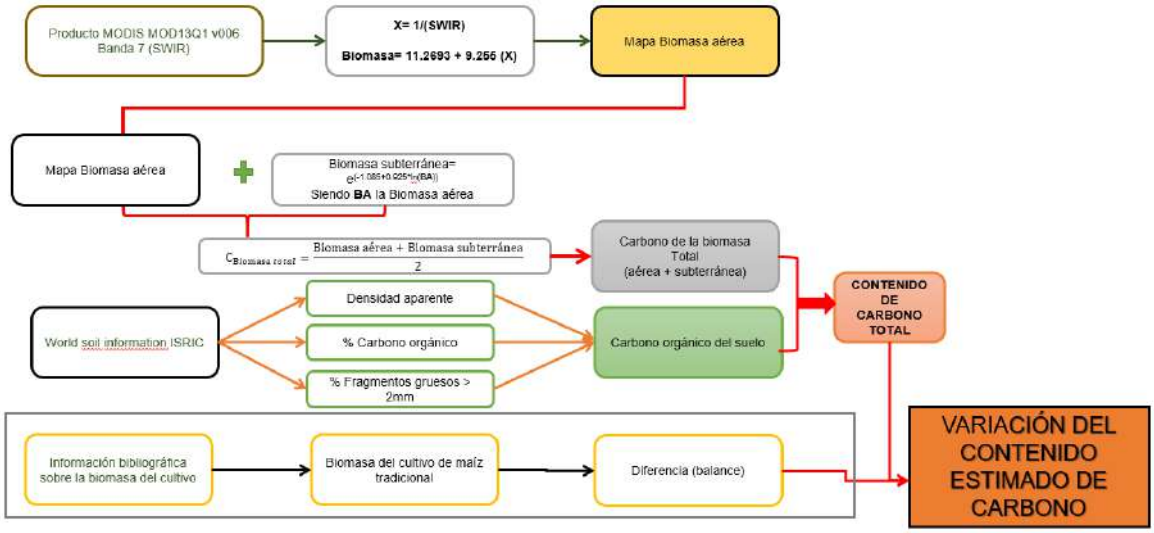
Magdalena	29.618	46.907	2	1,58	3,58	1,79
Meta	22.565	110.473	2	4,90	6,90	3,45
Nariño	18.140	39.988	2	2,20	4,20	2,10
Norte de Santander	9.468	18.038	2	1,91	3,91	1,95
Quindío	1.532	3.871	2	2,53	4,53	2,26
Risaralda	2.459	13.101	2	5,33	7,33	3,66
Santander	24.645	88.004	2	3,57	5,57	2,79
Sucre	19.348	55.209	2	2,85	4,85	2,43
Tolima	24.569	117.654	2	4,79	6,79	3,39
Valle del Cauca	31.568	223.472	2	7,08	9,08	4,54
Arauca	16.765	40.517	2	2,42	4,42	2,21
Casanare	3.224	7.720	2	2,39	4,39	2,20
Putumayo	16.994	28.921	2	1,70	3,70	1,85
Guaviare	7.689	15.424	2	2,01	4,01	2,00
Guainía	46	98	2	2,13	4,13	2,07
Vaupés	610	807	2	1,32	3,32	1,66
Vichada	335	929	2	2,77	4,77	2,39

La calificación de la aptitud se llevó a cabo 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 el cultivo de maíz tradicional, cuyo objetivo consistió en obtener el mapa de diferencia en carbono total frente al cultivo:

$$\Delta \mathrm{CEC} = \frac{\mathrm{C}_{cobertura} - \mathrm{C}_{cultivo\ de\ maíz\ tradicional}}{\mathrm{C}_{cobertura}}$$

De esta forma, dependiendo de la cobertura existente, el establecimiento de cultivos de maíz tradicional puede representar una mayor cantidad de carbono almacenado en comparación con la cobertura actual, en cuyo caso el reemplazo representa una ganancia en términos de la captura (toneladas de carbono por hectárea por año). En otras circunstancias de cobertura actual, el reemplazo puede representar una cantidad capturada semejante o, incluso, puede 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 el siguiente diagrama de flujo que resume la metodología:



Los valores obtenidos en este mapa se reclasificaron según los rangos de aptitud propuestos en la presente metodología de zonificación.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

La calificación de la aptitud para el cultivo de maíz tradicional, desde el punto de vista de este criterio, se estableció siguiendo los siguientes conceptos:

Descripción	Variación del contenido estimado de carbono (%)	Aptitud
El cultivo es sumidero de carbono	<85	Alta (A1)
El cultivo está en equilibrio entre emisión y captura de carbono	85-93	Media (A2)
El cultivo es fuente de emisión de carbono	>93	Baja (A3)

Fuentes de información

Brown, S. & Lugo, A.E. (1992). Aboveground biomass estimates for tropical moist forests of the Brazilian Amazon. *Interciencia, 17*(1), 8-18. Recuperado de https://n9.cl/lf729

Cairns, M.A., Brown, S., Helmer, E.H. & Baumgardner, G.A. (1997). Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia, 111*(1),1-11. DOI: https://doi.org/10.1007/s004420050201

Canadell, J.G. & Raupach, M.R. (2008). Managing forests for climate change mitigation. *Science, 320*(5882),1456-1457. DOI: https://doi.org/10.1126/science.1155458

Capoor, K. & Ambrosi, P. (2008). *State and trends of the carbon market 2008*. Washington, D.C., United States of America: World Bank Institute. Recuperado de https://n9.cl/6kns5

Consorcio CUE (2012). Proyecto *"Estrategias de energía sostenible y biocombustibles para Colombia ATN/JC-10826-CO y ATN/JF-10827-CO": "Evaluación del ciclo de vida de la cadena de producción de biocombustibles en Colombia"*. Medellín, Colombia: Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Ministerio de Minas y Energía (MME), Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (MAVDT), Departamento Nacional de Planeación (DNP).

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*. Hayama, Japón: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Recuperado de https://n9.cl/3j5i9

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

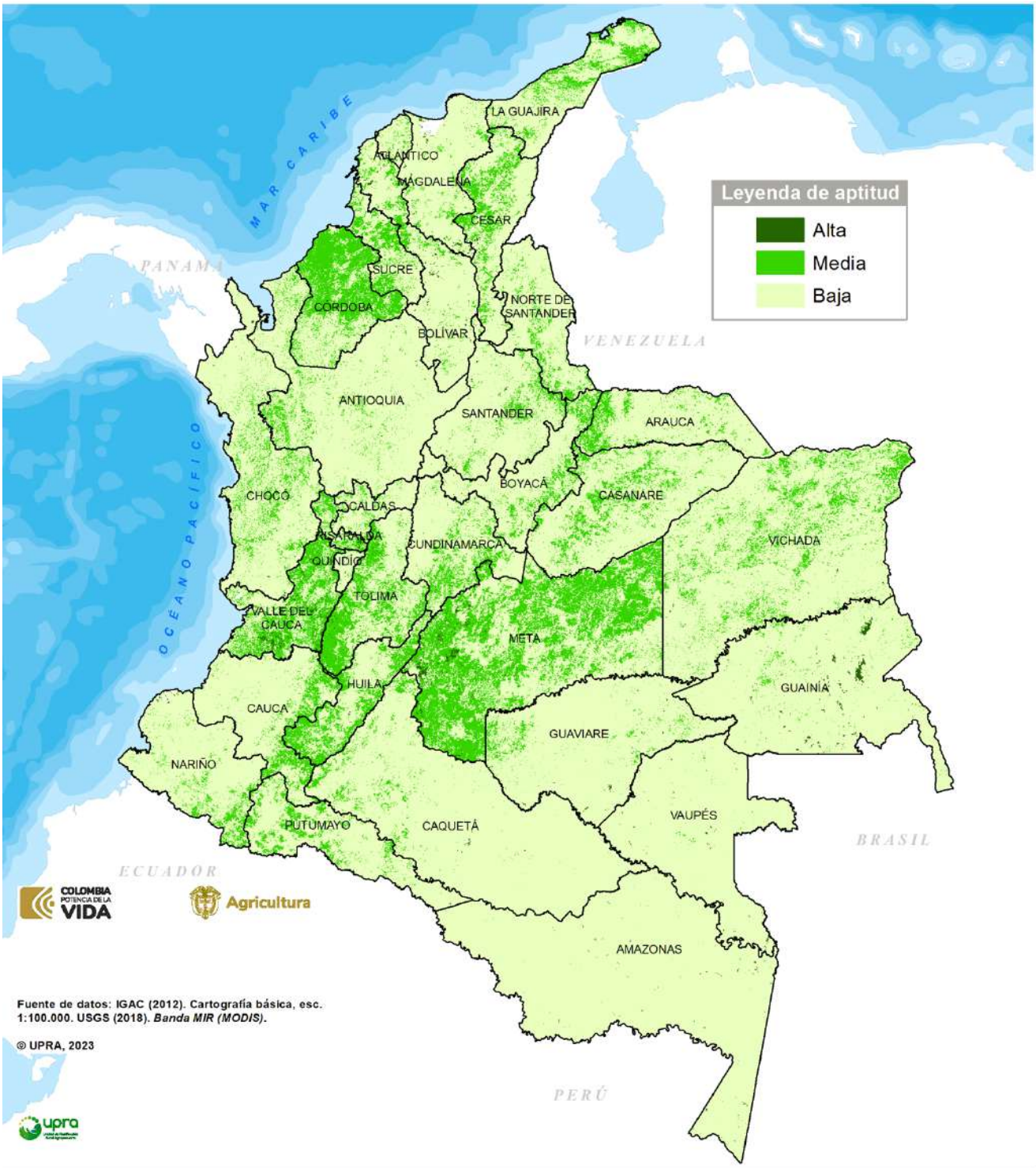
International Soil Reference and Information Centre-World Soil Information (2013). *SoilGrids: an automated system for global soil mapping*. Wageningen, The Netherlands: International Soil Reference and Information Centre (ISRIC)-World Soil Information.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2007). *Carga de combustible de las coberturas vegetales de Colombia, escala 1:500.000*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT).

Phillips, J.F., Duque, A.J., Yepes, A.P., Cabrera, K.R., García, M.C. Navarrete, D.A., ... Cárdenas, D. (2011). *Estimación de las reservas potenciales de carbono almacenadas en la biomasa aérea en bosques naturales de Colombia*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales (Ideam). Recuperado de: https://n9.cl/f98vk

Stern, N. (2007). *The economics of climate change: stern review*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press. DOI: https://doi.org/10.1017/CBO9780511817434

Representación cartográfica del criterio



Criterio *variación del contenido estimado de carbono*

2.5. Criterio *cambio de cobertura*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: socioecosistémico		
Criterio: *cambio de cobertura*		
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	✓
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Variable asociada al criterio

Cambio de coberturas de la tierra, clasificación Corine Land Cover (CLC), adaptada para Colombia y biomas de Colombia (Ideam, 2021). El análisis a escala 1:100.000 se realizó con ambas fuentes. La unidad de medida de la variable correspondió a la categoría de favorabilidad del cambio de cobertura para el establecimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) tradicional.

Definición

La cobertura de la tierra puede definirse como el recubrimiento biofísico que se observa sobre la superficie de la tierra (Di Gregorio, 2005) y describe la vegetación y elementos antrópicos existentes sobre ella. La cobertura de la tierra y los cambios que ocurren dentro son fundamentales para un gran número de procesos físicos del cambio global. De tal modo, este criterio es relevante para determinar la aptitud del territorio, debido a que es el resultado de la interacción de factores físicos, económicos, tecnológicos, institucionales y culturales que operan a diferentes escalas espacio-temporales y que se correlacionan con procesos que ocurren a nivel de los ecosistemas y 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, los flujos de materia y energía en los ecosistemas, incluyendo las emisiones de gases de efecto de invernadero y el ciclo hidrológico (Chhabra & Geist 2006; Di Gregorio, 2005). Es decir: las coberturas son el resultado de la asociación espacio-temporal de elementos naturales y sociales característicos. Este criterio determina la aptitud del territorio al cambio de cobertura existente producido por el establecimiento del cultivo de maíz tradicional, determinando la favorabilidad o no del cambio de la cobertura en el marco de la sostenibilidad del territorio y bajo los siguientes principios: grado de antropización y transformación de las coberturas; importancia ecológica y ambiental de cada tipo de cobertura de acuerdo con sus características; importancia de la cobertura frente a la producción alimentaria.

Importancia del criterio

A través de este criterio, es posible identificar áreas con vegetación natural sujeta a exclusiones y áreas transformadas donde es favorable establecer el cultivo de maíz tradicional. La identificación se define bajo una visión integral del territorio, pues reconoce las zonas donde el cambio propuesto genera menor y mayor impacto en la dinámica ecológica.

Limitantes de la evaluación del criterio

Los limitantes identificados se relacionaron con la información básica a través de la cual se construyó esta variable, en primera instancia, 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, ésta engloba las coberturas de forma muy general con la consiguiente pérdida de información que ello supone para la gestión del territorio a escala regional (Aguilera *et al.*, 2009).

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado

Las exclusiones técnicas del criterio cambio de cobertura fueron definidas bajo los siguientes parámetros:

a. Coberturas que no hacen parte de la frontera agrícola nacional

Se tomó como primer referente de exclusión todas las coberturas que no fueran parte de la frontera agrícola (Resolución 261 de 2018, MADR), las cuales se relacionan a continuación:

1.1.1. Tejido urbano continuo	1.4.1.6. Rondas de cuerpos de agua de zonas urbanas	3.2.1.1.2.1. Herbazal denso inundable no arbolado
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	1.4.2. Instalaciones recreativas	3.2.1.1.2.2. Herbazal denso inundable arbolado
1.2.1. Zonas industriales o comerciales	1.4.2.1. Áreas culturales	3.2.1.1.2.3. Arracachal
1.2.1.1. Zonas industriales	1.4.2.2. Áreas deportivas	3.2.1.2.1. Herbazal abierto arenoso
1.2.1.2. Zonas comerciales	1.4.2.3. Áreas turísticas	3.2.1.2.2. Herbazal abierto rocoso
1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	3.1.1.1.1. Bosque denso alto de tierra firme	3.2.2.1. Arbustal denso
1.2.2.1. Red vial y territorios asociados	3.1.1.1.2. Bosque denso alto inundable	3.2.2.2. Arbustal abierto
1.2.3. Zonas portuarias	3.1.1.1.2.1. Bosque denso alto inundable heterogéneo	3.2.2.2.2. Arbustal abierto mesófilo
1.2.3.1. Zonas portuarias fluviales	3.1.1.1.2.2. Manglar denso alto	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición
1.2.4. Aeropuertos	3.1.1.1.2.3. Palmares	3.2.3.1. Vegetación secundaria alta

1.2.4.1. Aeropuerto con infraestructura asociada	3.1.1.2.1. Bosque denso bajo de tierra firme	3.2.3.2. Vegetación secundaria baja
1.2.4.2. Aeropuerto sin infraestructura asociada	3.1.1.2.2. Bosque denso bajo inundable	3.3.1. Zonas arenosas naturales
1.2.5. Obras hidráulicas	3.1.2.1.1. Bosque abierto alto de tierra firme	3.3.1.1. Playas
1.3.1. Zonas de extracción minera	3.1.2.1.2. Bosque abierto alto inundable	3.3.1.2. Arenales
1.3.1.1. Otras explotaciones mineras	3.1.2.2.1. Bosque abierto bajo de tierra firme	3.3.1.3. Campos de dunas
1.3.1.2. Explotación de hidrocarburos	3.1.2.2.2. Bosque abierto bajo inundable	3.3.2. Afloramientos rocosos
1.3.1.3. Explotación de carbón	3.1.3. Bosque fragmentado	4.1.1. Zonas pantanosas
1.3.1.4. Explotación de oro	3.1.3.1. Bosque fragmentado con pastos y cultivos	4.1.2. Turberas
1.3.1.5. Explotación de materiales de construcción	3.1.3.2. Bosque fragmentado con vegetación secundaria	4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua
1.3.1.6. Explotación de sal	3.1.4. Bosque de galería y ripario	4.2.1. Pantanos costeros
1.3.2. Zona de disposición de residuos	3.1.5.1. Plantación de coníferas	4.2.2. Salitral
1.3.2.1. Otros sitios de disposición de residuos a cielo abierto	3.1.5.2. Plantación de latifoliadas	4.2.3. Sedimentos expuestos en bajamar
1.3.2.4. Relleno sanitario	3.2.1.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado	5.1.1. Ríos
1.4.1. Zonas verdes urbanas	3.2.1.1.1.2. Herbazal denso de tierra firme arbolado	5.2.1. Lagunas costeras
1.4.1.1. Otras zonas verdes urbanas	3.2.1.1.1.3. Herbazal denso de tierra firme con arbustos	5.2.3. Estanques para acuicultura marina
1.4.1.2. Parques cementerio	3.2.1.1.2. Herbazal denso inundable	—

b. Coberturas incompatibles con el TUT.

Además de las coberturas que no son parte de la frontera agrícola, se incluyeron otras coberturas y biomas-coberturas que, por sus características, eran incompatibles, las cuales se enlistan a continuación:

Coberturas
3.3.3. Tierras desnudas y degradadas
3.3.4. Zonas quemadas
5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales
5.1.3. Canales

5.1.4. Cuerpos de agua artificiales
5.1.4.1. Embalses
5.1.4.2. Lagunas de oxidación
5.1.4.3. Estanques para acuicultura continental

Biomas-cobertura
3.2.1.1.2. Herbazal denso de tierra firme no arbolado **Biomas:** halobioma del Caribe, halobiomas del Pacífico, helobioma de La Guajira, helobiomas andinos, helobiomas del Magdalena y Caribe, helobiomas del Pacífico y Atrato, helobiomas del Valle del Cauca, litobiomas de la Amazonia y Orinoquia, orobioma alto de Santa Marta, orobioma bajo de Santa Marta y Macuira, orobioma de La Macarena, orobioma del Baudó y 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 río Dagua, orobiomas bajos de los Andes, orobiomas medios de los Andes, 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 Orinoquia, zonobioma húmedo tropical del Magdalena y Caribe, zonobioma húmedo tropical del Pacífico y Atrato, zonobioma seco tropical del Caribe.
3.2.1.1.2. Herbazal denso de tierra firme arbolado **Biomas:** halobioma del Caribe, halobiomas del Pacífico, helobiomas andinos, helobiomas del Magdalena y Caribe, helobiomas del Pacífico y Atrato, litobiomas de la Amazonia y Orinoquia, orobioma bajo de Santa Marta y Macuira, orobioma del Baudó y Darién, orobioma medio de Santa Marta, orobiomas altos de los Andes, orobiomas azonales del Valle del Patía, orobiomas bajos de los Andes, orobiomas medios de los Andes, zonobioma alternohígrico o subxerofítico tropical del Alto Magdalena, zonobioma alternohígrico o subxerofítico tropical del Valle del Cauca, zonobioma húmedo tropical de la Amazonia y Orinoquia, zonobioma húmedo tropical del Pacífico y Atrato, zonobioma seco tropical del Caribe.

c. Bosques naturales 2010

La capa de bosques naturales al año 2010 se obtuvo del mapa bosque/no bosque para Colombia, área continental (imágenes a escala fina *Landsat*, escala 1:100.000) del Ideam (2016). Esta capa permite precisar las áreas con coberturas en bosques naturales y descontar estas áreas del mapa obtenido de áreas transformadas para actividades agropecuarias (UPRA, 2018), que generó una exclusión técnica (N1). Esta capa responde a lo adquirido en el Acuerdo de París y a la *Estrategia integral de control a la deforestación y gestión de los bosques*. El año 2010 corresponde al punto de referencia para el corte de la medición de los gases de efecto invernadero (GEI), a partir del cual se proyectó la meta de reducción de emisiones GEI en Colombia para el año 2030. En este mismo año se presentó un cambio en el comportamiento de la deforestación.

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, escala 1:100.000*, la cual proporciona las características temáticas de cobertura y uso de la tierra del país. Ésta 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, lo cual facilita los procesos de seguimiento de los cambios y la evaluación de la dinámica de las coberturas terrestres (Ideam, 2010). Para construir este criterio, se hizo uso de la información referente a los biomas desarrollada en el *Mapa nacional de ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia* (Ideam *et al*., 2017). Con este análisis se calificó la aptitud de cada una de las coberturas de acuerdo con el bioma en donde se localizan, como se observa en el siguiente esquema metodológico:

Esquema metodológico del criterio cambio de cobertura



Mediante este ejercicio, fue posible reclasificar las unidades de la cobertura de la tierra, para lo cual se asignó un grado de aptitud (A1, A2, A3 o N1), reclasificación que se fundamentó en el tipo de bioma en donde se localiza cada unidad de cobertura. Este procedimiento implicó analizar las características de cada bioma, su importancia ambiental y las cualidades de cada tipo de cobertura, con el fin de determinar el grado de aptitud o establecer si, dadas sus características ambientales —sensibilidad, singularidad, rareza y distribución geográfica—, hacen favorable o no el establecimiento del cultivo de maíz tradicional, como se puede consultar en la siguiente tabla:

Grado de aptitud	Descripción
A1	Zonas de alta favorabilidad para el establecimiento del cultivo de maíz tradicional, donde predominan los cultivos transitorios dedicados a la producción de arroz, maíz, hortalizas, papa y cultivos permanentes para la producción de materias primas industriales, como caña o algodón. Además, predominan las áreas de pastos limpios, enmalezados y arbolados, y zonas quemadas, mosaico de cultivos y mosaicos de pastos y cultivos
A2	Zonas de moderada favorabilidad para el establecimiento del cultivo de maíz tradicional, dedicadas a usos agrícolas, donde predominan los cultivos permanentes herbáceos y arbustivos; algunos pastos limpios y enmalezados; mosaicos de pastos y cultivos; mosaicos de cultivos; pastos y espacios naturales
A3	Zonas con favorabilidad marginal para el establecimiento del cultivo de maíz tradicional, que corresponde a coberturas en donde predominan los cultivos de ciclo corto o permanentes dedicados a la producción de alimentos humanos; plantaciones forestales y cultivos agroforestales; y mosaicos que involucran espacios naturales. También incluye algunas unidades de coberturas naturales, como herbazales densos de tierra firme y herbazales densos inundables.
N1	Zonas no favorables para el establecimiento del cultivo de maíz tradicional. Son zonas que han sido excluidas técnicamente y están referidas, principalmente, a las coberturas naturales y seminaturales; las áreas húmedas; las superficies de aguas; y los territorios artificializados.

En lo referente a las coberturas naturales y seminaturales, una vez interpretada la reclasificación coberturas-biomas, se estableció que los herbazales densos de tierra firme y las zonas quemadas en algunos casos puntuales no fueron totalmente excluyentes, pero sí pueden ser áreas con cierta categoría de aptitud para el establecimiento del cultivo de maíz tradicional. Adicionalmente, se realizó una comparación de las áreas que están dentro de frontera agrícola asociadas a las zonas Pacífico y Amazonia, que inicialmente se encontraban excluidas en el criterio y se calificaron con *aptitud baja* (A3), como se muestra a continuación:

Rangos para la asignación de valores de aptitud			
A1	A2	A3	
2.1.1. Otros cultivos transitorios	2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	2.1.2. Cereales	2.3.1. Pastos limpios
2.1.2. Cereales	2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	2.1.2.1. Arroz	2.3.2. Pastos arbolados

2.1.2.1. Arroz	2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	2.1.2.2. Maíz	2.3.3. Pastos enmalezados
2.1.2.2. Maíz	2.2.2.2. Café	2.1.2.3. Sorgo	2.4.1. Mosaico de cultivos
2.1.2.3. Sorgo	2.3.1. Pastos limpios	2.1.3.4. Soya	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos
2.1.3. Oleaginosas y leguminosas	2.3.3. Pastos enmalezados	2.1.4. Hortalizas	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales
2.1.3.1. Algodón	2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales
2.1.3.4. Soya	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales
2.1.4. Hortalizas	—	2.2.1.2. Caña	3.1.5. Plantación forestal
2.1.4.1. Cebolla	—	2.2.1.3. Plátano y banano	3.1.5.1. Plantación de coníferas
2.1.5. Tubérculos	—	2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	3.1.5.2. Plantación de latifoliadas
2.1.5.1. Papa	—	2.2.2.1. Otros cultivos permanentes arbustivos	3.2.1.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	—	2.2.2.2. Café	3.2.1.1.1.2. Herbazal denso de tierra firme arbolado
2.2.1.1. Otros cultivos permanentes herbáceos	—	2.2.2.3. Cacao	3.2.1.1.1.3. Herbazal denso de tierra firme con arbustos
2.2.1.2. Caña	—	2.2.2.4. Viñedos	3.2.1.1.2. Herbazal denso inundable
2.2.1.2.1. Caña de azúcar	—	2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	3.2.1.1.2.1. Herbazal denso inundable no arbolado
2.2.1.2.2. Caña panelera	—	2.2.3.1. Otros cultivos permanentes arbóreos	3.2.1.1.2.2. Herbazal denso inundable arbolado
2.3.1. Pastos limpios	—	2.2.3.2. Palma de aceite	3.3.4. Zonas quemadas
2.3.2. Pastos arbolados	—	2.2.3.3. Cítricos	—
2.3.3. Pastos	—	2.2.3.4. Mango	—

enmalezados			
2.4.1. Mosaico de cultivos	—	2.2.4. Cultivos agroforestales	—
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	—	2.2.4.1. Pastos y árboles plantados	
3.3.4. Zonas quemadas	—	2.2.5. Cultivos confinados	—

Fuentes de información

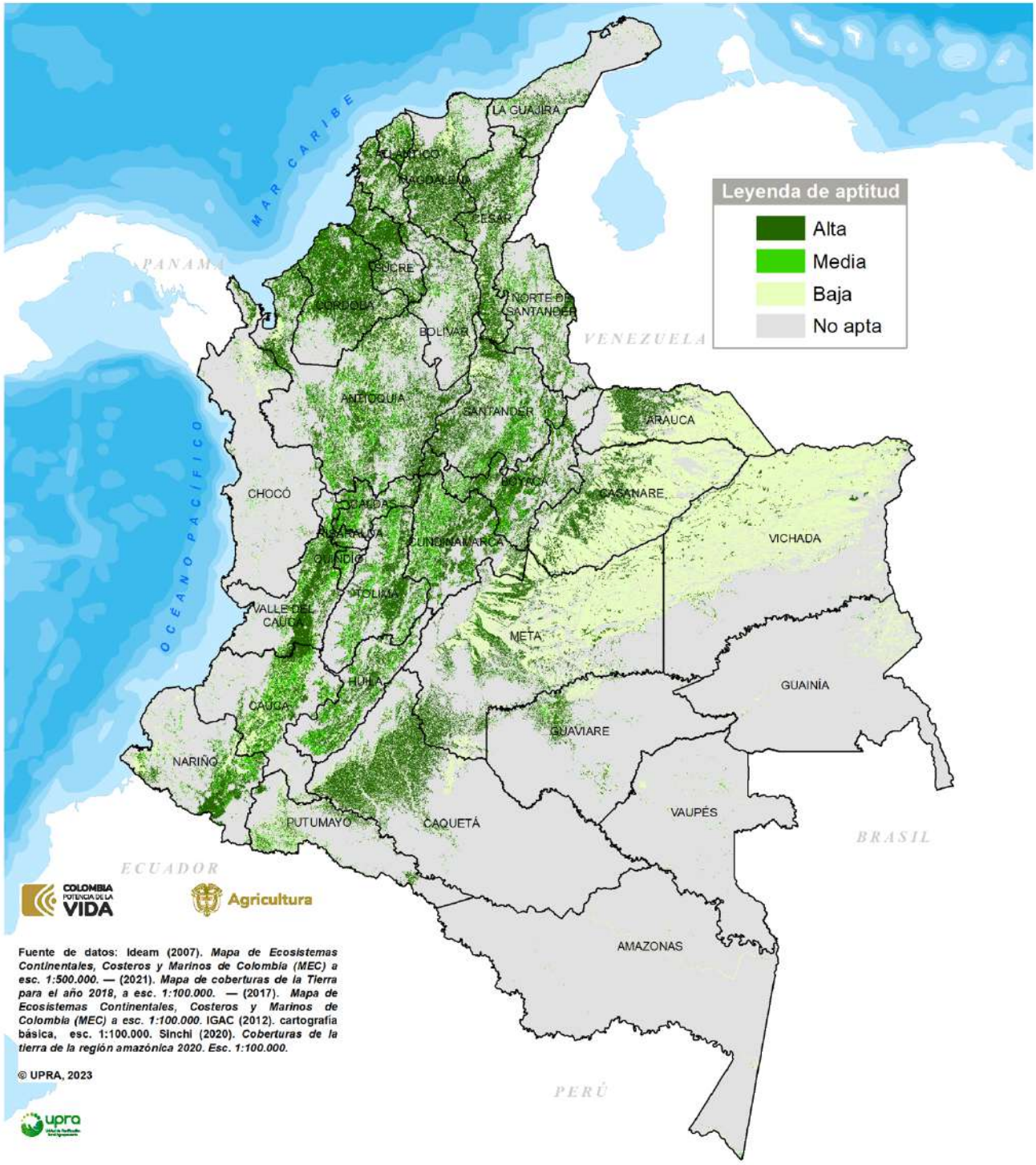
Di Gregorio, A y Jansen, L.J. (2005). *Sistema de clasificación de la cobertura de la tierra: conceptos de clasificación y manual para el usuario, versión 2 del programa*. Roma, Italia: Food and Agriculture Organizations of the United Nations (FAO), United Nations Environment Programme (UNEP), Cooperazione Italiana. Recuperado de 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*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). Recuperado de https://n9.cl/23v8d

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andréis e Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2017). Mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia, escala 1:100.000: memoria técnica. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). Recuperado de https://n9.cl/l63do

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). Berlin, Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Representación cartográfica del criterio



Criterio *cambio de cobertura*

2.6. Criterio *amenaza por incendios de la cobertura vegetal*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: socioecosistémico		
Criterio: *amenaza por incendios de la cobertura vegetal*		
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Variables asociadas al criterio

Es un criterio basado en el mapa de amenaza total de incendios de la cobertura vegetal, para lo cual se consideraron las categorías *muy baja*, *baja*, *moderada*, *alta* y *muy alta*. Este mapa es el resultado de la integración y evaluación de los siguientes factores: susceptibilidad de la vegetación a incendios de la cobertura vegetal; precipitación; temperatura; velocidad del viento; radiación solar; frecuencia de incendios de la cobertura vegetal; y pendientes. Cabe aclarar que este mapa es uno de los mapas intermedios que integran el mapa nacional de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal, desarrollado por el Ideam en el año 2009.

Definición

Este criterio permite medir no sólo la probabilidad que posee un área cualquiera de verse afectada por un incendio de la cobertura vegetal, sino también cómo puede esta posibilidad afectar en mayor o en menor medida los cultivos de maíz tradicional establecidos en una zona determinada del territorio colombiano.

Importancia del criterio

Los incendios de la cobertura vegetal son uno de los mayores peligros para cualquier tipo de cultivo, ya que pueden llegar a afectar unos pocos individuos e, incluso, destruir un cultivo por completo. Estas consecuencias generan pérdidas económicas e impactos ambientales negativos en el suelo, en la fauna y en la flora cercana. La amenaza total de incendios de la cobertura vegetal se debe entender como el peligro latente que representa la posible manifestación de este fenómeno. Esta amenaza total se expresa como la probabilidad de que un evento de este tipo se presente con una cierta intensidad, en un sitio específico y en un tiempo determinado.

Limitantes de la evaluación del criterio

La principal limitante identificada ser relaciona con la escala del *Mapa de amenaza total de incendios de la cobertura vegetal*, ya que la escala derivada del mapa es 1:500.000, lo cual generaliza la información analizada y le resta exactitud en el análisis.

Metodología de evaluación

El criterio *amenaza por incendios de la cobertura vegetal* se construyó con base en el *Mapa de amenaza total de incendios de la cobertura vegetal*, el cual relaciona la susceptibilidad de la vegetación a incendios de la cobertura vegetal; la precipitación; la temperatura; la velocidad del viento; la frecuencia de incendios de la cobertura vegetal; la pendiente; y la radiación solar, a partir de lo cual se atribuyeron las categorías A1, A2 y A3. De este modo, el mapa se propuso identificar el grado de amenaza por incendios de la cobertura vegetal que posee Colombia (Ideam, 2009).

Rangos para la asignación de valores de aptitud

La calificación de la aptitud para el cultivo de maíz tradicional, desde el punto de vista de este criterio, se establece siguiendo los siguientes preceptos:

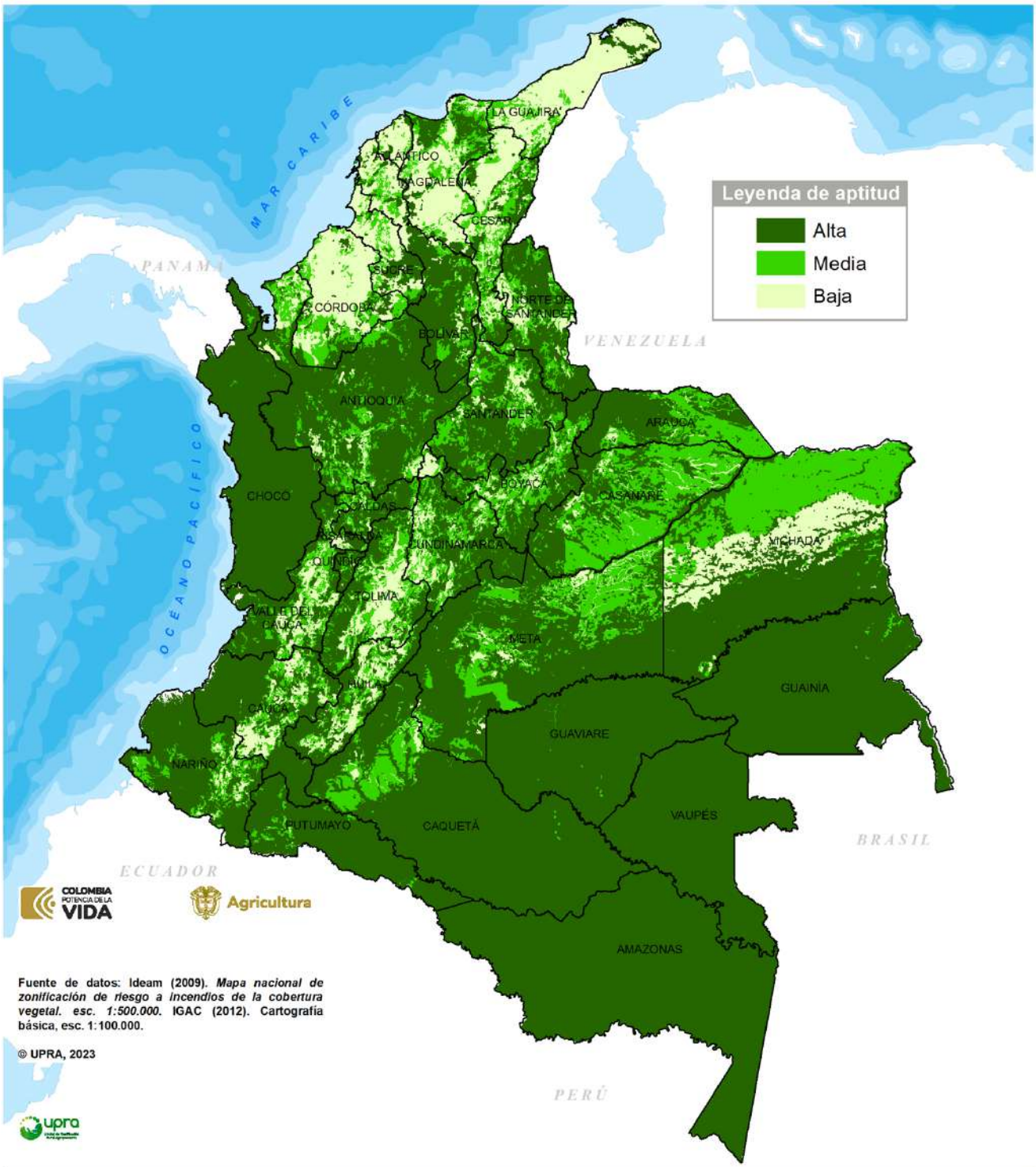
Categoría de amenaza	Descripción	Aptitud
Muy Baja	Áreas con mínima probabilidad de incendios de la cobertura vegetal	A1
Baja		
Moderada	Áreas con moderada probabilidad de incendios de la cobertura vegetal	A2
Alta	Áreas con alta probabilidad de incendios de la cobertura vegetal	A3
Muy Alta		

Fuentes de información

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2009). *Mapa nacional de zonificación de riesgo a incendios de la cobertura vegetal*. Bogotá, Colombia: 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).

Representación cartográfica del criterio



Criterio *amenaza por incendios de la cobertura vegetal*

3. Fichas metodológicas del componente socioeconómico

3.1. Criterio *asociatividad e institucionalidad*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: social		
Criterio asociado: *asociatividad e institucionalidad*		
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Variables asociadas al criterio

Cercanía a las asociaciones, expresada en tiempo de desplazamiento (horas).

Cercanía al gremio, expresada en tiempo de desplazamiento (horas).

Cercanía a entidades prestadoras de servicio de extensión agropecuaria (EPSEA), expresada en tiempo de desplazamiento (horas).

Cercanía a Agrosavia, expresada en tiempo de desplazamiento (horas).

Cercanía al ICA, expresada en tiempo de desplazamiento (horas).

Definición

Facilidad con la que se puede acceder, desde una asociación de productores de maíz, una institucionalidad gremial o una entidad que soporta la sanidad, la investigación y transferencia de tecnología agropecuaria, hasta otros puntos en el territorio. Identifica condiciones internas y externas a la cadena en términos de la oferta institucional, del fortalecimiento y de la consolidación del sector productivo.

Importancia del criterio

La asociatividad es un aspecto relevante del desarrollo de las actividades productivas, ya que refleja los liderazgos, la cohesión social y la construcción de redes para los productores de base y facilitan disponer de recursos para implementar proyectos productivos y desarrollar el sector en un municipio. La cercanía a la institucionalidad permite crear oportunidades para mejorar la productividad y abrir espacios para adaptar las unidades productivas a las condiciones del mercado. En este sentido, la cercanía a la institucionalidad ayuda a fortalecer procesos de innovación y cambio técnico, necesarios para responder a las necesidades del consumidor final.

Limitantes de la evaluación del criterio

La temporalidad de la información impidió conocer la ubicación actual de nuevas sedes o el cierre de otras, y su cobertura, que, en algunos casos, era municipal para las asociaciones o regional tanto para el gremio como para las EPSEA.

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, como se observa en la siguiente tabla:

Criterio	Variables	*Cercanía a las asociaciones*	*Cercanía al gremio*	*Cercanía a entidades prestadoras de servicio de extensión agropecuaria (EPSEA)*	*Cercanía a Agrosavia*	*Cercanía al ICA*
Asociatividad e institucionalidad	*Cercanía a las asociaciones*	1				
	Cercanía al gremio	1/3	1			
	Cercanía a entidades prestadoras de servicio de extensión agropecuaria (EPSEA)	1/3	1/3	1		
	Cercanía a Agrosavia	1/5	1/5	1/3	1	
	Cercanía al ICA	1/5	1/5	1/3	1/3	1

La escala de importancia dentro del proceso AHP tuvo cuenta la valoración entre pares de variables, como se registra a continuación:

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			

Haciendo 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, a las cuales se les asignó los valores *alta* (A1), *media* (A2) y *baja* (A3), como se muestra en las tablas siguientes:

Criterio	Variable	Ponderación (%)
Asociatividad e institucionalidad	*Cercanía a las asociaciones*	44,0
	Cercanía al gremio	28,3
	Cercanía a entidades prestadoras de servicio de extensión agropecuaria (EPSEA)	14,9
	Cercanía a Agrosavia	7,8
	Cercanía al ICA	5,0
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)
Cercanía a las asociaciones	Tiempo de desplazamiento (horas)	<1/2	1/2-1	>1
Cercanía al gremio	Tiempo de desplazamiento (horas)	<1/2	1/2-2	>2
Cercanía a entidades prestadoras de servicio de extensión agropecuaria (EPSEA)	Tiempo de desplazamiento (horas)	<1/2	1/2-2	>2
Cercanía a Agrosavia	Tiempo de desplazamiento (horas)	<1/2	1/2-2	>2
Cercanía al ICA	Tiempo de desplazamiento (horas)	<1/2	1/2-1	>1

Fuentes de información

Agencia de Desarrollo Rural (2020). *Registro de las entidades prestadoras del servicio de extensión agropecuaria (EPSEA)*. Bogotá, Colombia: Agencia de Desarrollo Rural (ADR).

Agencia Nacional de Infraestructura (2020). *Red vial concesionaria*. Bogotá, Colombia: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI).

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (2019). *Ubicación de los centros de investigación*. Bogotá, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020). *Marco geoestadístico nacional: centros poblados*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2014). *Censo nacional agropecuario: UPA de maíz sin maquinaria con asociaciones*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Federación Nacional de Cultivadores de Cereales, Leguminosas y Soya (2020). *Oficinas regionales*. Bogotá, Colombia: Federación Nacional de Cultivadores de Cereales, Leguminosas y Soya (Fenalce).

Instituto Colombiano Agropecuario (2020). *Oficinas del ICA*. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2018). *Bosque no bosque 2010 V5*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2021). *Cobertura de la tierra a 2018, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: 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).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Método digital de elevación a 30 m*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)

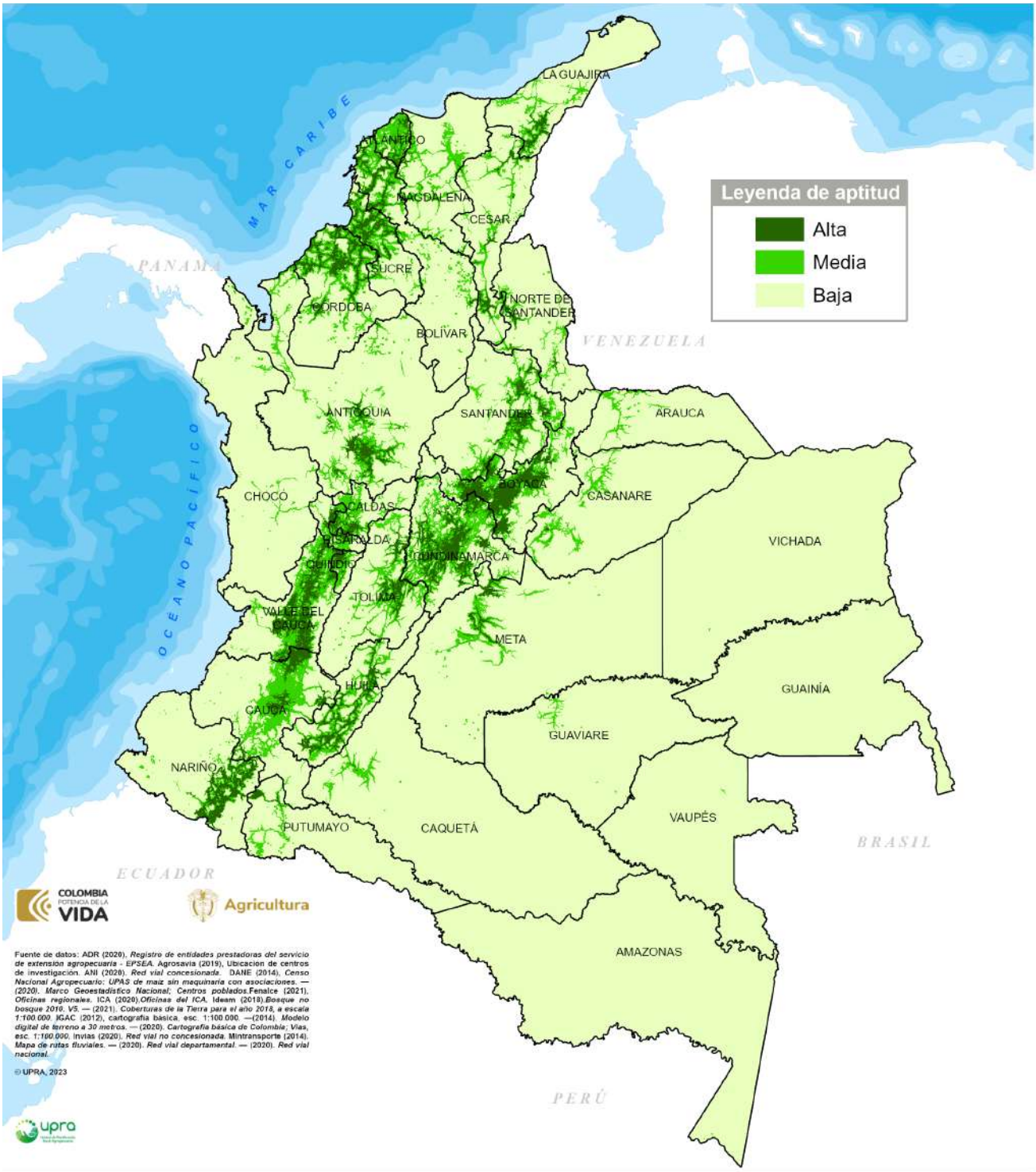
Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020). *Cartografía básica: vías a escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Nacional de Vías (2020). *Red vial no concesionada*. Bogotá, Colombia: Instituto Nacional de Vías (Invías).

Ministerio de Transporte (2014). *Mapa de tramos fluviales navegables*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Ministerio de Transporte (2020). *Red vial departamental y nacional*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Representación cartográfica del criterio



Criterio *asociatividad e institucionalidad*

3.1.1. Variable *cercanía a las asociaciones*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: social		
Criterio asociado: *institucionalidad y asociativdad*		
Variable: *cercanía a las asociaciones*	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 una asociación de productores de maíz, a otros puntos en el territorio.

Importancia de la variable

La asociatividad es un aspecto relevante en la toma de decisiones sobre el desarrollo de las actividades que usan a los productores de base y facilitan al acceso a instancias que pueden disponer recursos para la implementación de proyectos productivos y el desarrollo del sector.

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 contó con una amplia información.

Metodología de procesamiento de la información

Precisiones de la información

La metodología de isócronas empleada por la UPRA es una herramienta 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 estimadas por el modelo 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

Se construyó con la información del CNA, partiendo de la pregunta 43: «¿Tiene o tuvo sembrados cultivos?» y si contestaron «maíz (sin maquinaria)». Luego, se consideró la pregunta 134: «¿Pertenece a alguna asociación?», de modo que la base de datos se filtró con los municipios productores de maíz registrados en las Evaluaciones Agropecuarias Municipales (EVA). Para el cálculo de las isócronas, se tuvo en cuenta la ubicación en la cabecera municipal donde se encontraba la asociación.

Clasificación por aptitud

Los puntos de corte para establecer los rangos de aptitud se definieron con base en los tiempos de desplazamiento a las asociaciones —considerando que a mayor distancia se reduce la posibilidad de acceder a ellas—, así: *aptitud alta* (A1), para las distancias que toman menos de media hora; *aptitud media* (A2), para las distancias que toman entre media y una hora; y *aptitud baja* (A3), para las distancias que toman más de una hora.

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:

Tiempo de desplazamiento (horas)	Aptitud
<1/2	Alta (A1)
1/2-1	Media (A2)
>1	Baja (A3)

Unidad de análisis

Tiempo de desplazamiento (horas).

Fuentes de información

Agencia Nacional de Infraestructura (2020). *Red vial concesionaria*. Bogotá, Colombia: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2014). *Censo nacional agropecuario: UPA de maíz sin maquinaria con asociaciones*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020). *Marco geoestadístico nacional: centros poblados*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2018). *Bosque no bosque 2010 V5*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2021). *Cobertura de la tierra a 2018, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: 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).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Método digital de elevación a 30 m*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)

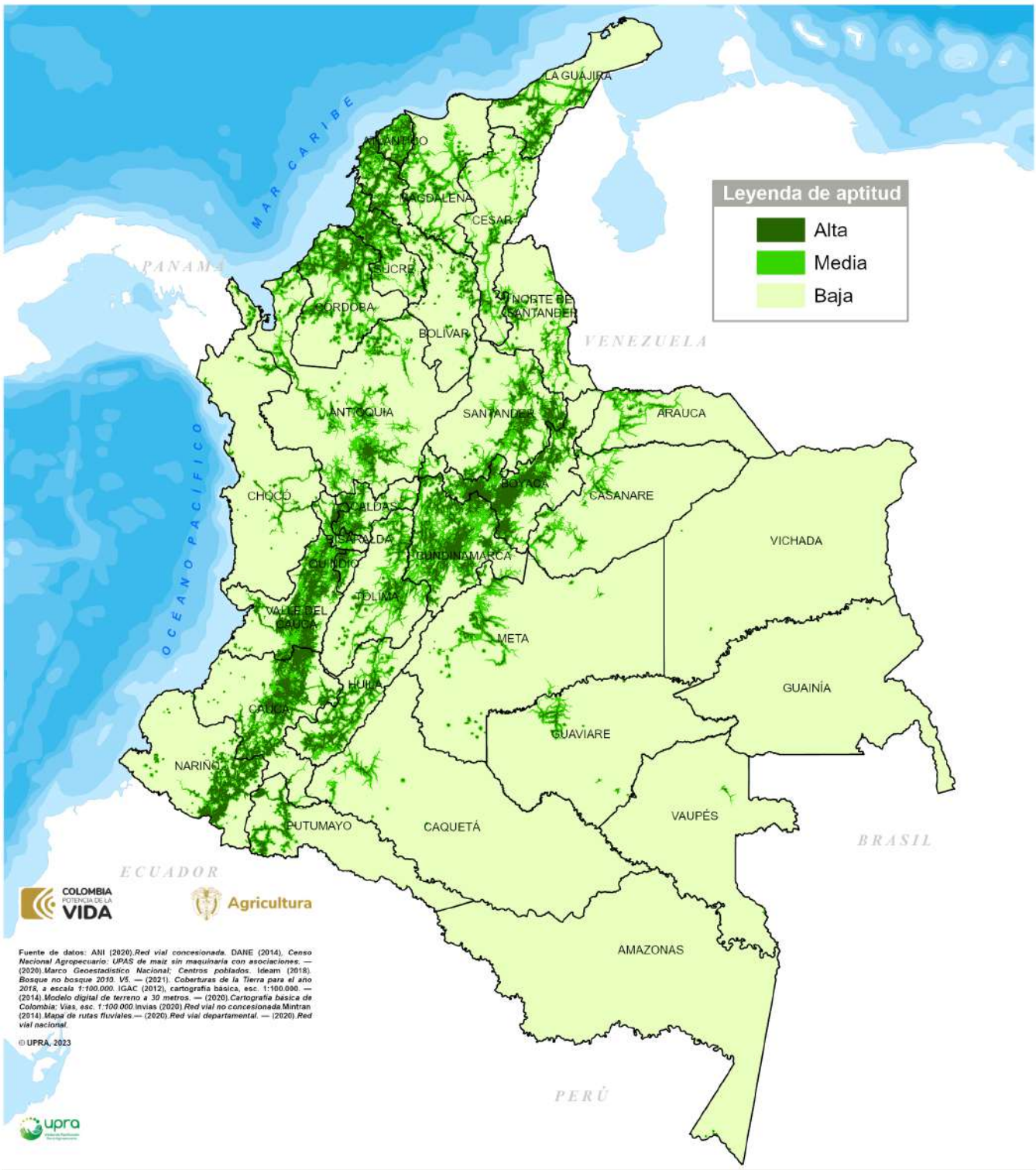
Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020). *Cartografía básica: vías a escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Nacional de Vías (2020). *Red vial no concesionada*. Bogotá, Colombia: Instituto Nacional de Vías (Invías).

Ministerio de Transporte (2014). *Mapa de tramos fluviales navegables*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Ministerio de Transporte (2020). *Red vial departamental y nacional*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Representación cartográfica de la variable



Criterio *asociatividad e institucionalidad*

Variable *cercanía a las asociaciones*

3.1.2. Variable *cercanía al gremio*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: social		
Criterio asociado: *institucionalidad y asociatividad*		
Variable: *cercanía al gremio*	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 una sede de la Federación Nacional de Cultivadores de Cereales, Leguminosas y Soya (Fenalce), a otros puntos en el territorio. Fenalce, entidad que representa a los productores de cereales y leguminosas de grano en el país, propende hacia el encadenamiento productivo para el bienestar social y económico de los productores y hacia la seguridad alimentaria del país.

Importancia de la variable

Incide en la percepción de los agentes económicos respecto de la institucionalidad sectorial presente en el municipio. Fenalce fomenta la producción y consumo de cereales y leguminosas, pues busca la cooperación de organismos públicos, privados, nacionales y extranjeros. Contribuye no sólo con la investigación del mejoramiento, selección y clasificación de semillas, sino que también divulga información sobre sistemas de cultivos, uso de abonos; además, realizan gestiones para que los precios de venta se mantengan a un nivel justo para el productor. Los municipios con presencia e influencia de las sedes de Fenalce se consideran más competitivos, pues ofrecen un mejor contexto a los nuevos productores maiceros para insertarse en la cadena productiva al facilitar el acceso a la gestión de recursos y beneficios que reducen los costos e incrementan utilidades, lo cual impacta la competitividad del cultivo.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado, según el criterio asociado

El análisis de la variable no presenta límites que se califiquen como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

Se trata de dar cobertura a todas las sedes de Fenalce. Sin embargo, éstas no están presentes en todo el territorio.

Metodología de procesamiento de la información

Precisiones de la información.

La metodología de isócronas empleada por la UPRA es una herramienta 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 estimadas por el modelo 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 en cuenta la ubicación de la sede de Fenalce.

Clasificación de los municipios por aptitud competitiva

Los puntos de corte para establecer los rangos de aptitud se definieron con base en los tiempos de desplazamiento a la sede de Fenalce —considerando que a mayor distancia se reduce la posibilidad de acceder a ella—, así: *aptitud alta* (A1), para las distancias que toman menos de media hora; *aptitud media* (A2), para las distancias que toman entre media y dos horas; *y aptitud baja* (A3), para las distancias 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: alta (A1); media (A2) y baja (A3), como se muestra a continuación:

Tiempo de desplazamiento (horas)	Aptitud
<1/2	Alta (A1)
1/2-1	Media (A2)
>2	Baja (A3)

Unidad de análisis

Tiempo de desplazamiento (horas).

Fuentes de información

Agencia Nacional de Infraestructura (2020). *Red vial concesionaria*. Bogotá, Colombia: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020). *Marco geoestadístico nacional: centros poblados*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Federación Nacional de Cultivadores de Cereales, Leguminosas y Soya (2020). *Oficinas regionales*. Bogotá, Colombia: Federación Nacional de Cultivadores de Cereales, Leguminosas y Soya (Fenalce).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2018). *Bosque no bosque 2010 V5*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2021). C*obertura de la tierra a 2018, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: 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).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Método digital de elevación a 30 m*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)

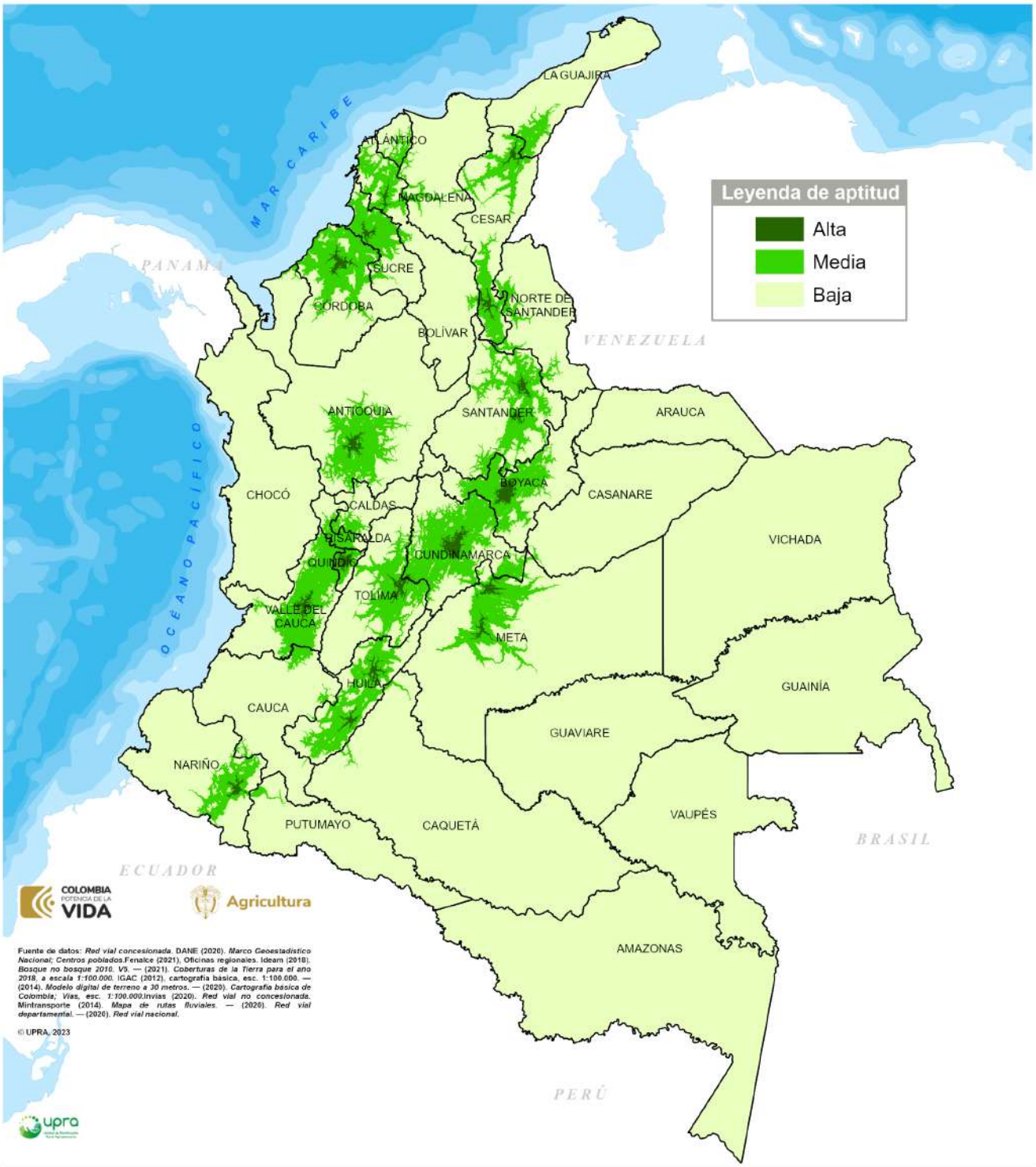
Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020). *Cartografía básica: vías a escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Ministerio de Transporte (2020). *Red vial departamental y nacional*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Ministerio de Transporte (2014). *Mapa de tramos fluviales navegables*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Ministerio de Transporte (2020). *Red vial departamental y nacional*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Representación cartográfica de la variable



Criterio *asociatividad e institucionalidad*

Variable *cercanía al gremio*

3.1.3. Variable *cercanía a entidades prestadoras de servicio de extensión agropecuaria (EPSEA)*

<table>
<tr><th colspan="3">Ficha metodológica de la variable</th></tr>
<tr><td>Tipo de utilización de la tierra (TUT)</td><td colspan="2">Cultivo del maíz (Zea mays L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.</td></tr>
<tr><td colspan="3">Componente: socioeconómico. Subcomponente: social</td></tr>
<tr><td colspan="3">Criterio asociado: institucionalidad y asociatividad</td></tr>
<tr><td colspan="2">Variable:
cercanía a entidades prestadoras de servicio de extensión agropecuaria (EPSEA)</td><td>Unidad de medida:
tiempo de desplazamiento (horas)</td></tr>
<tr><td 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

Facilidad con la que se puede alcanzar, desde otros puntos en el territorio, una entidad prestadora de servicio de extensión agropecuaria (EPSEA). Las entidades prestadoras del servicio de extensión agropecuaria (EPSEA), cuyo objetivo consiste en prestar servicios de extensión o asistencia técnica agropecuaria, abarcan las unidades municipales de asistencia técnica agropecuaria (Umata); los centros provinciales de gestión agroempresarial (CPGA); los gremios agropecuarios; las empresas privadas o de naturaleza mixta; las asociaciones de profesionales; las universidades y demás instituciones de educación superior; las agencias de desarrollo local (ADL); las entidades sin ánimo de lucro; los colegios agropecuarios, y las cooperativas, organizaciones o asociaciones de productores. Todas estas instituciones deben cumplir los requisitos de habilitación de que trata el artículo 33 de la Ley 1876 de 2017.

Importancia de la variable

Incide en la percepción de los agentes económicos con respecto a los servicios de asistencia técnica agropecuaria a través del desarrollo sostenible de las actividades agrícolas, pecuarias, acuícolas y forestales. Esto permite realizar un acompañamiento integral a los productores para incrementar los índices de productividad y competitividad.

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 temporalidad de la información impidió conocer la distribución actual de las EPSEA, la inscripción de nuevas o la inhabilitación de otras, y su cobertura, que puede ser regional o municipal.

Metodología de procesamiento de la información

Precisiones de la información

La metodología de isócronas empleada por la UPRA es una herramienta 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 estimadas por el modelo 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 en cuenta la ubicación de las 133 entidades prestadoras habilitadas por la ADR, las cuales se encuentran en 59 municipios.

Clasificación de los municipios por aptitud competitiva.

Los puntos de corte para establecer los rangos de aptitud se definieron con base en los tiempos de desplazamiento a las sedes de las EPSEA —considerando que a mayor distancia se reduce la posibilidad de acceder a ella—, así: *aptitud alta* (A1), para las distancias que toman menos de media hora; *aptitud media* (A2), para las distancias que toman entre media y dos horas; *y aptitud baja* (A3), para las distancias 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 alta (A1), media (A2) y baja (A3), como se muestra a continuación:

Tiempo de desplazamiento (horas)	Aptitud
<1/2	Alta (A1)
1/2-1	Media (A2)
>2	Baja (A3)

Unidad de análisis

Tiempo de desplazamiento (horas).

Fuentes de información

Agencia de Desarrollo Rural (2020). *Registro de las entidades prestadoras del servicio de extensión agropecuaria (EPSEA)*. Bogotá, Colombia: Agencia de Desarrollo Rural (ADR).

Agencia Nacional de Infraestructura (2020). *Red vial concesionaria*. Bogotá, Colombia: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020). *Marco geoestadístico nacional: centros poblados*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2018). *Bosque no bosque 2010 V5*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2021). *Cobertura de la tierra a 2018, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: 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).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Método digital de elevación a 30 m*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)

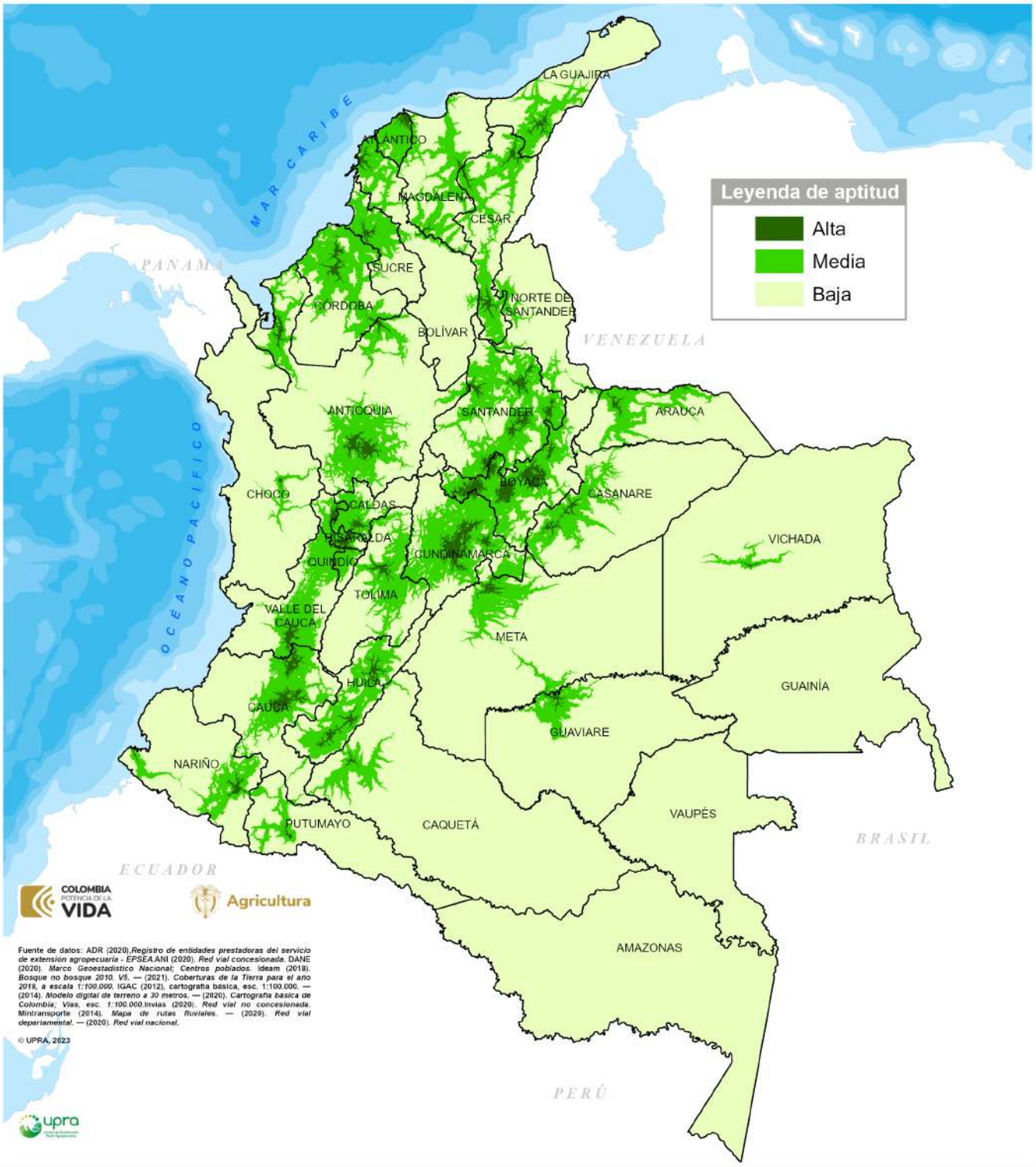
Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020). *Cartografía básica: vías a escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Nacional de Vías (2020). *Red vial no concesionada*. Bogotá, Colombia: Instituto Nacional de Vías (Invías).

Ministerio de Transporte (2014). *Mapa de tramos fluviales navegables*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Ministerio de Transporte (2020). *Red vial departamental y nacional*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Representación cartográfica de la variable



Criterio *asociatividad e institucionalidad*

Variable *cercanía entidades prestadoras del servicio de extensión agropecuaria (EPSEA)*

3.1.4. Variable *cercanía a Agrosavia*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: social		
Criterio asociado: *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 territorio, un centro de Agrosavia, entidad cuya función consiste en desarrollar y ejecutar actividades de investigación, tecnología y transferencia de procesos de innovación tecnológica en el sector agropecuario.

Importancia de la variable

Incide en la percepción de los agentes económicos con respecto a la oferta institucional asociada a la innovación y transferencia de conocimiento y tecnologías encaminadas a generar cambios tecnológicos y a mejorar la competitividad de la producción de maíz. A mayor cercanía de una sede de Agrosavia se tiene mayor probabilidad de brindar a los agentes económicos más y mejores alternativas tecnológicas para mejorar los procesos productivos del cultivo del maíz tradicional. Los productores tienen posibilidades de acceso a conocimientos y desarrollos tecnológicos para el manejo de sus cultivos y a los servicios de la corporación, gracias a los cuales pueden llegar a ser más competitivos.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado, según el criterio asociado

El análisis de la variable no presenta límites que se califiquen como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

La cobertura de Agrosavia es nacional, razón por la cual los puntos de referencia de las sedes limitó el análisis de la variable.

Metodología de procesamiento de la información

Precisiones de la información

La metodología de isócronas empleada por la UPRA es una herramienta 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 estimadas por el modelo 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 en cuenta la ubicación de las sedes de Agrosavia.

Clasificación de los municipios por aptitud competitiva

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 ella—, así: *aptitud alta* (A1), para las distancias que toman menos de media hora; *aptitud media* (A2), para las distancias que toman entre media y dos horas; *y aptitud baja* (A3), para las distancias 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 alta (A1), media (A2) y baja (A3), como se muestra a continuación:

Tiempo de desplazamiento (horas)	Aptitud
<1/2	Alta (A1)
1/2-1	Media (A2)
>2	Baja (A3)

Unidad de análisis

Tiempo de desplazamiento (horas).

Fuentes de información

Agencia Nacional de Infraestructura (2020). *Red vial concesionaria*. Bogotá, Colombia: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI).

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (2019). *Ubicación de los centros de investigación*. Bogotá, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020). *Marco geoestadístico nacional: centros poblados*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2018). *Bosque no bosque 2010 V5*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2021). C*obertura de la tierra a 2018, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: 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).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Método digital de elevación a 30 m*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)

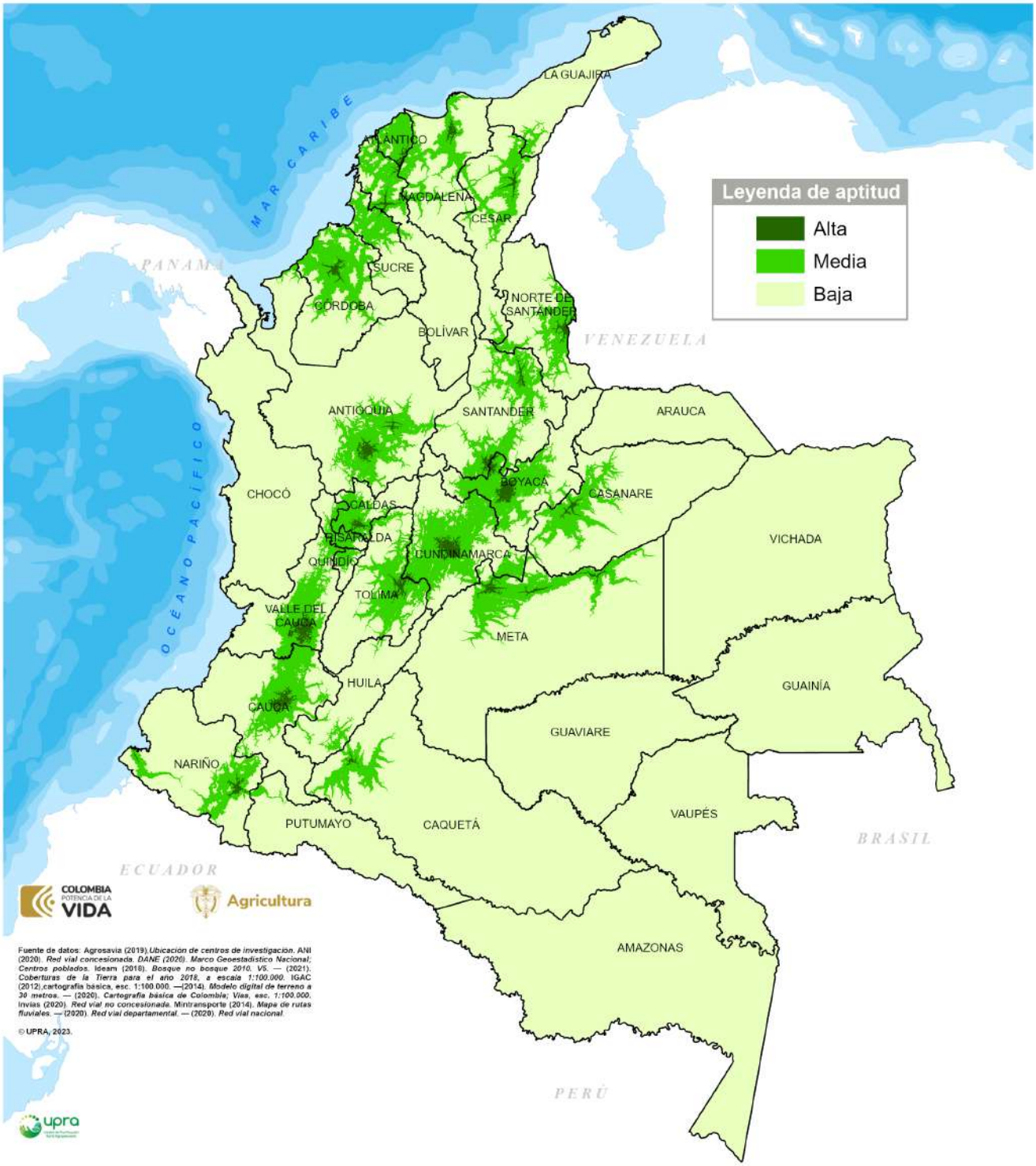
Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020). *Cartografía básica: vías a escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Nacional de Vías (2020). *Red vial no concesionada*. Bogotá, Colombia: Instituto Nacional de Vías (Invías).

Ministerio de Transporte (2014). *Mapa de tramos fluviales navegables*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Ministerio de Transporte (2020). *Red vial departamental y nacional*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Representación cartográfica de la variable



Criterio *asociatividad e institucionalidad*

Variable *cercanía a Agrosavia*

3.1.5. Variable *cercanía al ICA*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
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. El Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) es una entidad oficial cuya función consiste no sólo en elevar el estatus sanitario para mejorar las condiciones de inocuidad de la producción agroalimentaria nacional, sino también en aumentar la competitividad de las actividades agropecuarias.

Importancia de la variable

Incide en la percepción de los agentes económicos con respecto a la oferta institucional de asesoría, control y manejo fitosanitario para mejorar las condiciones de inocuidad de la producción agropecuaria. El control y manejo de plagas ayuda a reducir las pérdidas en la producción del cultivo de maíz. Los productores tienen posibilidades de acceso a la asesoría para el manejo y control fitosanitario de sus cultivos, por lo que pueden obtener mayores productividades, lo cual se traduce en un cultivo más competitivo.

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

La temporalidad de la información impidió conocer la distribución actual delas sedes o de las oficinas de atención del ICA.

Metodología de procesamiento de la información

Precisión de la información

La metodología de isócronas empleada por la UPRA es una herramienta 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 estimadas por el modelo 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 en cuenta la ubicación de las sedes del ICA.

Clasificación de los municipios 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 ella—, así: *aptitud alta* (A1), para las distancias que toman menos de media hora; *aptitud media* (A2), para las distancias que toman entre media y una hora; *y aptitud baja* (A3), para las distancias que toman más de una hora.

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:

Tiempo de desplazamiento (horas)	Aptitud
<1/2	Alta (A1)
1/2-1	Media (A2)
>1	Baja (A3)

Unidad de análisis

Tiempo de desplazamiento (horas).

Fuentes de información

Agencia Nacional de Infraestructura (2020). *Red vial concesionaria*. Bogotá, Colombia: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020). *Marco geoestadístico nacional: centros poblados*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Instituto Colombiano Agropecuario (2020). *Oficinas del ICA*. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2018). *Bosque no bosque 2010 V5*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2021). C*obertura de la tierra a 2018, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: 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).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Método digital de elevación a 30 m*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC)

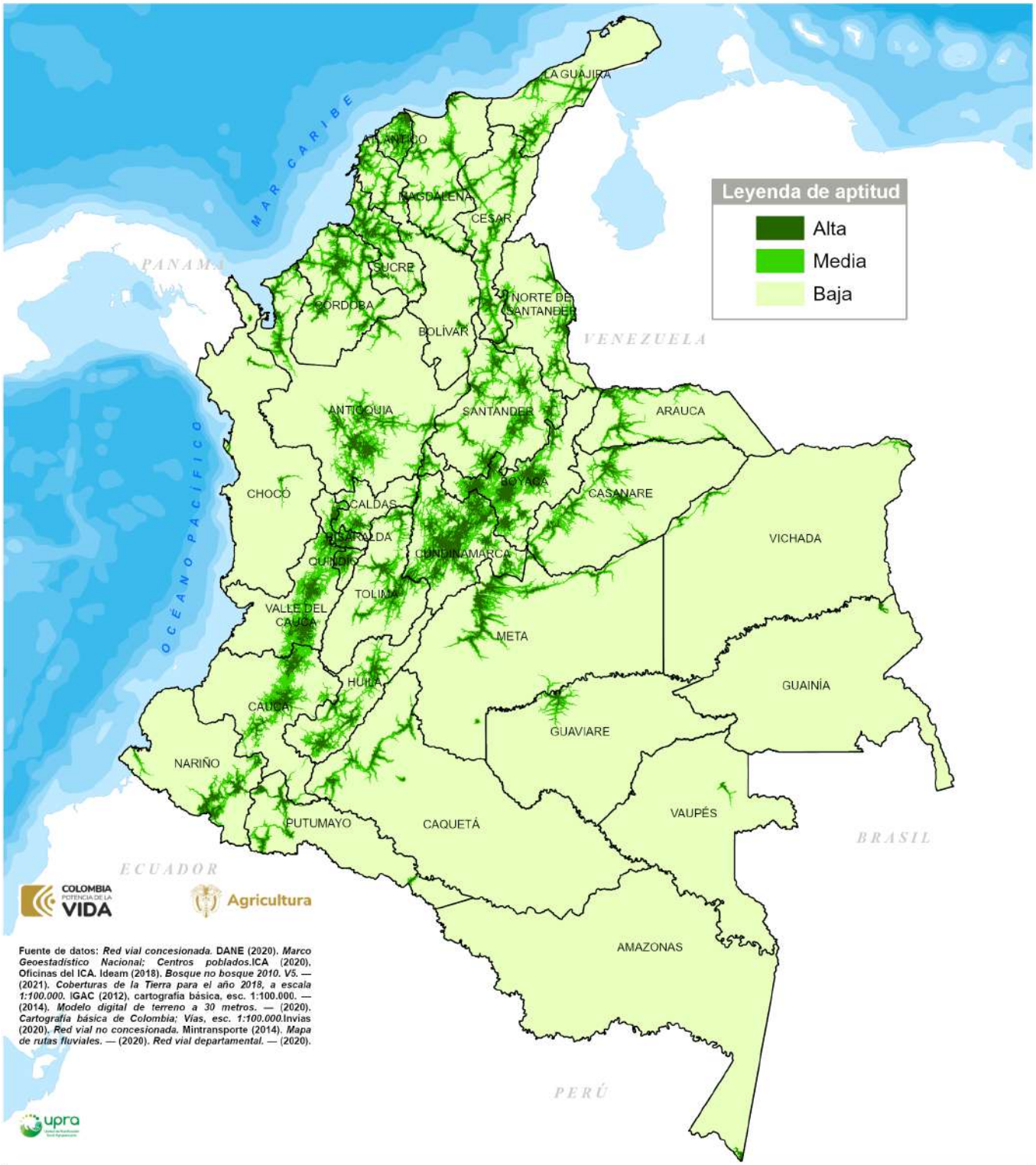
Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020). *Cartografía básica: vías a escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Nacional de Vías (2020). *Red vial no concesionada*. Bogotá, Colombia: Instituto Nacional de Vías (Invías).

Ministerio de Transporte (2014). *Mapa de tramos fluviales navegables*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Ministerio de Transporte (2020). *Red vial departamental y nacional*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Representación cartográfica de la variable



Criterio *asociatividad e institucionalidad*

Variable *cercanía al ICA*

3.2. Criterio *infraestructura y logística*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: económico		
Criterio: *infraestructura y logística*		
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Variables asociadas al criterio

Cercanía a centros de comercialización local, expresada en tiempo de desplazamiento (horas).

Existencia de cultivos, expresada en predios.

Cercanía a centros de servicio, expresada en tiempo de desplazamiento (horas).

Cercanía a centros de almacenamiento, expresada en tiempo de desplazamiento (horas).

Cercanía a plantas procesadoras, expresada en tiempo de desplazamiento (horas)

Definición

Conjunto de medios técnicos, bienes, servicios e instalaciones necesarios para el desarrollo de las actividades de producción, comercialización y distribución.

Importancia del criterio

Indica a los agentes económicos las condiciones de movilidad frente a la cadena de suministros, en especial, la existencia del cultivo, los centros de comercialización local, los centros de servicios, los centros de almacenamiento y las plantas procesadoras, que pueden limitar o promover la competitividad de la actividad agrícola en la interacción con los mercados locales y nacionales. Existe una relación directamente proporcional entre la infraestructura/logística y la aptitud competitiva del municipio. Los municipios con mayores facilidades para la movilidad del aparato productivo ofrecen mejores condiciones para el desarrollo eficiente de la cadena productiva.

Limitantes de la evaluación del criterio

La selección de los centros de servicios se realizó con base en las proyecciones de la población del DANE para el año 2020 estimada desde el censo general de población y vivienda del año 2018. Se consideraron los municipios con población mayor a 30.000 mil habitantes. Mientras que, para los centros de comercialización, se consideraron los municipios con población menor a 30.000 mil habitantes, dado que en todos los municipios del país existen plazas de mercado.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado

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 (Analytic Hierarchy Process), condensada en la matriz de comparaciones pareadas de cinco variables, de acuerdo con la siguiente tabla:

Criterio	Variables	*Cercanía a centros de comercialización local*	*Existencia de cultivos*	*Cercanía a centros de servicios*	*Cercanía a centros de almacenamiento*	*Cercanía a plantas procesadoras*
Infraestructura y logística	*Cercanía a centros de comercialización local*	1				
	Existencia de cultivos	1/3	1			
	Cercanía a centros de servicios	1/3	1/3	1		
	Cercanía a centros de almacenamiento	1/3	1/3	1/3	1	
	Cercanía a plantas procesadoras	1/5	1/5	1/5	1/3	1

La escala de importancia dentro del proceso AHP tuvo cuenta la valoración entre pares de variables, como se puede observar 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			

Haciendo 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, a cada una de las cuales se le asignó el valor de *alta* (A1), *media* (A2) y *baja* (A3), como se registra en las siguientes tablas:

Criterio	Variable	Ponderación (%)
Infraestructura y logística	*Cercanía a centros de comercialización local*	41,4
	Existencia de cultivos	26,7
	Cercanía a centros de servicios	17,2
	Cercanía a centros de almacenamiento	10,0
	Cercanía a plantas procesadoras	4,7
Total de la ponderación		**100,0**

Rangos para la asignación de valores de aptitud

Criterio	Variables	Unidad de medida	Aptitud		
			Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)
Infraestructura y logística	*Cercanía a centros de comercialización local*	Tiempo de desplazamiento (horas)	<1/2	1/2-1	>1
	Existencia de cultivos	Predios	Con cultivo	El colindante al predio con cultivo	Resto
	Cercanía a centros de servicios	Tiempo de desplazamiento (horas)	1/2	1/2-2	>2
	Cercanía a centros de almacenamiento	Tiempo de desplazamiento (horas)	<1/2	1/2-1	>1
	Cercanía a plantas procesadoras	Tiempo de desplazamiento (horas)	<1/2	1/2-1	>1

Fuentes de información

Alcaldía de Barranquilla (2020). *Base catastral, registros 1 y 2. Barranquilla*, Colombia: Alcaldía de Barranquilla.

Alcaldía de Medellín (2020). *Base de datos catastral*. Medellín, Colombia: Alcaldía de Medellín.

Alcaldía de Santiago de Cali (2020). *Información predial rural*. Cali, Colombia: Alcaldía de Santiago de Cali.

Agencia Nacional de Infraestructura (2020). *Red vial concesionaria*. Bogotá, Colombia: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI).

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (2016). *Información georreferenciada de distritos de riego*. Bogotá, Colombia: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2014). *Censo nacional de agricultura: UPAS con maíz*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2018). *Censo nacional de población y vivienda: total, cabecera por municipio 2020*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Gobernación de Antioquia (2020). *Predial rural Antioquia*. Medellín, Colombia: Gobernación de Antioquia.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2014). *Mapa nacional de cobertura de la tierra: metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia, período 2010-2012*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2014). *Mapa de distribución de la temperatura media anual*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2018). *Bosque no bosque 2010*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2021). *Cobertura de la tierra a 2018*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Base catastral, registros 1 y 2*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Modelo digital de elevación 30 m*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2018). *Georreferenciación de los distritos de adecuación de tierras de mediana y gran escala*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020a). *Cartografía básica, vías escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020b). *Registros 1 y 2 de la base catastral rural*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Nacional de Vías (2020a). *Red vial departamental y nacional*. Bogotá, Colombia: Instituto Nacional de Vías (Invías).

Instituto Nacional de Vías (2020b). *Red vial no concesionada*. Bogotá, Colombia: Instituto Nacional de Vías (Invías).

Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (2021) *Establecimientos registrados para el manejo de la postcosecha de maíz*. Bogotá, Colombia: Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (Invima).

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2019). *Evaluaciones agrícolas municipales (EVA)*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

Ministerio de Transporte (2014). *Mapa de tramos fluviales navegables*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte (Mintransporte).

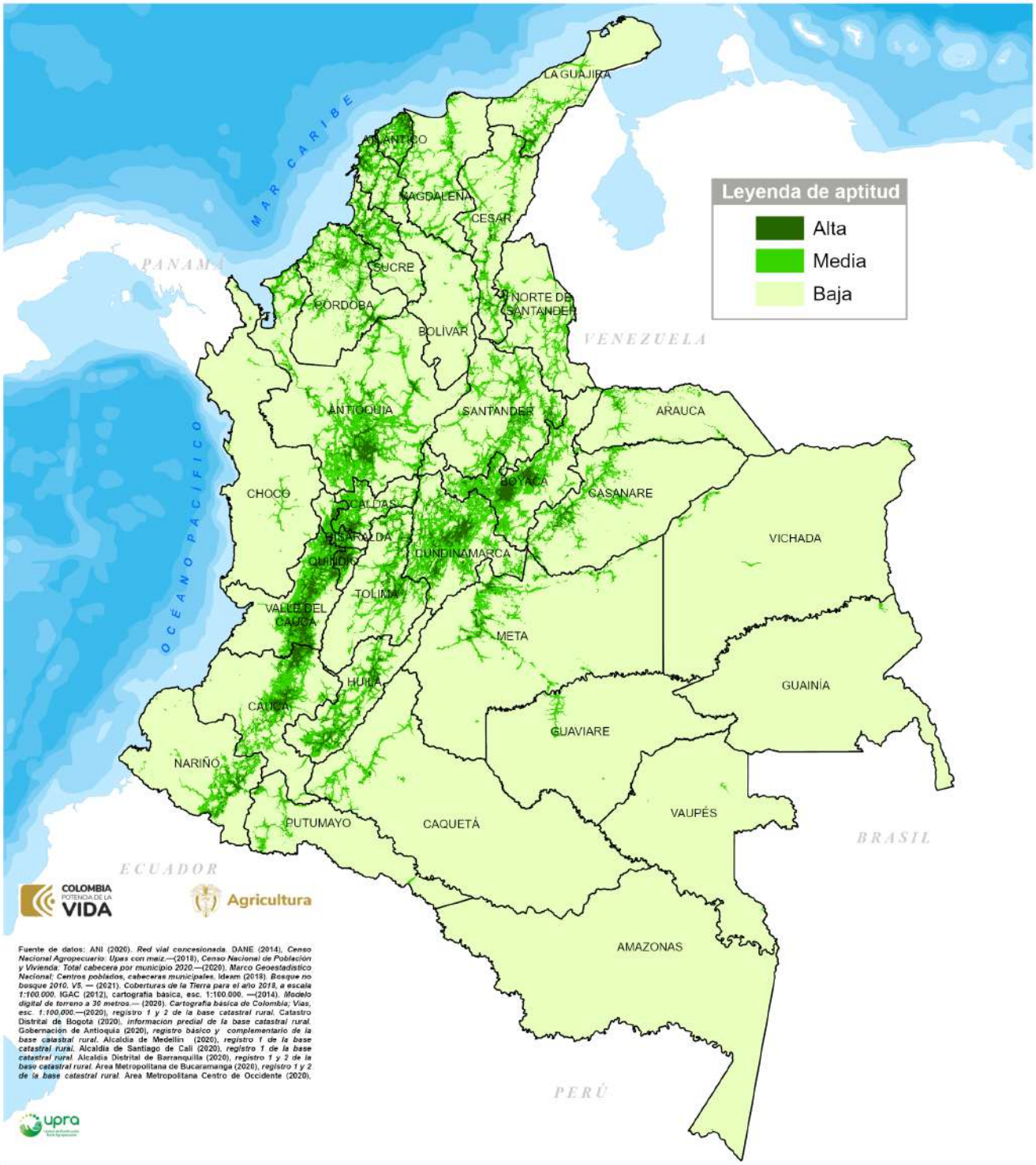
Ministerio de Transporte (2020). *Red vial departamental y nacional*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Unidad Administrativa de Catastro Distrital (2020). *Información predial jurídica, física y económica*. Bogotá, Colombia: Unidad Administrativa de Catastro Distrital.

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (2019). *Frontera agrícola*. Bogotá, Colombia: 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*. Bogotá, Colombia: Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

Representación cartográfica del criterio



Fuente de datos: ANI (2020). *Red vial concesionada*. DANE (2014), *Censo Nacional Agropecuario: Upas con maíz*.—(2018), *Censo Nacional de Población y Vivienda: Total cabecera por municipio 2020*.—(2020), *Marco Geoestadístico Nacional; Centros poblados, cabeceras municipales*. Ideam (2018). *Bosque no bosque 2010. V5*. — (2021). *Coberturas de la Tierra para el año 2018, a escala 1:100.000*. IGAC (2012), cartografía básica, esc. 1:100.000. —(2014). *Modelo digital de terreno a 30 metros*.— (2020). *Cartografía básica de Colombia; Vías, esc. 1:100.000*.—(2020), *registro 1 y 2 de la base catastral rural*. Catastro Distrital de Bogotá (2020), *información predial de la base catastral rural*. Gobernación de Antioquia (2020), *registro básico y complementario de la base catastral rural*. Alcaldía de Medellín (2020), *registro 1 de la base catastral rural*. Alcaldía de Santiago de Cali (2020), *registro 1 de la base catastral rural*. Alcaldía Distrital de Barranquilla (2020), *registro 1 y 2 de la base catastral rural*. Área Metropolitana de Bucaramanga (2020), *registro 1 y 2 de la base catastral rural*. Área Metropolitana Centro de Occidente (2020).

CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA

3.2.1. Variable *Cercanía a centros de comercialización local*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: económico		
Criterio asociado: *infraestructura y logística*		
Variable: *cercanía a centros de comercialización local*	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, desde otros puntos en el territorio, a las plazas de mercado de los centros urbanos, como capitales departamentales, centros poblados o corregimientos con menos de 30.000 habitantes. Se consideran centros de abastecimiento, culturales y sociales que conectan el campo y el productor. La mayoría de los productos que se venden en las plazas de mercado son cosechados recientemente, es decir, son frescos.

Importancia de la variable

Son la principal forma de abastecimiento de los tipos de alimentos y de productos que en ellos se encuentran. Facilita al pequeño productor el acceso, desde cualquier punto de las zonas rurales del país, a los centros poblados como una forma de estimar la venta de sus productos.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

En el análisis de la variable, no presentó límites que se calificaran como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

La selección de los centros de comercialización local se realizó con base en las proyecciones de la población realizadas por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) para el año 2020. La selección se estimó a partir del censo de población y vivienda del año llevada a cabo en el año 2018.

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 en cuenta la cabecera municipal que cuentan con una población menor a 30.000 habitantes para el año 2020.

Clasificación por aptitud

Los puntos de corte para establecer los rangos de aptitud se definieron considerando los tiempos de desplazamiento desde los centros de comercialización local, así: con *aptitud alta* (A1), los centros de comercialización local con una distancia de media hora para acceder a los servicios; con *aptitud media* (A2), los centros de comercialización local con una distancia de entre media hora y una hora para acceder a los servicios; con *aptitud baja* (A3), los centros de comercialización local con distancia de más de una hora 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 muestra a continuación:

Tiempo de desplazamiento (horas)	Aptitud
<1/2	Alta (A1)
1/2-1	Media (A2)
>1	Baja (A3)

Unidad de análisis

Tiempo de desplazamiento (horas).

Fuentes de información

Agencia Nacional de Infraestructura (2020). *Red vial concesionaria*. Bogotá, Colombia: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2018). *Censo nacional de población y vivienda: total, cabecera por municipio 2020*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020). *Marco geoestadístico nacional: centros poblados*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2018). *Bosque no bosque 2010*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2021). *Cobertura de la tierra a 2018*. Bogotá, Colombia: 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).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Modelo digital de elevación 30 m*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020). *Cartografía básica, vías escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

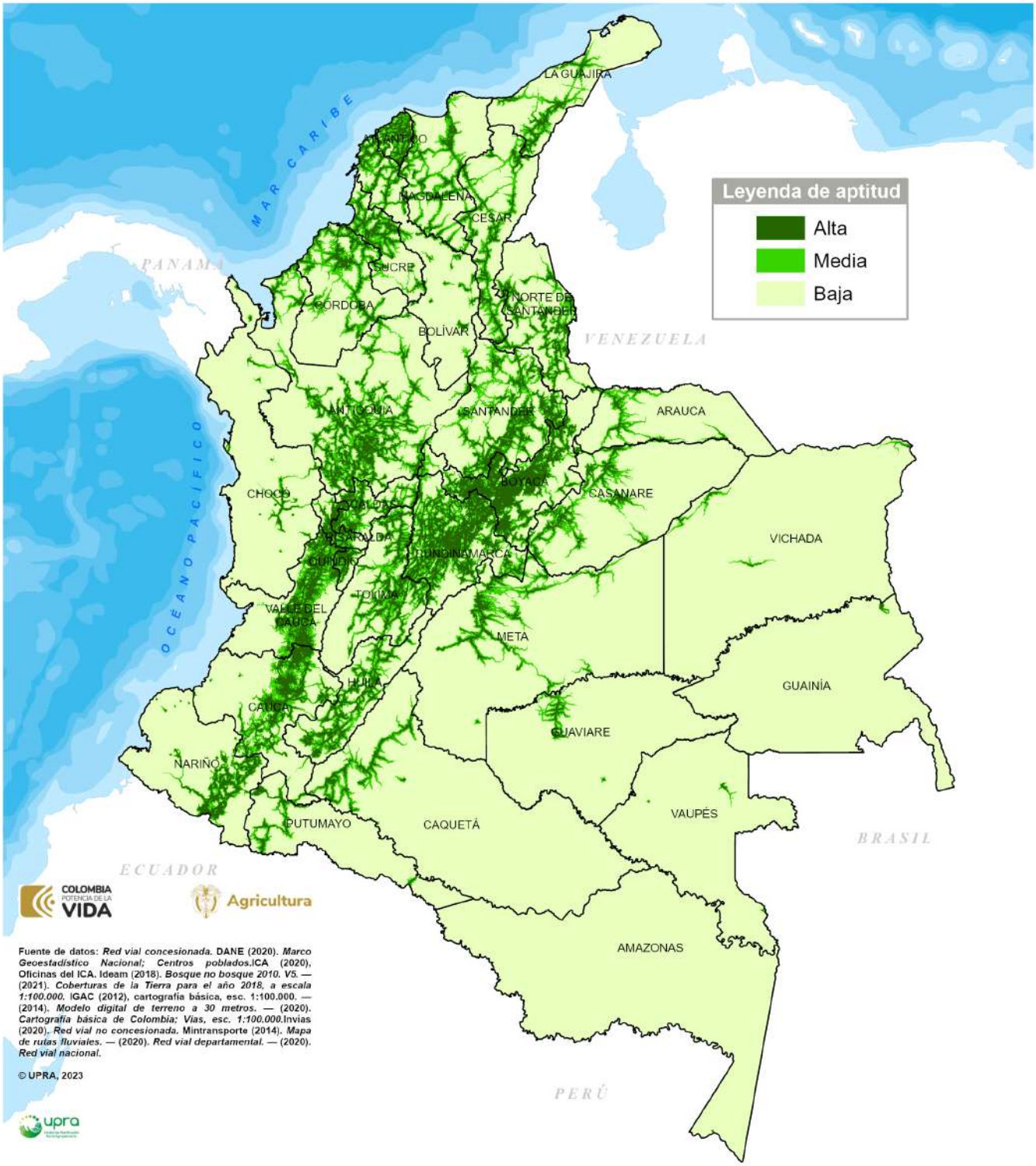
Instituto Nacional de Vías (2020). *Red vial no concesionada*. Bogotá, Colombia: Instituto Nacional de Vías (Invías).

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2019). *Evaluaciones agrícolas municipales (EVA)*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

Ministerio de Transporte (2014). *Mapa de tramos fluviales navegables*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Ministerio de Transporte (2020). *Red vial departamental y nacional*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable cercanía a centros de comercialización local

3.2.2. Variable *existencia de cultivos*

<table>
<tr><th colspan="3">Ficha metodológica de la variable</th></tr>
<tr><td>Tipo de utilización de la tierra (TUT)</td><td colspan="2">Cultivo del maíz (Zea mays L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.</td></tr>
<tr><td colspan="3">Componente: socioeconómico. Subcomponente: económico</td></tr>
<tr><td colspan="3">Criterio asociado: infraestructura y logística</td></tr>
<tr><td colspan="2">Variable:
existencia de cultivos</td><td>Unidad de medida:
predios</td></tr>
<tr><td 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

Corresponde a predios georreferenciados con cultivos de maíz tradicional y su colindante, el cual es predio de propiedad privada, sin exclusiones para el mercado de tierras y con destino económico agropecuario.

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 materia prima para los productores. Los predios y su colindante, cuyos cultivos de maíz tradicional están registrados, se consideran más competitivos porque ya 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 presentó límites que se calificaran como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

En la actualidad no existe un registro georreferenciado nacional de productores diferente al levantado por el Censo Nacional Agropecuario (CNA) por Unidad de Producción Agropecuaria (UPA), lo que impide poder tener una identificación predial más precisa y de la totalidad de los predios dedicados a esta actividad.

Metodología de procesamiento de la información

Precisiones de la información

Se trata de predios georreferenciados y su colindante excluyendo los que cumplieran con las siguientes características: predios cuyo tipo de propietario fuera *propiedad colectiva*; predios cuyo tipo de propietario fuera *sin información y que estén excluidos de la concha de MT*; predios cuyo tipo de propietario fuera *Estado y que estén excluidos de la cancha de MT*; fuera predios cuyo tipo de propietario y categoría de propietario fuera *null*; predios sin información y que estuvieran excluidos de la cancha de MT; predios que excedieran las 10.000 hectáreas; predios colindantes que estuvieran en un municipio diferente al municipio del predio con cultivo clasificado en A1; predios marcados como baldíos; y predios que estuvieran fuera de la frontera agrícola.

Análisis de la consistencia y preparación de la información

Se tomó como base la información de las UPA del censo nacional agropecuario del año 2014. Se ubicaron los centroides allí reportados en las bases catastrales rurales, para lo cual se contempló que las coordenadas del centroide le correspondieran al predio con el que cruza, luego de lo cual se cruzó con los municipios productores de maíz reportados por las EVA. Una vez identificados los predios donde se ubicaban los cultivos, se procedió a marcarlos en aptitud alta (A1), y se tomó, como parte de la representación cartográfica de esta ubicación, el colindante, lo cual se marcó en aptitud media (A2).

Clasificación de los municipios por aptitud

Al realizar el procedimiento para la variable, resultaron tres agrupamientos, a los que se le asignó la calificación de aptitud de modo que los rangos quedaron definidos de la siguiente manera: *aptitud alta* (A1), para los predios con cultivo; *aptitud media* (A2), para el predio colindante al predio con cultivo; 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 cultivo	Alta (A1)
El colindante al predio con cultivo	Media (A2)
Resto	Baja (A3)

Unidad de análisis

Predio.

Fuentes de información

Alcaldía de Barranquilla (2020). *Base catastral, registros 1 y 2. Barranquilla*, Colombia: Alcaldía de Barranquilla.

Alcaldía de Medellín (2020). *Registro 1 de la base catastral rural*. Medellín, Colombia: Alcaldía de Medellín.

Alcaldía de Santiago de Cali (2020). *Registro 1 de la base catastral rural*. Cali, Colombia: Alcaldía de Santiago de Cali.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2014). *Censo nacional de agricultura: UPAS con maíz*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Gobernación de Antioquia (2020). *Registros básicos y complementarios de la información rural*. Medellín, Colombia: Gobernación de Antioquia.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

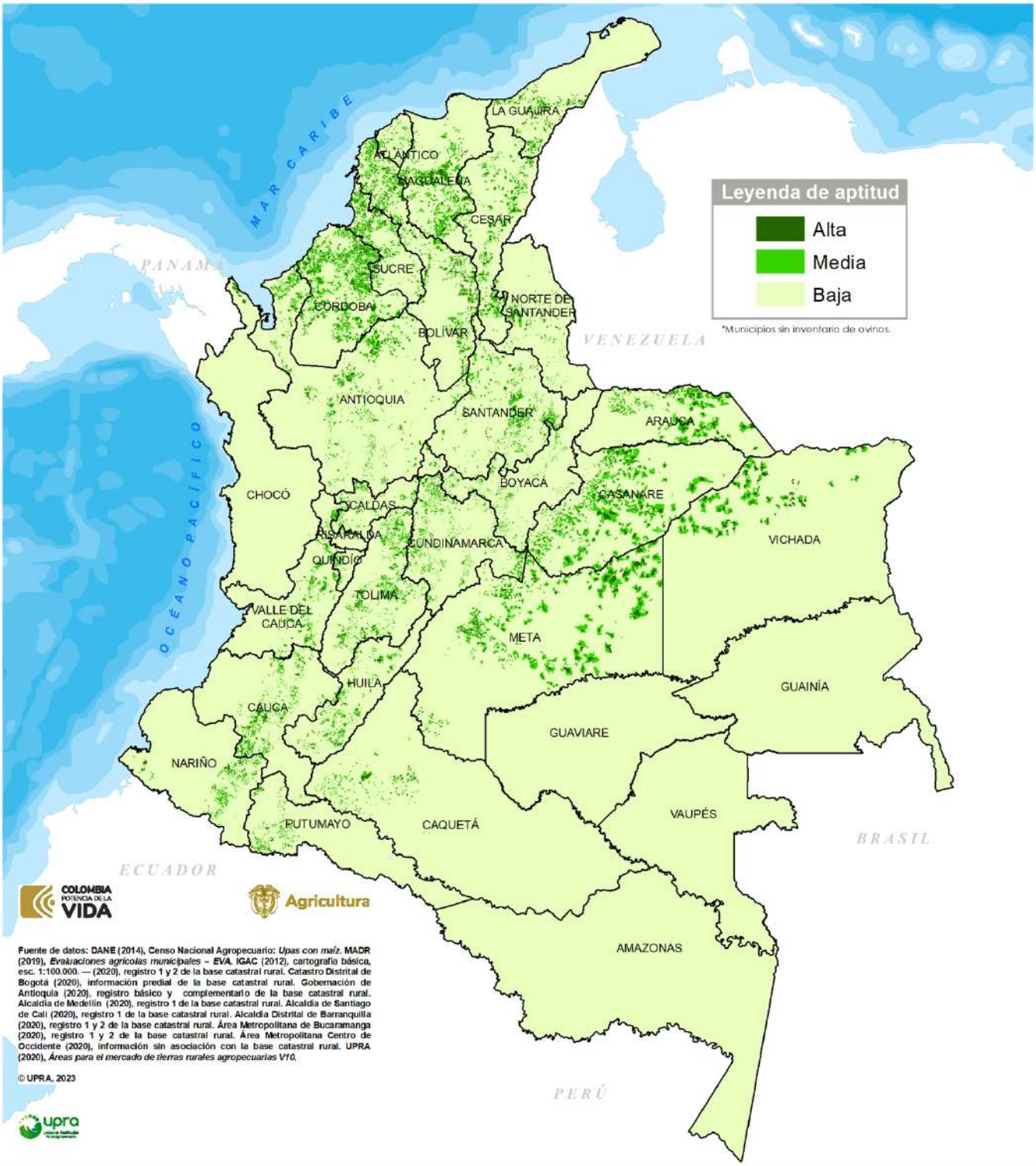
Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020). *Registro 1 y 2 de la base catastral rural*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2019). *Evaluaciones agrícolas municipales (EVA)*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

Unidad Administrativa de Catastro Distrital (2020). *Información predial base catastral rural*. Bogotá, Colombia: Unidad Administrativa de Catastro Distrital.

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria. (2020). *Clasificación de áreas para el mercado de tierras rurales agropecuarias-V10*. Bogotá, Colombia: Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable existencia de cultivos

3.2.3. Variable *cercanía a centros de servicios*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: económico		
Criterio asociado: *infraestructura y logística*		
Variable: *cercanía a 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 pueden alcanzar áreas donde existe una oferta de bienes y servicios para abastecer las necesidades del cultivo. Abarca los centro de servicios en los municipios que cuentan con una población mayor a 30.000 habitantes para el año 2018 y proyectada al año 2020. Esta cifra corresponde a los municipios con primera, segunda y tercera categoría definidos por la Ley 1551 del 2012, según lo establecido en el artículo 320 de la Constitución Política colombiana, que dispone que la «ley podrá establecer categorías de municipios de acuerdo con su población, recursos fiscales, importancia económica y situación geográfica y señalar distinto régimen para su organización, gobierno y administración».

Importancia de la variable

Incide en la competitividad para el desarrollo del cultivo al facilitar el acceso a insumos y servicios necesarios para el productor. La accesibilidad hace referencia al tiempo de desplazamiento, el cual se determina por la oferta y el estado de las redes de transporte vial, fluvial y de la distancia entre dos puntos, uno de ellos: el centro de servicios, que toma como referencia la cabecera municipal. Las zonas más cercanas a los centros de servicios son más competitivas que las más distantes o 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 presenta límites que se califiquen como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

Se seleccionaron los centros de servicios con base en las proyecciones de la población realizadas por el DANE para el año 2020 a partir del censo de población y vivienda del año 2018. Algunos centros de servicios importantes podrán omitirse por no contar con más de 30.000 habitantes.

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 tuvo en cuenta la cabecera municipal cuyos centros de servicios se definen como los municipios con una población mayor a 30.000 habitantes para el año 2020.

Clasificación por aptitud

Los puntos de corte para establecer los rangos de aptitud se definieron según los tiempos de desplazamiento hasta los centros de servicios, así: con *aptitud alta* (A1), los centros de servicios con una distancia de media hora para acceder a los servicios; con *aptitud media* (A2), los centros de servicios con una distancia de entre media hora y dos horas para acceder a los servicios; con aptitud baja (A3), los centros de servicios con una distancia de 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 expone a continuación:

Tiempo de desplazamiento (horas)	Aptitud
<1/2	Alta (A1)
1/2-1	Media (A2)
>2	Baja (A3)

Unidad de análisis

Tiempo de desplazamiento (horas).

Fuentes de información

Agencia Nacional de Infraestructura (2020). *Red vial concesionaria*. Bogotá, Colombia: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2018). *Censo nacional de población y vivienda: total, cabecera por municipio 2020*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020). *Marco geoestadístico nacional: centros poblados*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2018). *Bosque no bosque 2010*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2021). *Cobertura de la tierra a 2018*. Bogotá, Colombia: 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).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Modelo digital de elevación 30 m*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

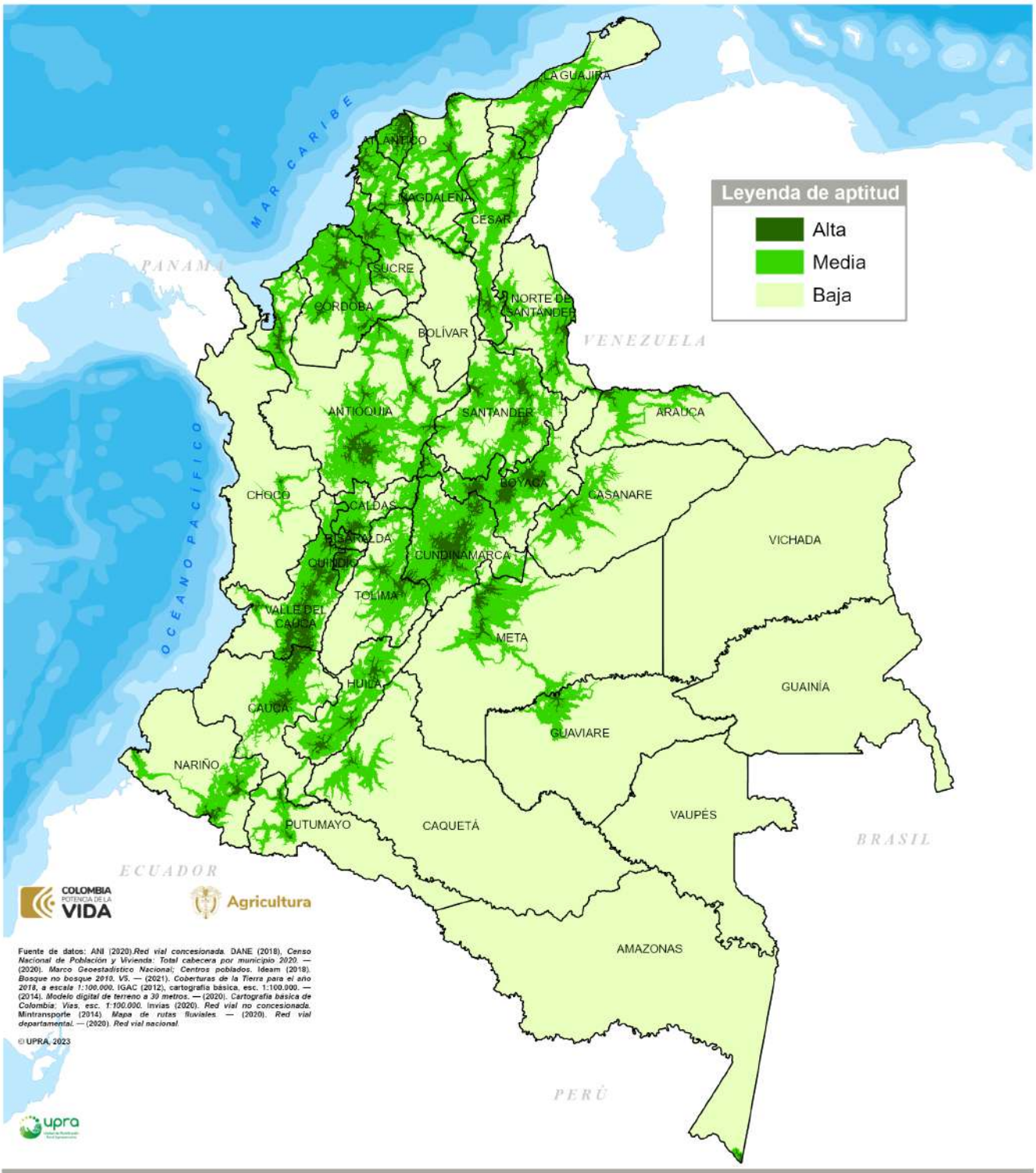
Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020). *Cartografía básica, vías escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Nacional de Vías (2020). *Red vial no concesionada*. Bogotá, Colombia: Instituto Nacional de Vías (Invías).

Ministerio de Transporte (2014). *Mapa de tramos fluviales navegables*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Ministerio de Transporte (2020). *Red vial departamental y nacional*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable cercanía a centros de servicios

3.2.4. Variable *cercanía a centros de almacenamiento*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: económico		
Criterio asociado: *infraestructura y logística*		
Variable: *cercanía a centros de almacenamiento*	Unidad de medida: predios	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Corresponde a los predios georreferenciados tomados del registro 2 de las bases catastrales que reportan construcciones de silos y secaderos, los cuales se encuentran dentro de la frontera agrícola. No presentan exclusiones para el mercado de tierras ni tienen destino económico agropecuario.

Importancia de la variable

Para garantizar no sólo la disponibilidad de granos y semillas, sino también la oportunidad de obtención y cantidad requeridas, es necesario utilizar la infraestructura de almacenamiento y conservación. Por esta razón, esta variable es indispensable, ya que indica en dónde se encuentra actualmente la infraestructura que permita tanto el almacenamiento como la conservación de granos y semillas en construcciones secas, limpias y libres de plagas. Con esto se garantiza que el producto almacenado se mantenga fresco, seco y protegido de insectos, pájaros, hongos y roedores.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

En 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 no existe un registro georreferenciado de la infraestructura requerida para el almacenamiento y secado del maíz, por lo que se debió recurrir únicamente al registro elaborado por parte de los censos de uso de las construcciones de los catastros nacionales. Así, debido a la desactualización de muchos de los registros, no se tiene la totalidad de la información respectiva.

Metodología de procesamiento de la información

Precisiones de la información

Abarca los predios georreferenciados en las bases catastrales con reporte de construcciones de silos (08) y secaderos (18), los cuales se encuentran en los municipios con producción de maíz dentro del área de frontera agrícola ni están excluidos de las áreas para el mercado de tierras agropecuarias.

Análisis de la consistencia y preparación de la información

Se tomó como base la información del uso de las construcciones que se encuentra en el registro 2 de las bases catastrales nacionales para marcar este tipo de predios, proceso que se cruzó con los municipios productores de maíz reportados por las EVA. Una vez identificados los predios donde se ubicaba la infraestructura de almacenamiento, se calculó un tiempo de desplazamiento de una hora que se procedió a marcar con *aptitud alta* (A1); con un tiempo de desplazamiento de entre una y dos horas, se marcó el predio con *aptitud media* (A2); con un tiempo de desplazamiento mayor a dos horas, se marcó el predio con *aptitud baja* (A3).

Clasificación de los municipios por aptitud

Los puntos de corte para establecer los rangos de aptitud se definieron con base en los tiempos de desplazamiento a los silos y secaderos —considerando que a mayor distancia se reduce la posibilidad de acceder a ellos— así: con aptitud alta (A1), las distancias de los desplazamientos que suelen tomar menos de media hora; con *aptitud media* (A2), las distancias las distancias de los desplazamientos que suelen tomar entre media y una hora; y con *aptitud baja* (A3), las distancias de los desplazamientos que suelen tomar que toman más de una hora.

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:

Tiempo de desplazamiento (horas)	Aptitud
<1/2	Alta (A1)
1/2-1	Media (A2)
>1	Baja (A3)

Unidad de análisis

Predios.

Fuentes de información

Alcaldía de Barranquilla (2020). *Base catastral, registros 1 y 2. Barranquilla*, Colombia: Alcaldía de Barranquilla.

Alcaldía de Medellín (2020). *Registro 1 de la base catastral rural*. Medellín, Colombia: Alcaldía de Medellín.

Alcaldía de Santiago de Cali (2020). *Registro 1 de la base catastral rural*. Cali, Colombia: Alcaldía de Santiago de Cali.

Agencia Nacional de Infraestructura (2020). *Red vial concesionaria*. Bogotá, Colombia: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2018). *Censo nacional de población y vivienda: total, cabecera por municipio 2020*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020). *Marco geoestadístico nacional: centros poblados*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Unidad Administrativa de Catastro Distrital (2020). *Información predial base catastral rural*. Bogotá, Colombia: Unidad Administrativa de Catastro Distrital.

Gobernación de Antioquia (2020). *Registros básicos y complementarios de la información rural*. Medellín, Colombia: Gobernación de Antioquia.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2018). *Bosque no bosque 2010*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2021). *Cobertura de la tierra a 2018*. Bogotá, Colombia: 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).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Modelo digital de elevación 30 m*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020). *Cartografía básica, vías escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Nacional de Vías (2020). *Red vial no concesionada*. Bogotá, Colombia: Instituto Nacional de Vías (Invías).

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2019). *Evaluaciones agrícolas municipales (EVA)*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

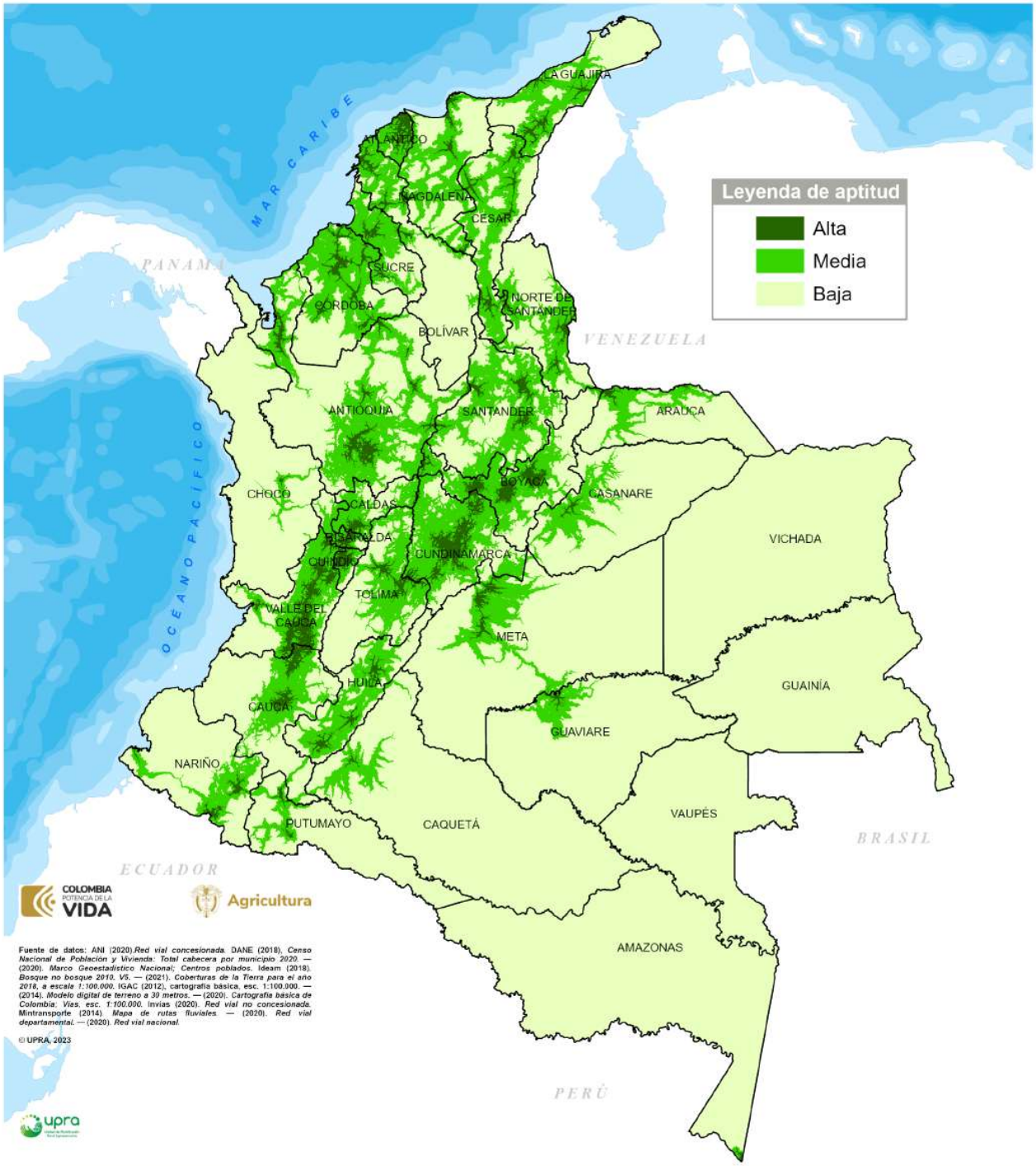
Ministerio de Transporte (2014). *Mapa de tramos fluviales navegables*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Ministerio de Transporte (2020). *Red vial departamental y nacional*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (2019). *Frontera agrícola*. Bogotá, Colombia: Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria. (2020). *Clasificación de áreas para el mercado de tierras rurales agropecuarias-V10*. Bogotá, Colombia: Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

Representación cartográfica de la variable



CRITERIO INFRAESTRUCTURA Y LOGÍSTICA
Variable cercanía a centros de servicios

3.2.5. Variable *cercanía a plantas procesadoras*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: económico		
Criterio asociado: *infraestructura y logística*		
Variable: *cercanía a plantas procesadoras*	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 una planta procesadora desde otros puntos en el territorio. Este tipo de plantas producen subproductos, como maíz trillado, maíz partido, harinas de maíz, cuchuco de maíz y harinas de maíz cruda, entre otros. Para efectos de la zonificación de aptitud, esta variable se incorpora como el área de influencia para un tiempo de desplazamiento en horas a las plantas procesadoras.

Importancia de la variable

Incide en la percepción de los agentes económicos con respecto a la transformación del maíz en subproductos, como base de la preparación de otros alimentos, a saber: arepas, empanadas, envueltos, tamales, natilla, buñuelos, mantecada, almojábanas, entre otros. Las zonas más cercanas a las plantas procesadoras cuentan con mayores oportunidades para la transformación y comercialización del maíz.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

En el análisis de la variable, no se presentaron límites que se calificaron como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

Existe una falta de información acerca de la capacidad instalada que tienen las plantas procesadoras, lo cual daría lugar a una clasificación entre grandes, medianas y pequeñas plantas, por lo que facilitaría una mejor interpretación de la demanda de materia prima en las zonas donde se desarrolla la producción de alimentos derivados del maíz.

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 en cuenta la ubicación de las plantas procesadoras en la cabecera municipal, a partir de lo cual se estimó el área de influencia para un tiempo de desplazamiento determinado.

Clasificación por aptitud.

Se calificaron con *aptitud alta* (A1) las plantas procesadoras cuyas distancias de deslazamiento toman menos de media hora para acceder a la transformación del producto; con *aptitud media* (A2), las plantas procesadoras cuyas distancias de deslazamiento toman entre media y una hora para acceder a la transformación del producto, y con *aptitud baja* (A3), plantas procesadoras cuyas distancias de deslazamiento toman más de una hora para acceder a la transformación del producto.

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 consultar en la siguiente tabla:

Tiempo de desplazamiento (horas)	Aptitud
<1/2	Alta (A1)
1/2-1	Media (A2)
>1	Baja (A3)

Unidad de análisis

Tiempo de desplazamiento (horas).

Fuentes de información

Agencia Nacional de Infraestructura (2020). *Red vial concesionaria*. Bogotá, Colombia: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020). *Marco geoestadístico nacional: centros poblados*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2018). *Bosque no bosque 2010*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2021). *Cobertura de la tierra a 2018*. Bogotá, Colombia: 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).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Modelo digital de elevación 30 m*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020). *Cartografía básica, vías escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

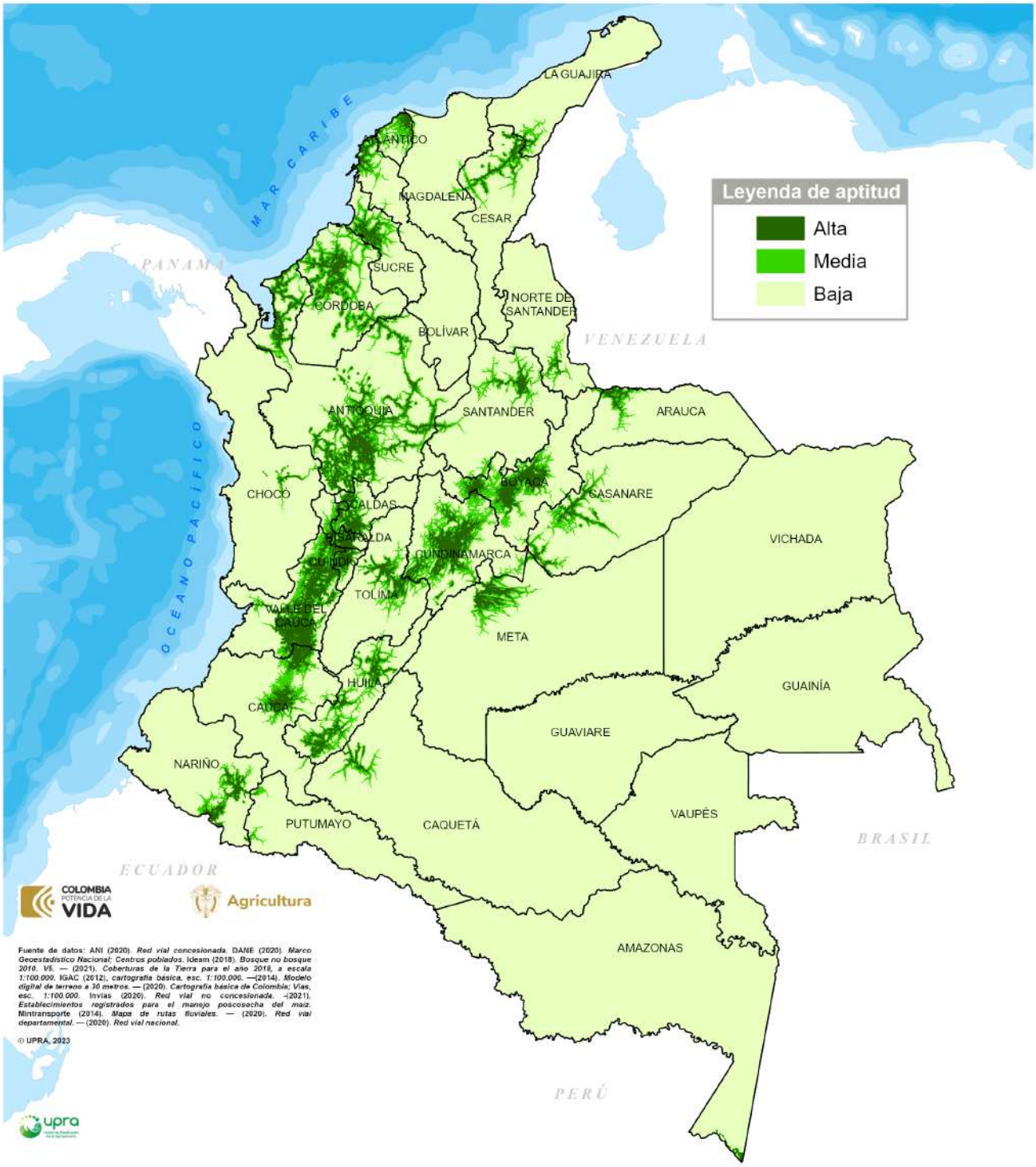
Instituto Nacional de Vías (2020). *Red vial no concesionada*. Bogotá, Colombia: Instituto Nacional de Vías (Invías).

Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (2021) *Establecimientos registrados para el manejo de la postcosecha de maíz*. Bogotá, Colombia: Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (Invima).

Ministerio de Transporte (2014). *Mapa de tramos fluviales navegables*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Ministerio de Transporte (2020). *Red vial departamental y nacional*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Representación cartográfica de la variable



Criterio *infraestructura y logística*
Variable *cercanía a plantas procesadoras*

3.3 Criterio *dinámica del mercado de tierras*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
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

Tamaño predial rural, expresado en hectáreas.

Arriendo rural, expresado en pesos por hectárea.

Avalúo catastral rural, expresado en pesos por hectárea.

Tendencia a la formalidad, expresada en predios.

Definición

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» (artículo 5, Resolución 128 de 2017, MADR). El criterio expone el comportamiento de los municipios sobre la dinámica de la tierra desde cuatro variables que permiten comprender la capacidad y las limitantes de la tierra para la producción agropecuaria en el desarrollo de un cultivo. Muestra el impacto del tamaño, la formalidad, el arriendo y el precio de los predios en el uso del avalúo catastral como un *proxi* de su tendencia para focalizar las posibles inversiones en acceso a la tierra para la producción de maíz tradicional.

Importancia del criterio

Orienta al productor o inversionista sobre las posibilidades de acceso a la tierra, mediante compra o arriendo, para el desarrollo rentable de la actividad productiva. Además, otorga una presunción de los predios que puedan brindar seguridad al acceso de derechos de propiedad, pues orienta a un nuevo actor sobre sus posibilidades de acceso a la tierra o a los propietarios para 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, lo cual 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 los precios comerciales del suelo, por lo que se debe acudir al avalúo catastral como un *proxi* que, a pesar de haber sido indexado para todos los municipios hasta el año 2019, parte de una información desactualizada en la mayoría de esos precios. Así mismo, la desactualización de la información catastral limita los análisis 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, la Agencia Nacional de Tierras y la Unidad Administrativa Especial de Gestión de Restitución de Tierras Despojadas. También se limita por la existencia de zonas, que corresponden a 12 corregimientos y 68 municipios ubicados en 15 departamentos, donde aún no se cuenta con procesos de formación catastral, por lo que no hay información física, económica ni jurídica. Actualmente, tampoco se cuenta con suficiente información de arriendos que sea compilada, organizada y georreferenciada a nivel nacional.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado

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 cuatro variables, las cuales tienen el mismo peso. Las variables califican los municipios según las categorías de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3), como se registra en la tabla de abajo:

Rangos para la asignación de valores de aptitud

Variables	Unidad de medida	Aptitud		
		Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)
Tamaño predial rural	Predios (ha)	<5	5-10	>10
Arriendo rural	Miles de pesos/ha	<600	600-1.000	>1.000
Avalúo catastral rural	Millones de pesos/ha	<2,8	2,8-7,3	>7,3 y predios en propiedad horizontal (pH y condominio) y con destinos económicos industriales, comerciales y recreativos
Tendencia a la formalidad	Predios	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; y predios con resolución de inscripción en el registro 1 de la ley de tierras despojadas y abandonadas forzosamente

Fuentes de información

Agencia Nacional de Tierras (2019). *Títulos formalización, baldíos adjudicados*. Bogotá, Colombia: 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*. Bogotá, Colombia: Agencia Nacional de Tierras (ANT).

Alcaldía de Medellín (2020). *Registro 1 de la base catastral rural*. Medellín, Colombia: Alcaldía de Medellín.

Alcaldía de Santiago de Cali (2020). *Registro 1 de la base catastral rural*. Cali, Colombia: Alcaldía de Santiago de Cali.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020). *Sistema de información de precios (SIPSA): datos de arriendo para actividades pecuarias*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Departamento Nacional de Planeación (2014). Categorías de ruralidad de municipios y ciudades de Colombia. Bogotá, Colombia: Departamento Nacional de Planeación (DNP).

Gobernación de Antioquia (2020). *Predial rural Antioquia*. Medellín, Colombia: Gobernación de Antioquia.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *ICARE: Interrelación catastro-registro*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2016). *Base catastral, registros 1 y 2*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Base catastral, registros 1 y 2*. Bogotá, Colombia: 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*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2019). *Evaluaciones agrícolas municipales (EVA)*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

Superintendencia de Notariado y Registro (2020). *Falsas tradiciones, presunción de informalidad*. Bogotá, Colombia: Superintendencia de Notariado y Registro (SNR).

Unidad Administrativa Especial de Gestión de Restitución de Tierras Despojadas (2017). *Solicitudes de inscripción en el registro de tierras despojadas y abandonadas forzosamente*. Bogotá, Colombia: Unidad Administrativa Especial de Gestión de Restitución de Tierras Despojadas (UAEGRTD).

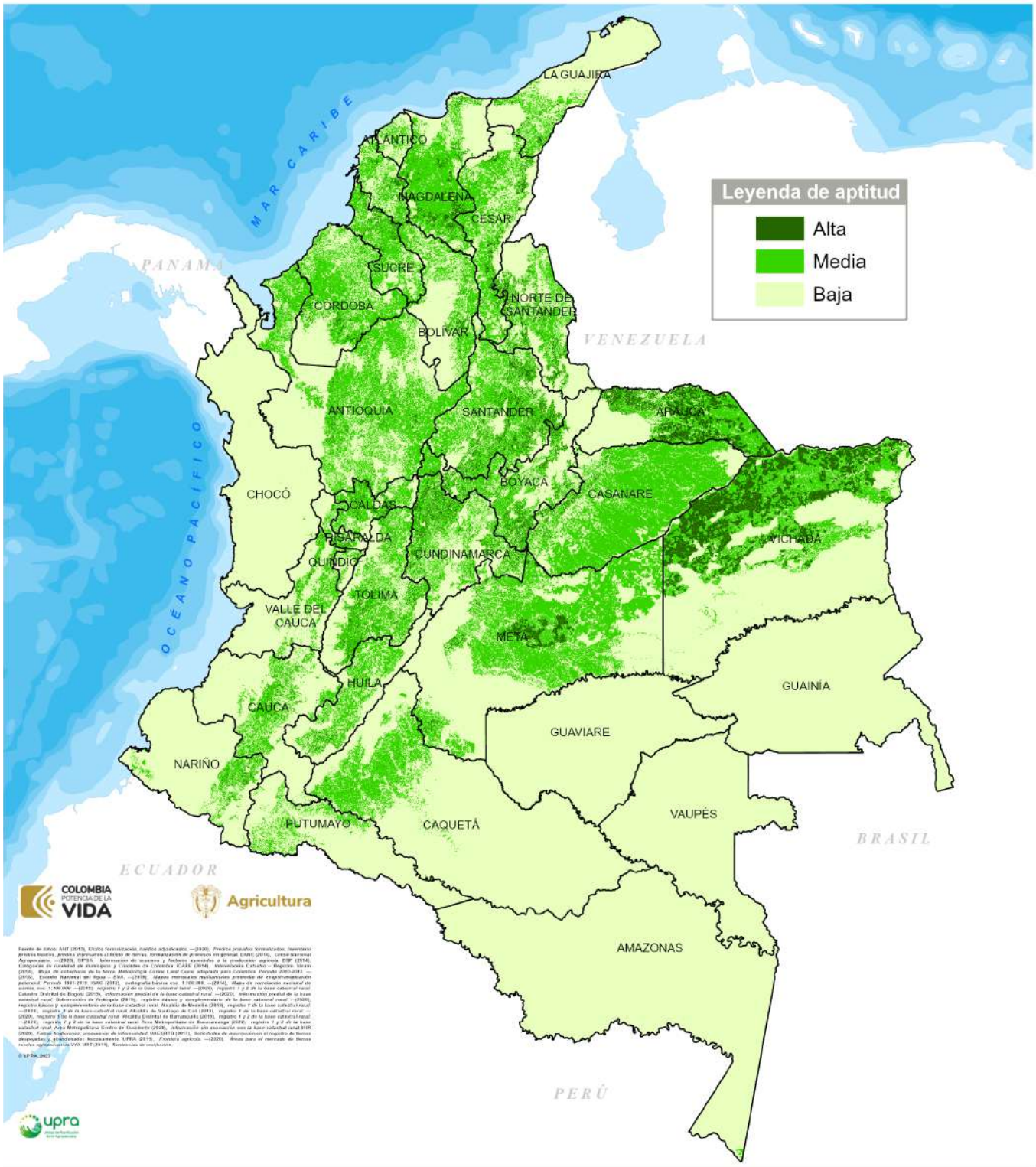
Unidad Administrativa de Catastro Distrital (2019). *Información predial jurídica, física y económica*. Bogotá, Colombia: Unidad Administrativa de Catastro Distrital.

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (2015). *Mercado de tierras rurales productivas en Colombia: caracterización, marco conceptual, jurídico e institucional*. Bogotá, Colombia: Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (2020). *Clasificación de áreas para el mercado de tierras rurales agropecuarias V10*. Bogotá, Colombia: Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (2021). *Mapa de apropiación de agua para maíz*. Bogotá, Colombia: Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

Representación cartográfica del criterio



Criterio *dinámica del mercado de tierras*

3.3.1. Variable *tamaño predial rural*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* l.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
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 producción actual y a la aproximación de las dimensiones consideradas óptimas para la productividad de la actividad. Para efectos de la presente zonificación de aptitud, se consideró 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

La variable es importante porque permite que un nuevo actor o uno con tierra insuficiente pueda conocer en dónde los tamaños prediales podrían ser apropiados para el desarrollo de la actividad productiva y en dónde se dificultaría o tendría que buscar otras formas para acceder al tamaño predial requerido. Esta actividad no requiere de extensiones prediales muy grandes, por lo que los actores productivos tendrían mayor oferta inmobiliaria. Sin embargo, los altos costos de la tierra asociados a los predios de menores tamaños podrían llegar a generar algunas barreras de acceso.

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 los catastros descentralizados, que en muchos municipios están desactualizadas; mientras que en 80 de ellos no se cuenta con la información catastral. Las áreas registradas en el catastro en la mayoría de los casos corresponden a las indicadas en los títulos de dominio bajo la figura de *cuerpo cierto*, pero 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 tuvieron en cuenta únicamente los predios con destino económico agropecuario y sin ningún condicionante legal que impidiera su 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 de acuerdo con el cálculo de las áreas mínimas requeridas para que la actividad se realice de manera productiva, que se comportan con representación en el actual desarrollo de la actividad existente en el país. Para esto, se contó con el concepto de profesionales vinculados al proceso productivo y de expertos quienes determinaron un área mínima necesaria para la producción con el supuesto de que fuera sólo para la actividad del maíz. De igual forma, se analizaron las bases prediales de donde se reportan cultivos. Para conocer la representatividad de los tamaños calculados, se validaron los rangos propuestos en vistas de campo y se realizó la propuesta de las tres categorías de aptitud a partir de integración de toda la información consultada. Con el fin de mostrar los predios que permitan un acceso eficiente, se marcaron los predios identificados como excluidos del mapa de clasificación de áreas para el mercado de tierras rurales agropecuarias V10, cuya clasificación fue de *aptitud baja* (A3), pero con marcación de 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 libre y autónomamente de acuerdo con la constitución colombiana y las leyes vigentes. Con ello, se definen como áreas excluidas o que están fuera del mercado de tierras agropecuarias a los espacios geográficos de Colombia en los que, por expresas prohibiciones de la ley, no se pueden desarrollar actividades agrícolas o pecuarias, ya que esos territorios están dedicados a la preservación, restauración, conocimiento y disfrute por parte de la población, o presentan restricciones legales que impiden que se puedan comprar o vender libremente en el mercado, dado su carácter inalienable. Dentro de esta clasificación de áreas excluidas también se suelen tener en cuenta las zonas urbanas, que, si bien sí les permite la compra o venta libre en el mercado, no son aptas para el desarrollo de actividades agrícolas o pecuarias. Los condicionantes aquí mencionados se relacionan en la siguiente tabla:

Territorios excluidos del mercado de tierras
Zonas urbanas
Resguardos indígenas declarados
Tierras de 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
Preservación AMEM (áreas de manejo especial de la Macarena)
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 alta* (A1) para los predios de menos de 5 hectáreas; *aptitud media* (A2), para los que oscilan entre 5 y 10 hectáreas; y *aptitud baja* (A3), para los predios mayores a 10 hectáreas.

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), así:

Predios (ha)	Aptitud
<5	Alta (A1)
5-10	Media (A2)
>10	Baja (A3)

Unidad de análisis

Predios.

Fuentes de información

Alcaldía de Barranquilla (2020). *Base catastral, registros 1 y 2. Barranquilla*, Colombia: Alcaldía de Barranquilla.

Alcaldía de Medellín (2020). *Registro 1 de la base catastral rural*. Medellín, Colombia: Alcaldía de Medellín.

Alcaldía de Santiago de Cali (2020). *Registro 1 de la base catastral rural*. Cali, Colombia: Alcaldía de Santiago de Cali.

Unidad Administrativa de Catastro Distrital (2019). *Información predial jurídica, física y económica*. Bogotá, Colombia: Unidad Administrativa de Catastro Distrital.

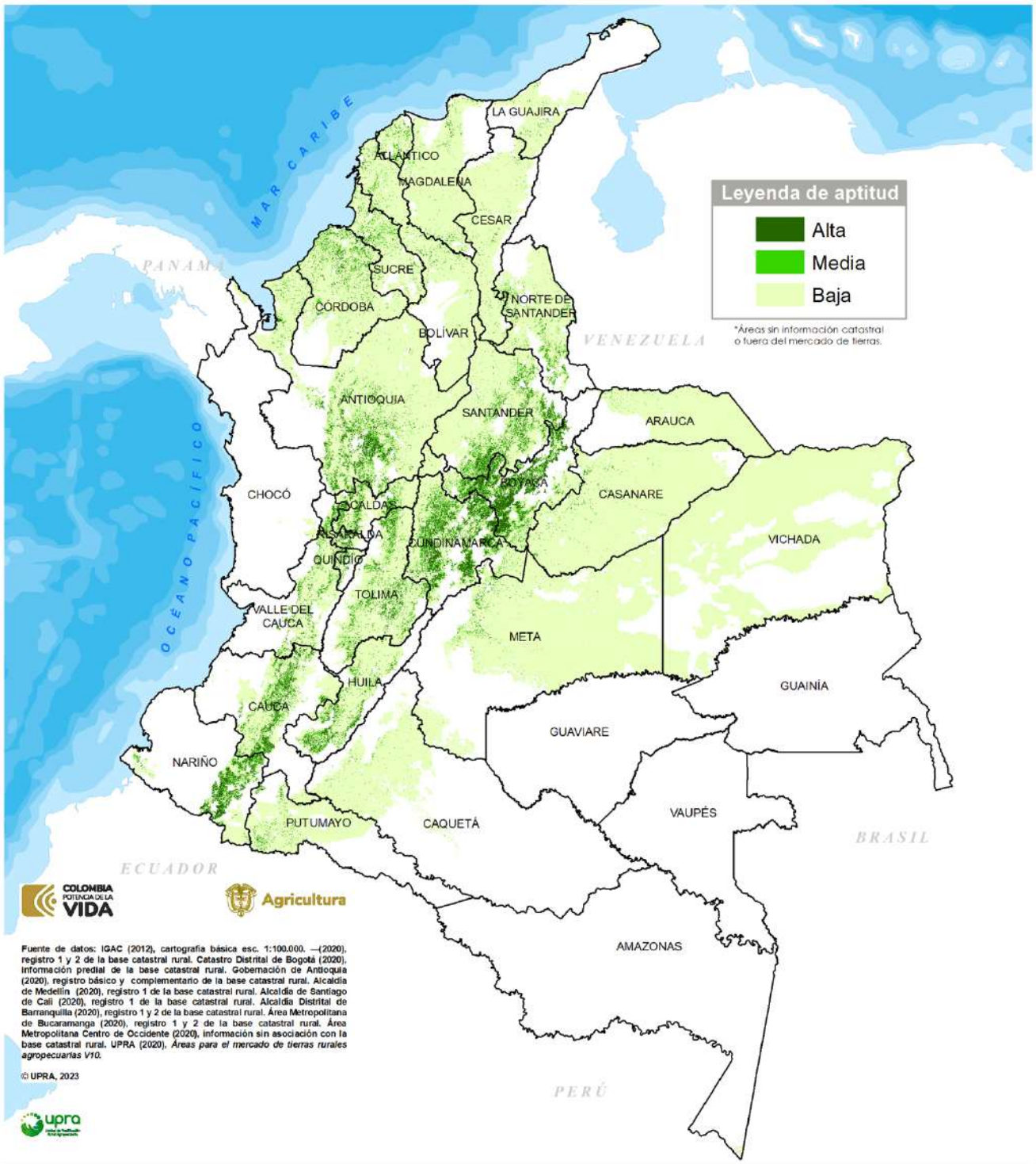
Gobernación de Antioquia (2020). *Predial rural Antioquia*. Medellín, Colombia: Gobernación de Antioquia.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020). *Base catastral, registros 1 y 2*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (2020). *Clasificación de áreas para el mercado de tierras rurales agropecuarias V10*. Bogotá, Colombia: Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

Representación cartográfica de la variable



Criterio *dinámica del mercado de tierras*
Variable *tamaño predial rural*

3.3.2. Variable *arriendo rural*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* l.) tradicional con prácticas mínimas de manejo, dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
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 del maíz. El arriendo es uno de los aspectos más determinantes dentro del desarrollo de la actividad productiva, ya que facilita el acceso a la tierra, evita realizar grandes inversiones en compra de predios y les permite a los productores utilizar permanentemente suelos descansados, libres de enfermedades y con buenas condiciones físicas según sus necesidades.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

En 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 una información que se halle suficientemente organizada, georreferenciada y pública de cobertura nacional, sino que únicamente cuenta con la información de referencia de arriendos recogida por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) a través del Sistema de información de precios y abastecimiento del sector agropecuario (SIPSA). Dentro de la información de factores de producción, apenas cuenta con 5.599 datos, los cuales están ubicados en 280 municipios que corresponden a 24 departamentos, levantados en el periodo 2013-2020. Esta cobertura es una de las mayores limitantes de la variable, en ausencia de más información relacionada.

Metodología de procesamiento de la información

Información

El DANE tiene, como una de sus principales funciones, brindar información básica para la toma de decisiones en todos los sectores de la economía. De este modo, el Sistema de información de precios y abastecimiento del sector agropecuario (SIPSA) es el encargado de informar no sólo los precios mayoristas de los productos agroalimentarios que se comercializan en el país, sino también sobre los insumos y factores asociados a la producción pecuaria y el 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 especiales o 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 disponibilidad a su acceso para ser arrendada, mayor tiende a ser el canon. Es decir: a menor oferta y mayor calidad de suelo, mayores precios de arriendo, comportamiento que no se relaciona directamente con el precio de la tierra, sino con la rentabilidad del producto para la cual se requiere.

Clasificación por aptitud

El proceso para la clasificación por aptitud se realizó de la siguiente manera: se tomó como base de la información económica los arriendos del SIPSA para el año 2020, con el fin de determinar el comportamiento del pago del arrendamiento para actividades agrícolas, expresado en año por hectárea. A través de 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 para el arriendo de la producción de maíz.

Estos rangos se clasificaron en *aptitud alta* (A1), *aptitud media* (A2) y *aptitud baja* (A3), considerando los valores de arriendo determinados con el experto del cultivo. De esta manera, se tomaron de la base del SIPSA todos los datos de arriendos para las actividades agrícolas, cuya referencia especial fueron los reportados para el cultivo del maíz tradicional y se unificaron a hectárea por año. Posteriormente, se realizó el proceso de definición de rangos para todos los municipios reportados en el SIPSA, para lo cual se construyó como resultado del análisis de estos rangos 18 relacionados directamente con los datos reportados sobre la pendiente y el agua, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

Número	Rangos de valor de arriendo anual en pesos/ha	
1.1.1	Hasta $200.000	
1.1.2	Mayor de $200.000	Hasta $300.000
1.2.1	Mayor de $300.000	Hasta $400.000
1.2.2	Mayor de $400.000	Hasta $500.000
2.1.1	Mayor de $500.000	Hasta $600.000
2.1.2	Mayor de $600.000	Hasta $700.000
2.1.3	Mayor de $ 700.000	Hasta $ 800.000
2.1.4	Mayor de $800.000	Hasta $900.000
2.1.5	Mayor de $900.000	Hasta $1.000.000
2.2.1	Mayor de $1.000.000	Hasta $1.200.000
2.2.2	Mayor de $1.200.000	Hasta $1.500.000
3.1.1	Mayor de $1.500.000	Hasta $2.000.000
3.1.2	Mayor de $2.000.000	Hasta $2.500.000
3.2.1	Mayor de $2.500.000	Hasta $3.000.000
3.2.2	Mayor de $3.000.000	Hasta $3.500.000
4.1.1	Mayor de $3.500.000	Hasta $ 4.000.000
4.1.2	Mayor de $4.000.000	Hasta $ 4.500.000
4.1.3	Mayor de $4.500.000	

Para efectuar la georreferenciación de los datos, basados en los datos originales, se realizaron las siguientes clasificaciones: para los datos relacionados con la *pendiente*, se llevó a cabo una reclasificación[1] para buscar su equivalencia con las fases de la pendiente del mapa correlacionado de suelos del IGAC (2014), de la siguiente manera:

Dato SIPSA	Clasificación final
Plano	Pendiente del 0 al 7, fases a-b
Plano inclinado	Pendiente del 7 al 12, fase c
Inclinado ondulado	Pendiente del 12 al 25, fase d
Quebrado pendiente	Pendiente mayor del 25, fases e-f-g

Para los datos relacionados con el *agua*, se equivalieron los datos con la clasificación de aptitud del mapa de apropiación de agua para el cultivo del maíz elaborado 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

[1] La reclasificación de las pendientes de la información original del SIPSA se realizó con el apoyo del experto de suelos del componente físico del grupo de zonificación de la UPRA.

Para proyectar los datos existentes a todos los municipios que actualmente son productores de maíz, se realizó el vínculo a través de la información por región, subregión y categoría de ruralidad del DNP (2014). Con ello, se buscó proyectar también el dato económico del municipio conocido a otros de similares características, comparables con el que tiene la información económica de arriendo, como se expone en la tabla de abajo:

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 ejecutó dentro de la frontera agrícola y únicamente para los predios que no tenían 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 muestra a continuación:

Arriendo rural (miles de pesos/ha)	Aptitud
<600	Alta (A1)
600-1.000	Media (A3)
>1.000	Baja (A3)

Unidad de análisis

Pesos por hectárea.

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. Bogotá, Colombia: Congreso de los Estados Unidos de Colombia.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020). SIPSA: información de insumos y factores asociados a la producción pecuaria. Bogotá, Colombia: 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*. Bogotá, Colombia: Departamento Nacional de Planeación (DNP).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2015). *Estudio nacional del agua 2014*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). Recuperado de 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*. Bogotá, Colombia: 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).

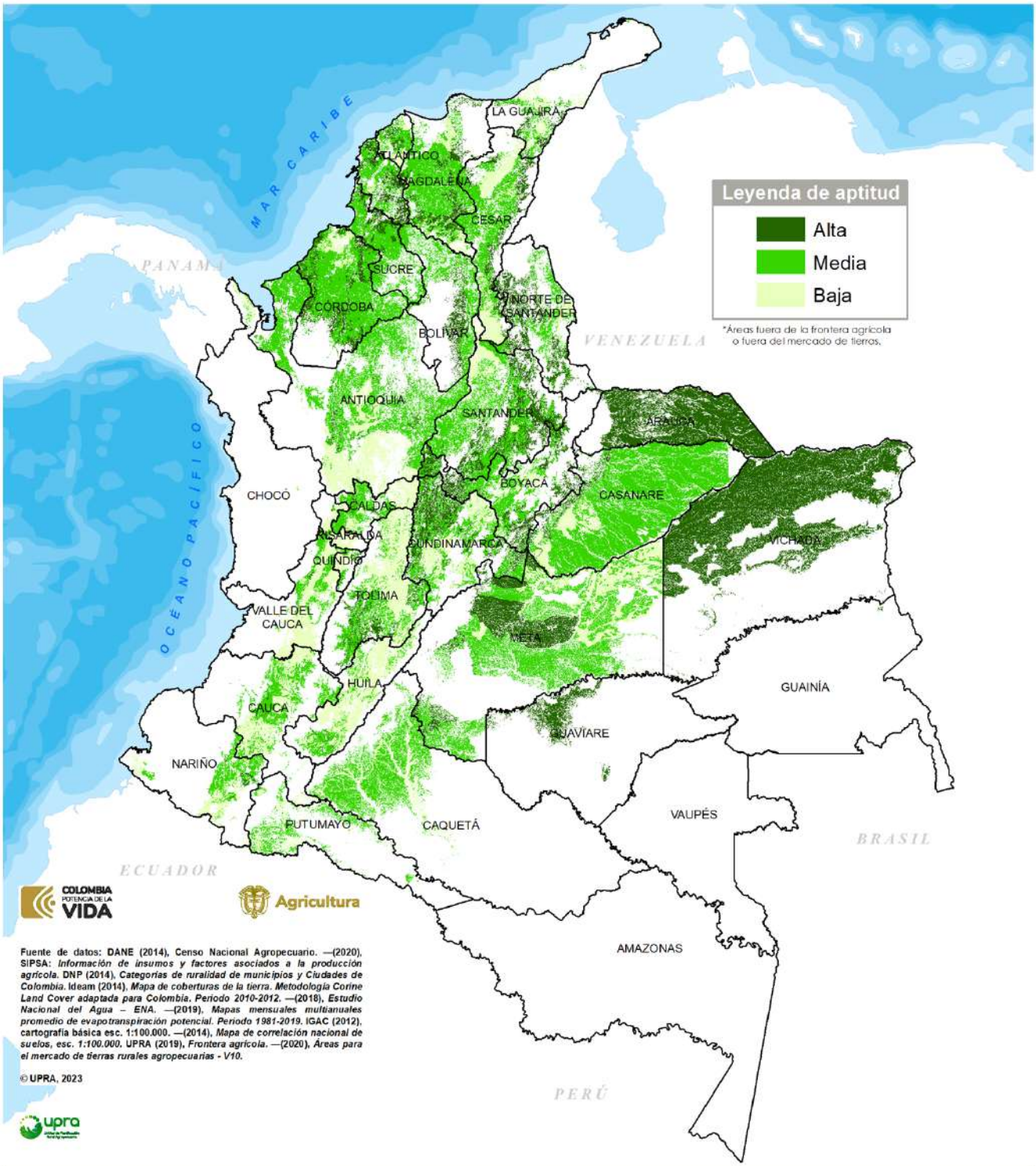
Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Mapa de correlación de suelos: fases por pendiente*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2019). *Evaluaciones agrícolas municipales (EVA)*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (2019). *Frontera agrícola*. Bogotá, Colombia: Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (2020). *Clasificación de áreas para el mercado de tierras rurales agropecuarias V10*. Bogotá, Colombia: Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

Representación cartográfica de la variable



Criterio *dinámica del mercado de tierras*
Variable *arriendo rural*

3.3.3. Variable *avalúo catastral rural*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* l.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
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 por investigación y análisis estadístico del mercado inmobiliario. Se determina por la adición de los avalúos parciales practicados para los terrenos y edificaciones (IGAC, 2011). Esta variable se utiliza como un *proxi* del precio comercial posible de intercambio de las tierras rurales por hectárea, dada la ausencia de información nacional de precios comerciales 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 del avalúo catastral se pueden disminuir los costos de producción: el pago por rentas del suelo, lo que permitirá a un productor ampliar su 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 no sólo mayores costos de transacción, sino también mayores pagos por impuesto.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

En el análisis de la variable, no presentó límites que se calificaran como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

Hoy Colombia no cuenta con información compilada de precios comerciales del suelo, por lo que los avalúos catastrales se deben utilizar como un *proxi* de la información, que, aunque no informan directamente sobre los precios, sí muestran una tendencia. La UPRA, al año 2021, cuenta con precios comerciales de referencia a escala 1:100.000 para suelos rurales agropecuarios en 445 municipios del país, que cubren aproximadamente 12 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 suelen estar 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 del país donde aún no se cuenta con procesos de formación catastral. Por consiguiente, no existe 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, lo que implicó obviar los valores de construcción, partiendo del supuesto que para los predios rurales agropecuarios tiene un peso muy bajo debido a la relación de área entre el terreno y la construcción.

Análisis de la consistencia y preparación de la información

Teniendo en cuenta que cada uno de los municipios de Colombia tiene una vigencia de actualización catastral diferente, se indexaron todos los avalúos catastrales para el año 2019 a través de un índice departamental calculado por la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA) a partir de las tasas de crecimiento del avalúo catastral rural municipal entre las vigencias. Con el fin de identificar el precio más favorable y el máximo que un productor de maíz 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 cultivo del maíz tradicional del censo nacional agropecuario.

Esta agrupación se realizó en los rangos establecidos para el mapa nacional de avalúos catastrales, elaborado por la UPRA, con lo cual se identificó la mayor representación en cada uno de ellos para definir unos cortes preliminares para esta variable, los cuales se validaron con el experto. Adicionalmente, se consultaron a expertos inmobiliarios y se realizaron pequeños sondeos del mercado actual. Ya que esta información fue expresada en precios comerciales, se asumió un porcentaje de correspondencia nacional entre ellos correspondiente al 60 % para proceder a comparar con el apoyo en lo que indica la norma, específicamente, en el Decreto 148 de febrero de 2020, artículo 2, numeral 22211. Los rangos definidos por el mapa citado se presentan en la siguiente tabla:

Rangos de avalúos del mapa nacional

	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 que 100

Clasificación por aptitud

Basados en los análisis de la información anterior, se establecieron los rangos propuestos de aptitud. Éstos se añadieron a la clasificación de aptitud baja (A3) todos los predios que en las bases catastrales tenían los atributos de destino, con el fin de evidenciar a partir de esta información la presión que ejercen en el precio de la tierra los usos distintos a los agropecuarios que se desarrollan en zonas rurales reglamentadas dentro de los planes de ordenamiento territorial de cada municipio, como se mencionan en la tabla de abajo:

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 como bodegas comerciales, hoteles en propiedad horizontal, comercio, hoteles, clubes-casino, 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, los cuales se clasificaron con *aptitud baja* (A3), pero que se muestran gráficamente en color blanco para facilitar la lectura del usuario. Estos condicionantes 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 lo anterior, se definieron las áreas excluidas o fuera del mercado de tierras agropecuarias a los espacios geográficos del país en los que, por expresas prohibiciones de la ley, 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, también se consideraron 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 de las 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
Preservación AMEM (áreas de manejo especial de la Macarena)
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 del país no corresponden al precio comercial, por lo que a la información consultada se le aplicó un índice de adopción del 60 % para poder analizarla con relación a la información de avalúos catastrales trabajada para esta variable.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

Los rangos para la especialización 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:

Millones de pesos/ha	Aptitud
<2,8	Alta (A1)
2,8-7,3	Media (A2)
>7,3 y predios en propiedad horizontal (PH y condominio) y con destinos económicos industriales, comerciales y recreativos	Baja (A3)

Unidad de análisis

Pesos por hectárea.

Fuentes de información

Alcaldía de Barranquilla (2020). *Base catastral, registros 1 y 2. Barranquilla*, Colombia: Alcaldía de Barranquilla.

Alcaldía de Medellín (2020). *Registro 1 de la base catastral rural*. Medellín, Colombia: Alcaldía de Medellín.

Alcaldía de Santiago de Cali (2020). *Registro 1 de la base catastral rural*. Cali, Colombia: Alcaldía de Santiago de Cali.

Gobernación de Antioquia (2020). *Predial rural Antioquia*. Medellín, Colombia: Gobernación de Antioquia.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

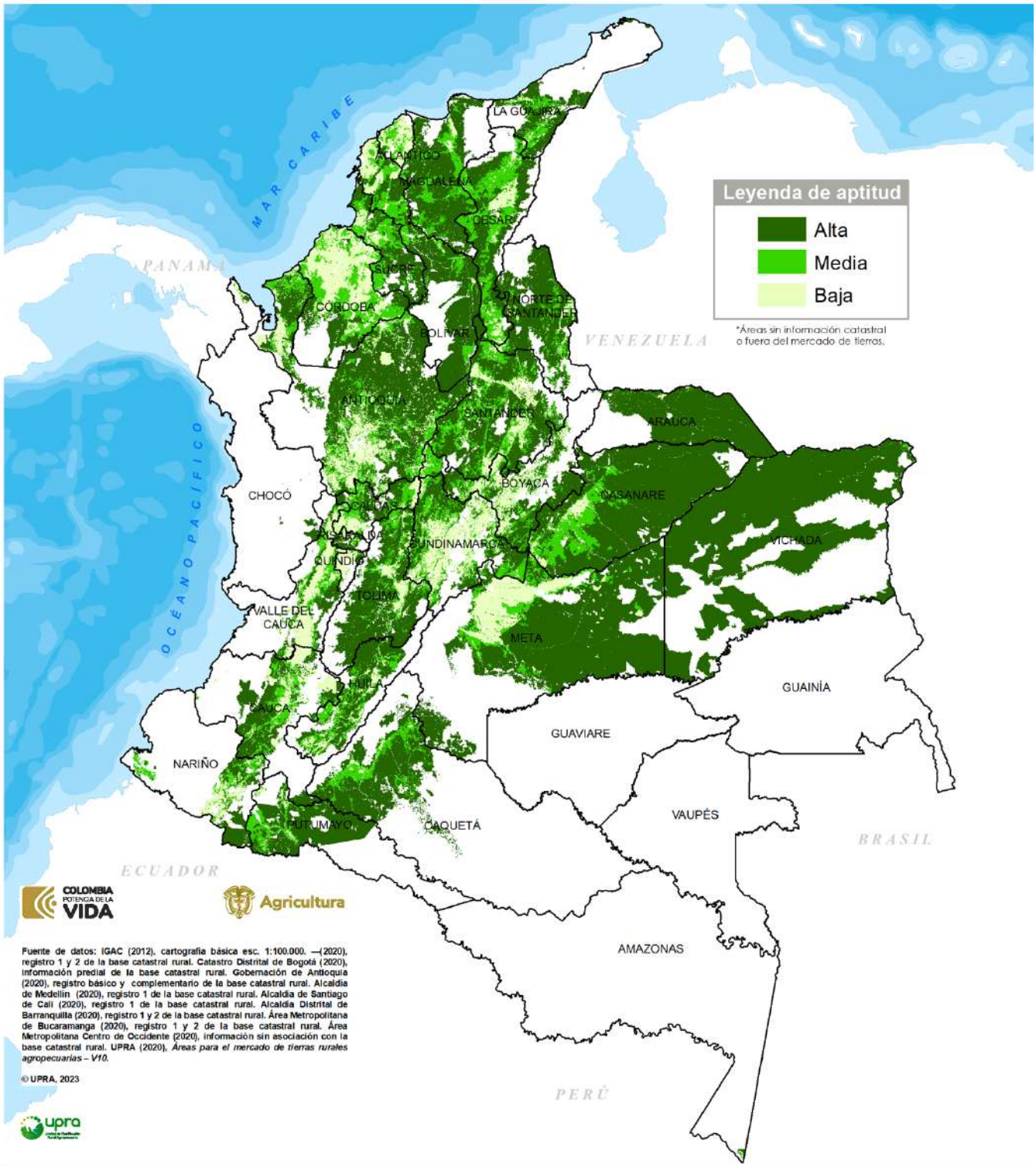
Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020). *Base catastral, registros 1 y 2*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

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*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

Unidad Administrativa de Catastro Distrital (2019). *Información predial jurídica, física y económica*. Bogotá, Colombia: Unidad Administrativa de Catastro Distrital.

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (2020). *Clasificación de áreas para el mercado de tierras rurales agropecuarias V10*. Bogotá, Colombia: Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

Representación cartográfica de la variable



Criterio *dinámica del mercado de tierras*
Variable *avalúo catastral rural*

3.3.4 Variable *tendencia a la formalidad*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
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 a la propiedad de acuerdo con 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 algunas o muchas dificultades. Para esto, suministra información sobre la seguridad y accesibilidad a los derechos de propiedad, por lo que propicia el acceso a los incentivos de inversión, al crédito y a los beneficios agropecuarios. Los derechos de propiedad estimulan 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). Al respecto, la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA, 2015) recuerda que «La seguridad y accesibilidad a los derechos de propiedad sobre la tierra afectan el crecimiento económico de distintas maneras, debido, principalmente, a que (i) la seguridad aumenta los incentivos para invertir y facilita el acceso al crédito; y (ii) la dificultad en el acceso o inequidad en la distribución de la tierra reduce la productividad en agriculturas rudimentarias (Deininger, 2003)».

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado

En 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 ni con la 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 IGAC en el estado de la gestión catastral rural y en el informe de gestión de cierre de 2020, como se registra en la siguiente tabla:

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 el registro dificultan que los predios cuenten con la información jurídica actualizada en las bases de datos para realizar este tipo de ejercicios.

Metodología de procesamiento de la información

Precisiones de la información

En cuanto a los datos sobre formalidad rural en Colombia, la UPRA establece que «La informalidad en el país se presenta en ocupaciones sobre terrenos públicos, en posesiones sobre predios ajenos, títulos no registrados, sucesiones ilíquidas, en falsas tradiciones o en posesiones. Al observar los datos del Programa de formalización de la propiedad rural del Minagricultura, el 48 % de los 3.946.376 predios rurales que están inscritos en el catastro nacional no tiene títulos formales». A partir de esta información, se evidencia un alto porcentaje de predios rurales que no tienen título de propiedad válido registrado.

Las subvariables para determinar que los predios tuvieran una presunta formalidad fueron los siguientes: a) predios que en las bases tuviera matrícula inmobiliaria y que no cumplieran ninguna de las demás subvariables; b) predios que en la base catastral no poseyeran una matrícula inmobiliaria; c) predios identificados en la base catastral 2014 que no tuvieran interrelación catastro registro; d) predios identificados con *mejoras en predio ajeno* dentro de la base catastral; e) predios identificados en la base 2014_IGAC y en la información entregada por SNR_2020 que estuvieran en falsa tradición; f) predios identificados como *presuntos baldíos*; y g) predios con resolución de inscripción en el registro 1 de la ley de tierras despojadas y abandonadas forzosamente. Por el contrario, el argumento considerado para identificar dentro de la base catastral los predios con tendencia a ser informales fue que presentaran alguna de las subvariables descritas de los literales *a* a la *g*; mientras, por exclusión, los primeros serían los que se podrían 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 teniendo en cuenta 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) evidenciaron 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; y los predios con resolución de inscripción en el registro 1 de la ley de tierras despojadas y abandonadas forzosamente. Estos últimos debieron evidenciar inconvenientes jurídicos con su titulación, por lo que se consideró que es más probable que tuvieran problemas en sus condiciones jurídicas y no garantizan seguridad jurídica.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

Para este proceso se realizó la selección de la base de datos en el siguiente orden: predios con mejoras; predios sin interrelación catastro-registro; predios con falsa tradición; predios con presunción de baldíos; predios con presunción de informalidad; y predios con resolución de inscripción en el registro 1, ya que tiene un inconveniente en su titulación y deben necesariamente pasar por un proceso judicial para poder volver a la formalidad. Estos últimos predios corresponden a los que se encuentran dentro 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. 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 los polígonos que ya cuentan con trabajo de georreferenciación en campo, realizado con la participación del solicitante o de una persona que conozca el predio y sea autorizada por el solicitante. Los polígonos en *estado D* (*definitivos*) hacen referencia a las solicitudes con resolución de inscripción en el registro 1 de la ley de tierras despojadas y abandonadas forzosamente. Por último, los que tienen *estado F* (*final*) corresponden a los que se encuentran en etapa judicial y ya cuentan con sentencia. Con el fin de 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 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 definieron como áreas excluidas o fuera del mercado de tierras agropecuarias a los espacios geográficos en los que, por expresas prohibiciones de la ley, no se pudieran 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 también se consideraron 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 mencionados se sintetizan en las siguientes tablas:

Territorios excluidos del mercado de tierras
Zonas urbanas
Resguardos indígenas declarados
Tierras de las 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
Preservación AMEM (áreas de manejo especial de la Macarena)
Reservas forestales, Ley 2, tipo 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)
Predios con mejoras; predios sin interrelación catastro-registro; predios con falsa tradición; predios con presunción de baldíos; predios con presunción de informalidad; y predios con resolución de inscripción en el registro 1 de la ley de tierras despojadas y abandonadas forzosamente	Baja (A3)

Unidad de análisis

Predio.

Fuentes de información

Agencia Nacional de Tierras (2019). *Títulos de formalización, baldíos adjudicados*. Bogotá, Colombia: Agencia Nacional de Tierras (ANT).

Agencia Nacional de Tierras (2020). *Predios privados formalizados, inventario de predios baldíos, predios ingresados al fondo de tierras, formalización de procesos en general*. Bogotá, Colombia: Agencia Nacional de Tierras (ANT).

Alcaldía de Medellín (2020). *Registro 1 de la base catastral rural*. Medellín, Colombia: Alcaldía de Medellín.

Alcaldía de Santiago de Cali (2020). *Registro 1 de la base catastral rural*. Cali, Colombia: Alcaldía de Santiago de Cali.

Gobernación de Antioquia (2020). *Predial rural Antioquia*. Medellín, Colombia: Gobernación de Antioquia.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Predios sin interrelación catastro-registro y con falsa tradición*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Base predial Registros 1 y 2, vigencia 2016*. Bogotá, Colombia: 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*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR).

Superintendencia de Notariado y Registro (2019). *Falsas tradiciones*. Bogotá, Colombia: Superintendencia de Notariado y Registro (SNR).

Unidad Administrativa de Catastro Distrital (2019). Información predial jurídica, física y económica. Bogotá, Colombia: Unidad Administrativa de Catastro Distrital.

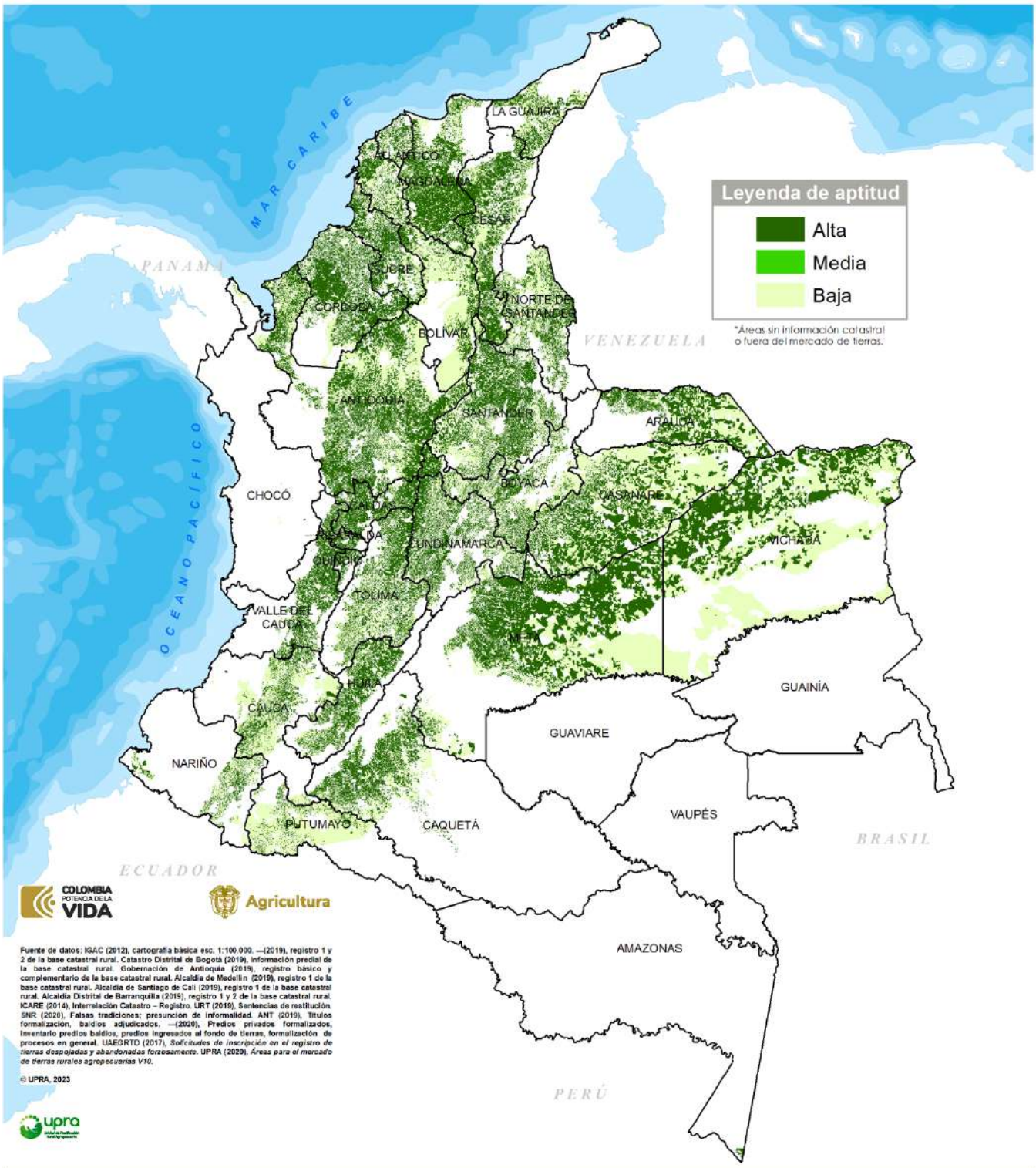
Unidad de Restitución de Tierras (2017). *Puntos de los centroides de los polígonos de las solicitudes que se encuentran espacializadas a octubre 17 de 2017 de los polígonos en estado D (definitivos)*. Bogotá, Colombia: Unidad de Restitución de Tierras (URT)

Unidad de Restitución de Tierras (2019). *Sentencias de restitución*. Bogotá, Colombia: Unidad de Restitución de Tierras (URT).

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (2015). *Mercado de tierras rurales productivas en Colombia: caracterización, marco conceptual, jurídico e institucional*. Bogotá, Colombia: Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (2020). *Clasificación de áreas para el mercado de tierras rurales agropecuarias V10*. Bogotá, Colombia: Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA).

Representación cartográfica de la variable



Criterio *dinámica del mercado de tierras*
Variable *tendencia a la formalidad*

3.3 Criterio *disponibilidad de mano de obra*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT))	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
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 como el 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

Identifica las condiciones que afectan la disponibilidad de mano de obra rural para la producción agrícola en un municipio, teniendo en cuenta el nivel de cualificación y las posibilidades de acceso a programas de formación académica de acuerdo con las necesidades de los productores de maíz.

Importancia del criterio

Brinda información sobre la potencial disponibilidad de mano de obra rural de un municipio en función del número de habitantes en edad productiva y de la capacidad para dotarlos de habilidades y transferirles conocimientos que les permitan desempeñarse en actividades propias del sector agrícola en función de la posibilidad de acceder a programas de formación académica para su capacitación. Estos elementos hacen posible que las unidades productivas de maíz incrementen la productividad y la competitividad al implementar de mejor manera procesos técnicos sin estar limitados por la insuficiencia de personal idóneo. Adicionalmente, permite a los agentes económicos prever y dimensionar la cantidad de capital humano en un municipio y sus posibilidades de especialización, factores que determinan 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 corresponde a las proyecciones de población del año 2020 construidas con base en el *Censo nacional de población y vivienda 2018*, por distribución etaria y por ubicación en las áreas urbanas o rurales de los municipios. Esto limitó la capacidad de ser actualizado sobre la dinámica demográfica más coyuntural.

Igualmente, la base del Sistema nacional de información de la educación superior (SNIES) proporciona datos sobre la ubicación geográfica de los programas académicos (técnicos, tecnológicos y universitarios) y de las sedes autorizadas para impartir la formación. No obstante, 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

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 la población rural en edad de trabajar*	*Oferta educativa técnica y tecnológica*	*Oferta educativa universitaria*
Disponibilidad de mano de obra	*Densidad de la población rural en edad de trabajar por kilómetro cuadrado*	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 a continuación:

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			

Haciendo 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 de las categorías de aptitud, para cada una de las cuales se asignó el valor de alta (A1), media (A2) y baja (A3), como se puede observar en la tabla siguiente:

Criterio	Variable	Ponderación (%)
Disponibilidad de mano de obra	*Densidad de la poblacional rural en edad de trabajar por kilómetro cuadrado*	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, la cual consistió en asignar un peso o valor para el criterio en las categorías de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3), como se establece en la tabla de abajo:

Variables	Unidad de medida	Aptitud		
		Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)
Densidad de la población rural en edad de trabajar por kilómetro cuadrado	Número de habitantes rurales en edad de *trabajar por kilómetro cuadrado*	>24,8	11,9-24,8	<11,9
Oferta educativa técnica y tecnológica	Tiempo de desplazamiento (horas)	<1	1-2	>2
Oferta educativa universitaria	Tiempo de desplazamiento (horas)	<1	1-2	>2

Fuentes de información

Agencia Nacional de Infraestructura (2020). *Red vial concesionaria*. Bogotá, Colombia: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020a). *Proyecciones de población municipal por área, sexo y edad con base en el «Censo nacional de población y vivienda 2018»*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020b). *Marco geoestadístico nacional: centros poblados*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Departamento Nacional de Planeación (2020). *Sistema de Estadísticas Territoriales TerriData*. Bogotá, Colombia: Departamento Nacional de Planeación (DNP). Recuperado de https://terridata.dnp.gov.co/#/

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2018). *Bosque no bosque 2010*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2021). *Cobertura de la tierra a 2018*. Bogotá, Colombia: 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).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Modelo digital de elevación 30 m*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020). *Cartografía básica, vías escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

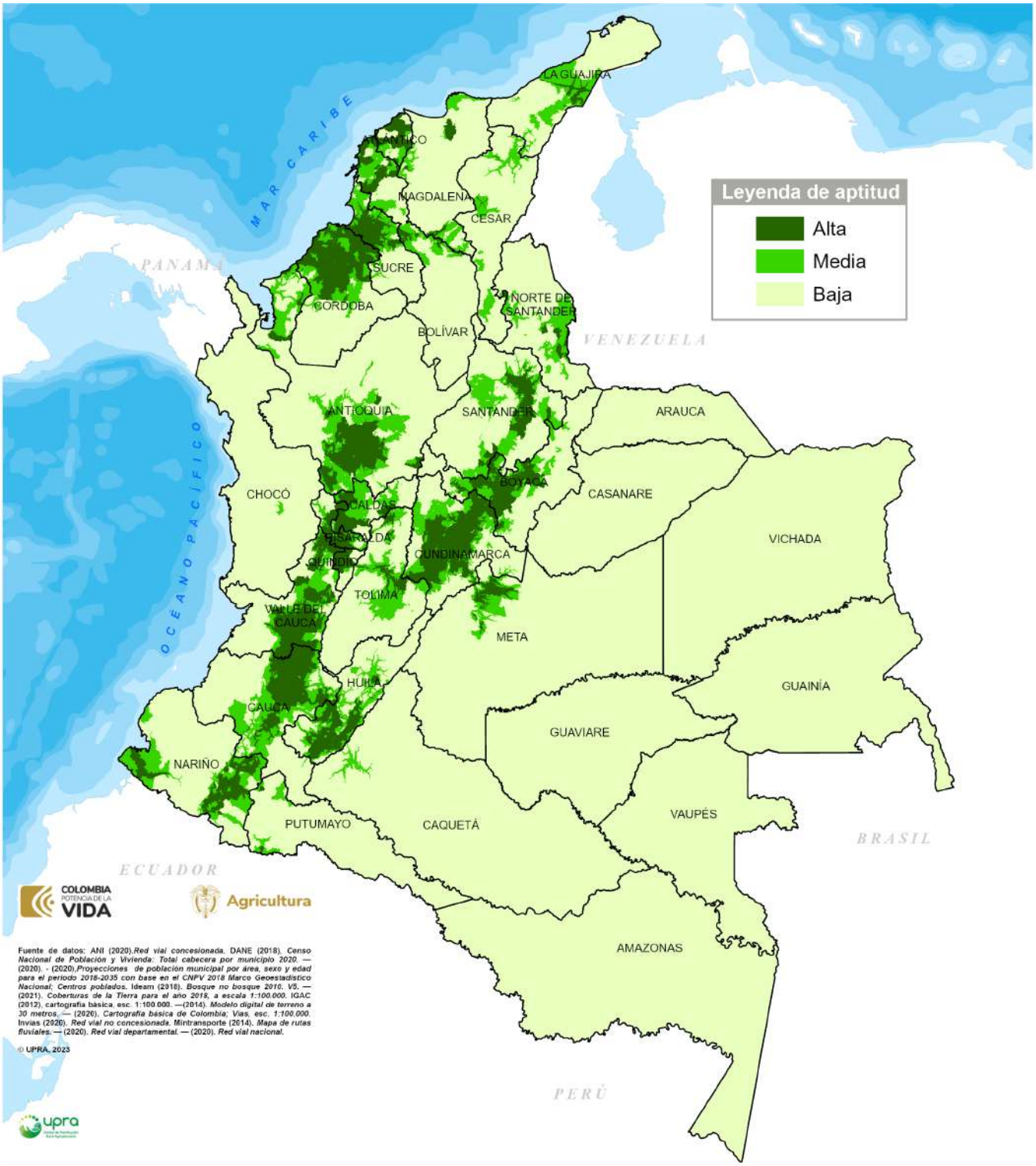
Instituto Nacional de Vías (2020). *Red vial no concesionada*. Bogotá, Colombia: Instituto Nacional de Vías (Invías).

Ministerio de Educación Nacional (2021). *SNIES: Sistema Nacional de Información de la Educación Superior*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Educación Nacional (Mineducación). Recuperado de https://snies.mineducacion.gov.co/portal/

Ministerio de Transporte (2014). *Mapa de tramos fluviales navegables*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Ministerio de Transporte (2020). *Red vial departamental y nacional*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Representación cartográfica del criterio



Criterio *disponibilidad de mano de obra*

3.4.1. Variable *densidad de la población rural en edad de trabajar*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: social		
Criterio asociado: *disponibilidad de mano de obra*		
Variable: *densidad de la población rural en edad de trabajar*	Unidad de medida: número de habitantes rurales en edad de trabajar por km^2	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Número de personas rurales en edad de trabajar por kilómetro cuadrado comparado con las necesidades técnicas de la producción del maíz tradicional. El rango etario 20-64 responde a la disponibilidad de información por lustros de edades, lo cual busca medir los habitantes que se consideran en capacidad de trabajar según las series de población proyectadas por el DANE (2020). Este valor es contrastado con las dimensiones físicas del municipio para aproximarse a la densidad poblacional rural en fase productiva de los municipios.

Importancia de la variable

Se establece 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 estima 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 de esta variable, lo que permite a los productores y agentes económicos mejores opciones en la disponibilidad de mano de obra (oferta laboral) que podría ser aprovechada para el desarrollo de las actividades agrícolas.

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 de esta variable, lo que reducirá la posibilidad de que los agentes económicos accedan a la mano de obra necesaria para sus iniciativas productivas. Esto permite 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 agrícola.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

En 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 en el sentido de que, dada la disponibilidad de información, no existe forma técnica de considerar la población dedicada al tiempo completo a su educación o al trabajo del hogar, o que presentaran condiciones especiales de discapacidad que limitara su capacidad productiva. Así mismo, no se contó con la posibilidad de distinguir a los individuos que no ofrecían su fuerza laboral por vivir de rentas o pertenecer a un régimen pensional que, aún en su fase de vida productiva, les permitiera recibir ingresos sin ofrecer su mano de obra. Más limitante resultó aún, en el caso de la explotación de maíz tradicional, no poder establecer el nivel de interés real de los individuos de vincularse a este sistema productivo como alternativa productiva de vida.

Ahora bien: la distinción urbana y rural de la población por su residencia no excluyó la posibilidad de que ofreciera 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. Finalmente, las áreas territoriales utilizadas para la estimación de la densidad espacial fueron muy sensibles a la existencia de territorios excluidos tanto de la frontera agrícola nacional como de otras limitaciones y condicionantes físicas y legales. Por consiguiente, aunque se supone una distribución homogénea de la población rural en edad de trabajar dentro del territorio municipal, en la mayoría de los casos este supuesto no se cumplió.

Metodología de procesamiento de la información

Precisiones de la información

La fuente para la estimación de la población en edad de trabajar ($PET_{10\text{-}62}$) rural fueron las proyecciones de población municipal por área, sexo y edad con base en el *Censo nacional de población y vivienda 2018* (DANE). La información se procesó considerando hombres y mujeres entre los 10 y los 62 años, habitantes de centros poblados y áreas rurales dispersas, que se sumaron 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 encontró 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 el resultado fue que más del 5 % correspondió 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 determinado por el requerimiento de mano de obra por hectárea para la producción de maíz tradicional. De acuerdo con esto, se evaluó la información que presenta el marco de referencia agroeconómico del Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario (Finagro) para el maíz amarillo tradicional 2018, en el que se estima un costo de mano de obra por hectárea de $1.452.000, con un valor de jornal de $35.000, lo que indica un total de 41,48 jornales por hectárea. Considerando un ciclo productivo de 150 días, la relación de jornales día por hectárea sería de 0,2765, lo cual implica un requerimiento de mano de obra de 27,66 personas por kilómetro cuadrado. Sin embargo, se consideró más ajustada la estimación de Fenalce sobre el número de jornales por hectárea para maíz amarillo tradicional, en la que se promediaron los requerimientos de mano de obra por hectárea de 11 zonas productoras de país. El resultado fue de 37,18 jornales en el ciclo productivo de 150 días, lo que establece un requerimiento de 0,2478 jornales día por hectárea.

La información anterior se pasó a la escala de kilómetros cuadrados, con lo que se estimó que la producción de maíz tradicional demanda 24,78 personas por kilómetro cuadrado. Este punto de corte es el que definió los municipios con aptitud alta (A1), sobre los cuales se espera las mejores condiciones de oferta de mano de obra rural. Para la estimación de los rangos con aptitud media (A2) y baja (A3), se utilizó la metodología de agrupamientos de las variables socioeconómicas, que, en este caso, indican la necesidad de utilizar el método *k*-medias.

El algoritmo *k*-medias, como otros métodos de agrupamiento, parten 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: *aptitud alta* (A1), para los municipios con más de 24,8 habitantes rurales en edad de trabajar por kilómetro cuadrado; *aptitud media* (A2), para los municipios cuyos habitantes rurales en edad de trabajar por kilómetro cuadrado oscilaban entre 11,9 y 24,8; *aptitud baja* (A3), para los municipios con menos de 11,9 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 fueron los siguientes:

Número de habitantes rurales en edad de trabajar/km^2	Aptitud
>24,8	Alta (A1)
11,9-24,8	Media (A2)
<11,9	Baja (A3)

Unidad de análisis

Número de habitantes rurales en edad de trabajar por kilómetro cuadrado.

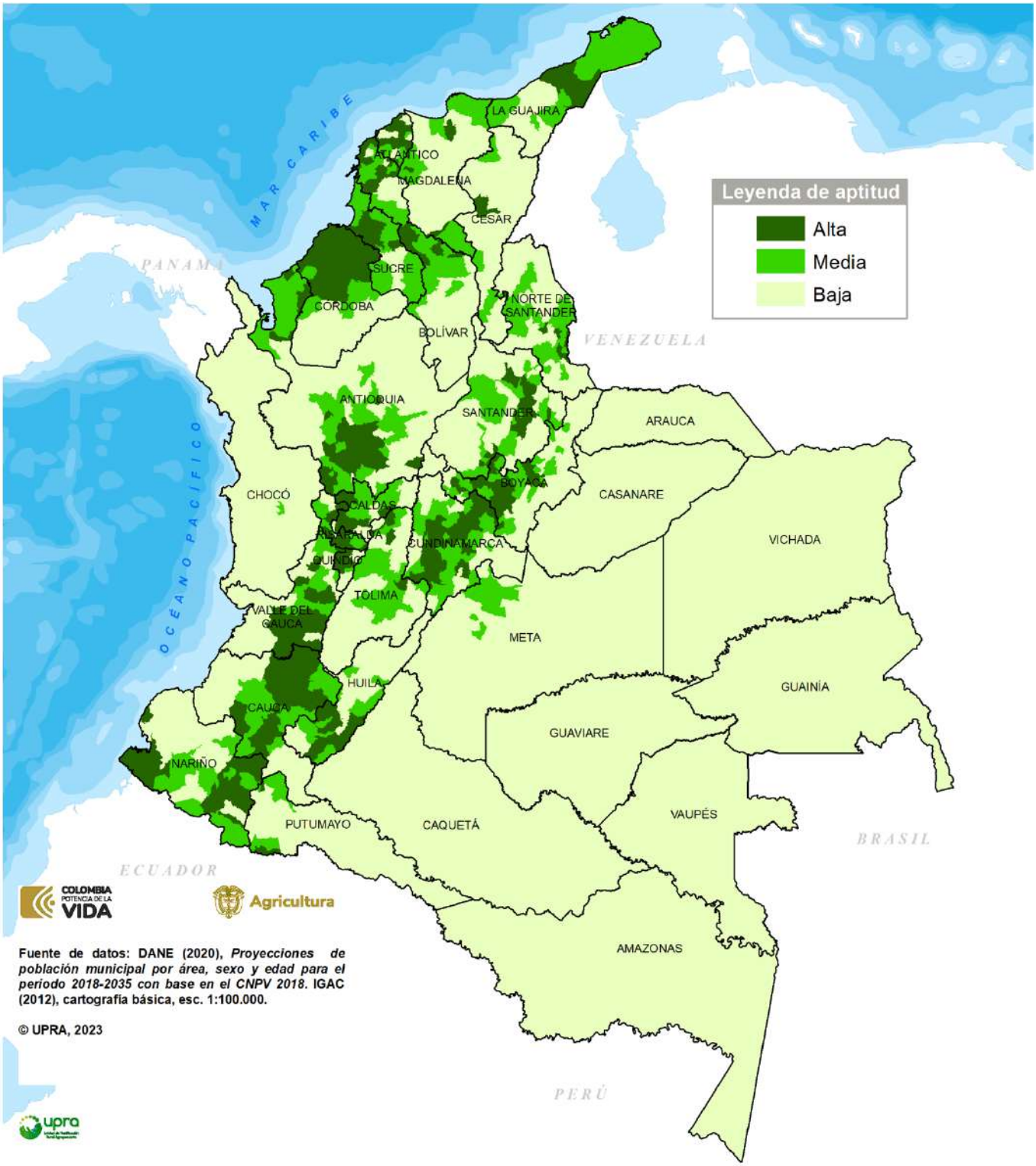
Fuentes de información

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020a). *Proyecciones de población municipal por área, sexo y edad con base en el «Censo nacional de población y vivienda 2018»*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Departamento Nacional de Planeación (2020). *Sistema de Estadísticas Territoriales TerriData*. Bogotá, Colombia: Departamento Nacional de Planeación (DNP). Recuperado de https://terridata.dnp.gov.co/#/

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Representación cartográfica de la variable



Criterio *disponibilidad de mano de obra*

Variable *densidad de la población rural en edad de trabajar*

3.4.2. Variable *oferta educativa técnica y tecnológica*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización	
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

Nivel de cobertura espacial y facilidad de acceso a los programas de educación superior a nivel técnico o tecnológico oficialmente aprobados, activos y relacionados con la producción agrícola, que facilitan la capacitación de la población y mejoran la competitividad sectorial del territorio.

Importancia de la variable

Permite a la población acceder a programas de formación técnica y tecnológica para elevar su competencia y su productividad laboral. La educación es uno de los factores más influyentes en el desarrollo de los individuos y sociedades, particularmente, la capacitación y la formación para el trabajo a nivel técnico y tecnológico, pues, como una de sus expresiones, brinda la posibilidad de actualizar competencias en el manejo de la información y en los procesos de innovación propios de las labores agrícolas. Esta dimensión tiene especial importancia en la zonificación de aptitud, dado que eleva las condiciones y capacidades de la población rural trabajadora y brinda la posibilidad a los futuros inversionistas de disponer de talento humano, con destrezas o conocimientos técnicos y tecnológicos que pueden incrementar la productividad y mejorar la competitividad de la producción de maíz tradicional.

Para la variable *oferta educativa técnica y tecnológica*, se estimaron las coberturas de los programas reportados en el SNIES, así que se consideró no sólo la sede principal donde se oferta el programa, sino también los centros de tutoría, los Centros Regionales de Educación Superior (CERES), los convenios en red y los programas de extensión que amplían los registros de la oferta educativa en las zonas rurales. Así, la competitividad de los territorios fue proporcional a la cobertura y acceso a la oferta educativa técnica y tecnológica en áreas relacionadas tanto con la actividad agrícola como con la producción de maíz. Los territorios con mayor posibilidad de acceso presencial a programas de formación académica son más aptos por poseer mayor potencial de cualificación de mano de obra en la producción agrícola, 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

En 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, así como del número y tamaño de los programas, de la atención de los estudiantes y de la calidad, prestigio y nivel de formación impartidos a sus estudiantes. Esto hace que no necesariamente los estudiantes acudan a los programas de educación superior que se encuentran más cerca, sino que responden a otras lógicas e intereses. Estas dimensiones no se miden con esta variable, dada la disponibilidad de información actual.

Metodología de procesamiento de la información

Precisiones de la información

Programas académicos ofertados relacionados con la producción agrícola por municipio, reportados en el Sistema Nacional de Información de la Educación Superior (SNIES). De tal modo, se tuvo en cuenta la totalidad de programas relacionados con las áreas agrícolas con formación técnica y tecnológica, para lo cual se filtraron los programas activos para el año 2021. Los programas identificados fueron los siguientes:

- Técnica Profesional en Agropecuaria.
- Técnica Profesional en Producción Agroecológica de Cultivos.
- Técnica Profesional en Producción Agropecuaria.
- Técnica Profesional en Producción Agrícola.
- Tecnología Agropecuaria.
- Tecnología en Administración Agropecuaria.
- Tecnología en Administración y Mercadeo Agropecuario.
- Tecnología en Gestión Agropecuaria.
- Tecnología en Gestión de Empresas Agropecuarias.
- Tecnología en Gestión de Insumos Agropecuarios.
- Tecnología en Gestión de la Producción Agrícola.
- Tecnología en Gestión de Proyectos Agroecológicos.
- Tecnología en Producción Agrícola.
- Tecnología en Producción Agroecológica.
- Tecnología en Producción Agropecuaria.
- Tecnología en Producción Agropecuaria Ecológica.
- Tecnología en Producción de Agrocultivos.
- Tecnología en Producción y Gestión Agropecuaria.

Así pues, 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 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 estimadas por el modelo 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 la 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 técnica o tecnológica vinculados a la actividad productiva agrícola, sobre los cuales se construyen 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: *aptitud alta* (A1), para los desplazamientos que toman menos de una hora; *aptitud media* (A2), para los desplazamientos que toman entre una y dos horas; *aptitud baja* (A3), para los desplazamientos que toman más de dos horas.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

Los rangos para la especialización de la variable se clasificaron de acuerdo con las categorías de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3), así:

Tiempo de desplazamiento (horas)	Aptitud
<1	Alta (A1)
1-2	Media (A2)
>2	Baja (A3)

Unidad de análisis

Tiempo de desplazamiento (horas).

Fuentes de información

Agencia Nacional de Infraestructura (2020). *Red vial concesionaria*. Bogotá, Colombia: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020). *Marco geoestadístico nacional: centros poblados*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Departamento Nacional de Planeación (2020). *Sistema de Estadísticas Territoriales TerriData*. Bogotá, Colombia: Departamento Nacional de Planeación (DNP). Recuperado de https://terridata.dnp.gov.co/#/

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2018). *Bosque no bosque 2010*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2021). *Cobertura de la tierra a 2018*. Bogotá, Colombia: 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).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Modelo digital de elevación 30 m*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020). *Cartografía básica, vías escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

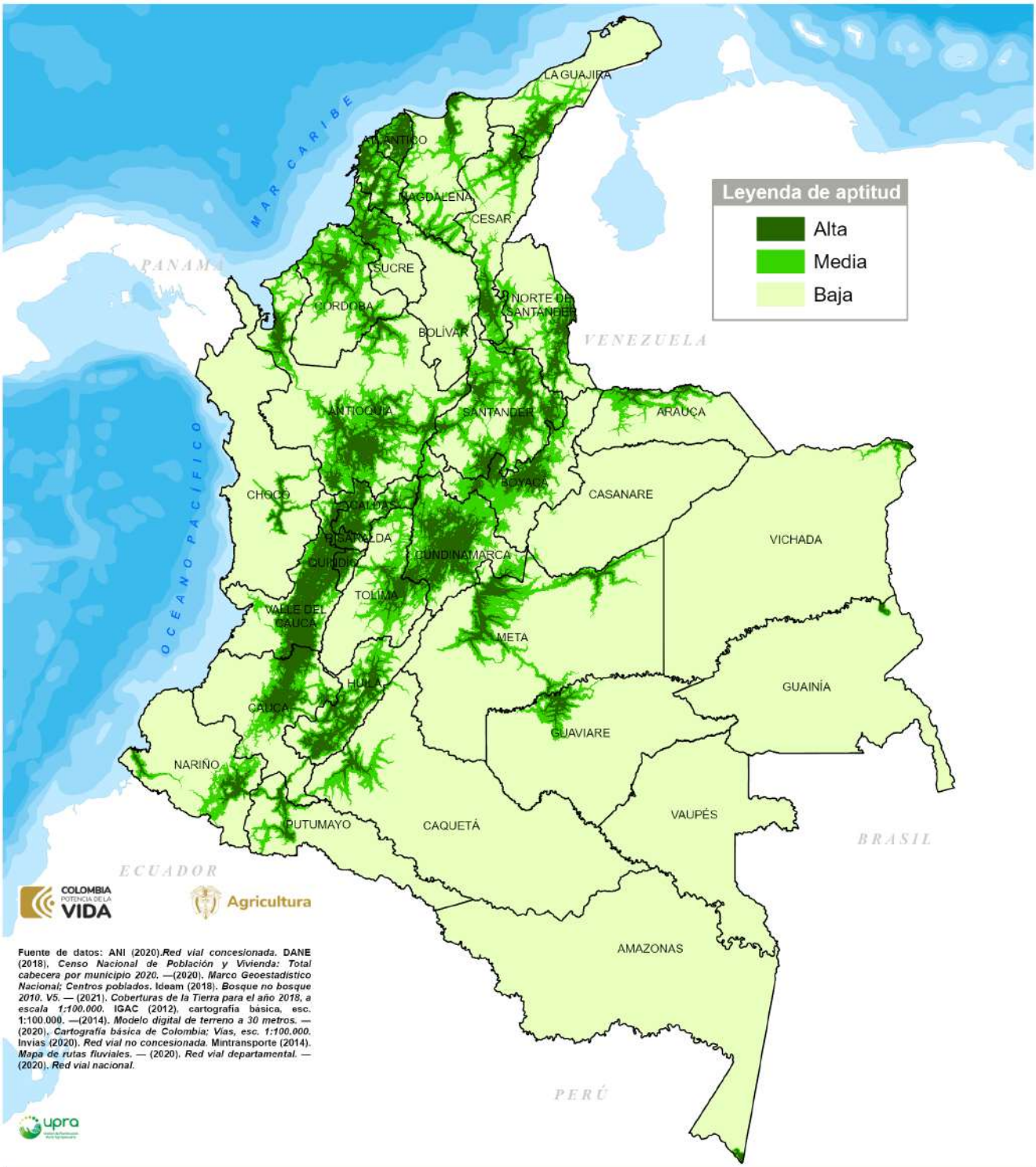
Instituto Nacional de Vías (2020). *Red vial no concesionada*. Bogotá, Colombia: Instituto Nacional de Vías (Invías).

Ministerio de Educación Nacional (2021). *SNIES: Sistema Nacional de Información de la Educación Superior*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Educación Nacional (Mineducación). Recuperado de https://snies.mineducacion.gov.co/portal/

Ministerio de Transporte (2014). *Mapa de tramos fluviales navegables*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Ministerio de Transporte (2020). *Red vial departamental y nacional*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Representación cartográfica de la variable



Fuente de datos: ANI (2020).*Red vial concesionada*. DANE (2018), *Censo Nacional de Población y Vivienda: Total cabecera por municipio 2020*. —(2020). *Marco Geoestadístico Nacional; Centros poblados*. Ideam (2018). *Bosque no bosque 2010. V5*. — (2021). *Coberturas de la Tierra para el año 2018, a escala 1:100.000*. IGAC (2012). cartografía básica, esc. 1:100.000. —(2014). *Modelo digital de terreno a 30 metros*. — (2020). *Cartografía básica de Colombia; Vías, esc. 1:100.000*. Invías (2020). *Red vial no concesionada*. Mintransporte (2014). *Mapa de rutas fluviales*. — (2020). *Red vial departamental*. — (2020). *Red vial nacional*.

Criterio *disponibilidad de mano de obra*

Variable *oferta educativa técnica y tecnológica*

3.4.3. Variable *oferta educativa universitaria*

Ficha metodológica de la variable			
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización		
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

Nivel de cobertura espacial y facilidad de acceso a los programas de educación superior a nivel universitario oficialmente aprobados, activos y relacionados con la producción agrícola, como Agroecología, Agronomía, Ingeniería Agroecológica, Ingeniería Agrícola e Ingeniería en Agroecología, que facilitan la formación de la población y mejoran la competitividad sectorial del territorio.

Importancia de la variable

Permite a la población acceder a programas de formación universitaria para elevar sus competencias y la productividad del sector. El proceso de educación es uno de los factores más influyentes en el desarrollo tanto de los individuos como de las sociedades. La formación académica universitaria se enfoca no sólo en la construcción de procesos, sino también en la sistematización de las experiencias, además de poner énfasis en aspectos teóricos y de investigación.

Esta dimensión representa especial importancia en la zonificación de aptitud, dado que eleva las condiciones y capacidades de la población rural trabajadora y brinda la posibilidad a los futuros inversionistas de disponer del talento humano, con destrezas y conocimientos para la dirección de equipos de trabajo y resolución de problemas que pueden incrementar la productividad y mejorar la competitividad de la producción del maíz tradicional. Para el caso de la variable *oferta educativa universitaria*, se consideraron los tipos de cobertura de los programas reportados en el SNIES, de forma que abarcó no sólo la sede principal donde se oferta el programa, sino también otros tipos de cobertura, como los centros de tutoría, los Centros Regionales de Educación Superior (CERES), los convenios en red y los programas de extensión, los cuales amplían los registros de la oferta educativa, especialmente, en las zonas rurales.

Por lo tanto, la competitividad de los territorios es proporcional a la cobertura y a la facilidad de acceso a la oferta educativa a nivel universitario en los programas de Agroecología, Agronomía, Ingeniería Agroecológica, Ingeniería Agrícola e Ingeniería en Agroecología. 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 en la 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. Así mismo, depende del número de programas, del tamaño, de la capacidad de atención de los estudiantes y, sobre todo, de la calidad, el prestigio y el nivel de formación impartidos a sus estudiantes. Esto hace que no necesariamente los estudiantes deban acudir a los programas de educación superior que se encuentran más cerca, sino que responden a otras lógicas e intereses. Estas últimas dimensiones no están siendo medidas con esta variable, dada la disponibilidad de información actual.

Metodología de procesamiento de la información

Información

Lugar de oferta de programas universitarios relacionados con la producción agrícola, activos y sus coberturas por Centros de tutoría, Centros Regionales de Educación Superior (CERES), convenios, convenios en red y programas de extensión (SNIES, 2021).

Precisión de la información

Programas académicos ofertados a nivel universitario y relacionados con la producción agrícola por municipio, reportados en el SNIES. Se tuvieron en cuenta los programas universitarios de Agroecología, Agronomía, Ingeniería Agroecológica, Ingeniería Agrícola e Ingeniería en Agroecología, para lo cual se filtraron los programas activos para el año 2021. Del mismo modo, se consideraron 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 los centros de tutoría, los Centros Regionales de Educación Superior (CERES), los convenios en red y los programas de extensión. Por último, se construyó una base de datos en la que se identificaron los municipios donde al menos existía un programa activo y, partiendo del, casco urbano, se las estimaron isócronas según rangos de distancia para definir los niveles de aptitud.

La metodología de isócronas empleada por la UPRA es una herramienta 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 estimadas por el modelo 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 permitió obtener información sobre la totalidad del territorio nacional y sus municipios en los que se determinó la existencia o no de programas activos con un registro formal de formación universitaria vinculados a la actividad productiva agrícola, sobre los cuales se construyeron las isócronas.

Clasificación de los municipios 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 *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 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).

Fuentes de información

Agencia Nacional de Infraestructura (2020). *Red vial concesionaria*. Bogotá, Colombia: Agencia Nacional de Infraestructura (ANI).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020). *Marco geoestadístico nacional: centros poblados*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Departamento Nacional de Planeación (2020). *Sistema de Estadísticas Territoriales TerriData*. Bogotá, Colombia: Departamento Nacional de Planeación (DNP). Recuperado de https://terridata.dnp.gov.co/#/

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2018). *Bosque no bosque 2010*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2021). *Cobertura de la tierra a 2018*. Bogotá, Colombia: 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).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2014). *Modelo digital de elevación 30 m*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2020). *Cartografía básica, vías escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

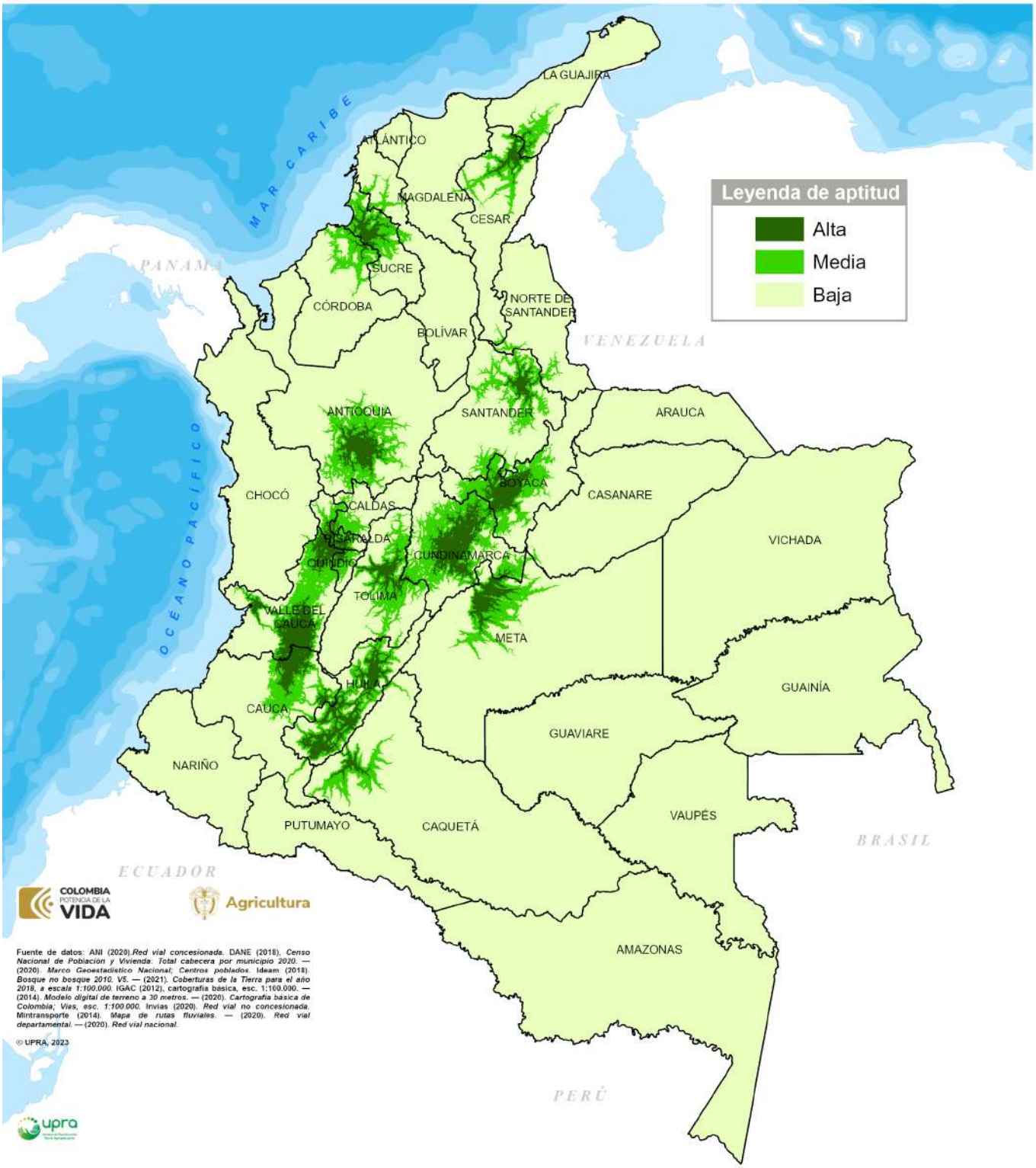
Instituto Nacional de Vías (2020). *Red vial no concesionada*. Bogotá, Colombia: Instituto Nacional de Vías (Invías).

Ministerio de Educación Nacional (2021). *SNIES: Sistema Nacional de Información de la Educación Superior*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Educación Nacional (Mineducación). Recuperado de https://snies.mineducacion.gov.co/portal/

Ministerio de Transporte (2014). *Mapa de tramos fluviales navegables*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Ministerio de Transporte (2020). *Red vial departamental y nacional*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte (Mintransporte).

Representación cartográfica de la variable



Criterio *disponibilidad de mano de obra*
Variable *oferta educativa universitaria*

3.5. Criterio *condiciones de vida*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
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, expresado en porcentaje de hogares con privaciones.

Condiciones de la niñez y la juventud, expresadas en porcentaje de hogares con privaciones.

Condiciones de vivienda y acceso a los servicios públicos, expresadas en porcentaje de hogares con privaciones.

Condiciones educativas del hogar, expresadas en porcentaje de hogares con privaciones.

Definición

Mide el grado de privación de los hogares rurales en un conjunto de variables medidas a partir de indicadores a nivel municipal que permiten determinar la naturaleza, intensidad y profundidad de la privación. Esta aproximación permite observar patrones de privaciones distintos a los medidos por la pobreza monetaria, pues se enfoca en los hogares rurales.

Importancia del criterio

Muestra no sólo las capacidades de la población para integrarse a un proceso productivo, sino también 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, por lo que requieren una menor inversión social para potenciar sus capacidades productivas y para acceder a certificaciones que les otorguen mayor competitividad. La calidad de vida de la población rural influye poderosamente en el desarrollo de sus capacidades y en la posibilidad de integrarse a un proceso productivo.

Los municipios con menos hogares en situación de privación en cada dimensión analizada tienen poblaciones más aptas para participar en las dinámicas productivas, por lo que requieren una menor inversión social para potenciar las capacidades. La cantidad de hogares en situación de privación multidimensional es inversa a la aptitud del municipio. Los municipios con mayores niveles de hogares en situación de privación multidimensional, como 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 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 censal al año 2018. Esta estimación utilizó fuentes instrumentales para 2 de los 15 indicadores empleados. En el indicador *empleo informal*, se usó la información del registro de la Planilla Integrada de Liquidación de Aportes (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 usaron los registros administrativos de la base unida de afiliados y la declaración de exportación (DEX) para entidades del régimen de excepción y especial.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado

En el análisis de la variable, no se presentó ningún límite que calificara una zona como no apta (N1).

Metodología de procesamiento de la información

Información

Se utilizó la información del DANE en los anexos de la *Medida de pobreza multidimensional municipal con información censal*, que medir la pobreza municipal mediante un índice evolucionado y complementario a las necesidades básicas insatisfechas (NBI). El insumo se aproximó al estado de la pobreza municipal y sus múltiples dimensiones comparando los municipios. La principal virtud de esta información en el contexto de la zonificación fue su construcción a partir del *Censo nacional de población y vivienda 2018*, por lo que fue posible llevar a cabo desagregaciones geográficas de cabeceras, centros poblados y rural disperso.

Precisiones de la información

Colombia tiene dos medidas oficiales de pobreza que son complementarias: *la pobreza monetaria* y *la pobreza multidimensional*. La metodología para la estimación de cada una se encuentra oficializada en el CONPES 150 del 28 de mayo de 2012, en donde se determinó que la publicación se debe realizar de manera anual según la disponibilidad de las encuestas utilizadas en la estimación, denominadas *Gran encuesta integrada de hogares* (GEIH), para la pobreza monetaria, y *Encuesta de calidad de vida* (ECV), para la pobreza multidimensional. Sin embargo, estas encuestas sólo permitieron llegar a niveles de desagregación geográfica departamental (pobreza multidimensional), 23 ciudades capitales y 23 departamentos (pobreza monetaria). Con la información del CNPV 2018, fue posible establecer desagregaciones geográficas de cabeceras, centros poblados y rural disperso dentro de cada municipio.

La metodología aplicada por el DANE fue una aproximación a la construcción del índice de pobreza multidimensional oficial para Colombia, que sigue la metodología de Alkire y Foster, desarrollada por la Oxford Poverty and Human Development Iniciative. En ese sentido, la medida de pobreza multidimensional con fuente censal no fue comparable ni sustituyó 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. Los 15 indicadores usados 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 la 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 en cada variable que pertenece 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 de la niñez y la juventud*	*Condiciones de vivienda y acceso a servicios públicos*	*Condiciones educativas del hogar*
Condiciones de vida	*Trabajo*	1				
	Salud	1/3	1			
	Condiciones de la niñez y la juventud	1/3	1/3	1		
	Condiciones de vivienda y acceso a servicios públicos	1/5	1/3	1/3	1	
	Condiciones educativas del hogar	1/7	1/5	1/3	1/3	1

La escala de importancia dentro del proceso AHP tuvo en la valoración entre pares de variables como se muestra 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			

Haciendo 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 de las categorías de aptitud, para cada una de las cuales se asignó el valor de alta (A1), media (A2) y baja (A3), como se puede observar en la tabla de abajo:

Criterio	Variable	Ponderación (%)
Condiciones de vida	*Trabajo*	46,5
	Salud	25,4
	Condiciones de la niñez y la juventud	14,8
	Condiciones de vivienda y acceso a servicios púbicos	8,6
	Condiciones educativas del hogar	4,7
Total de la ponderación		**100,0**

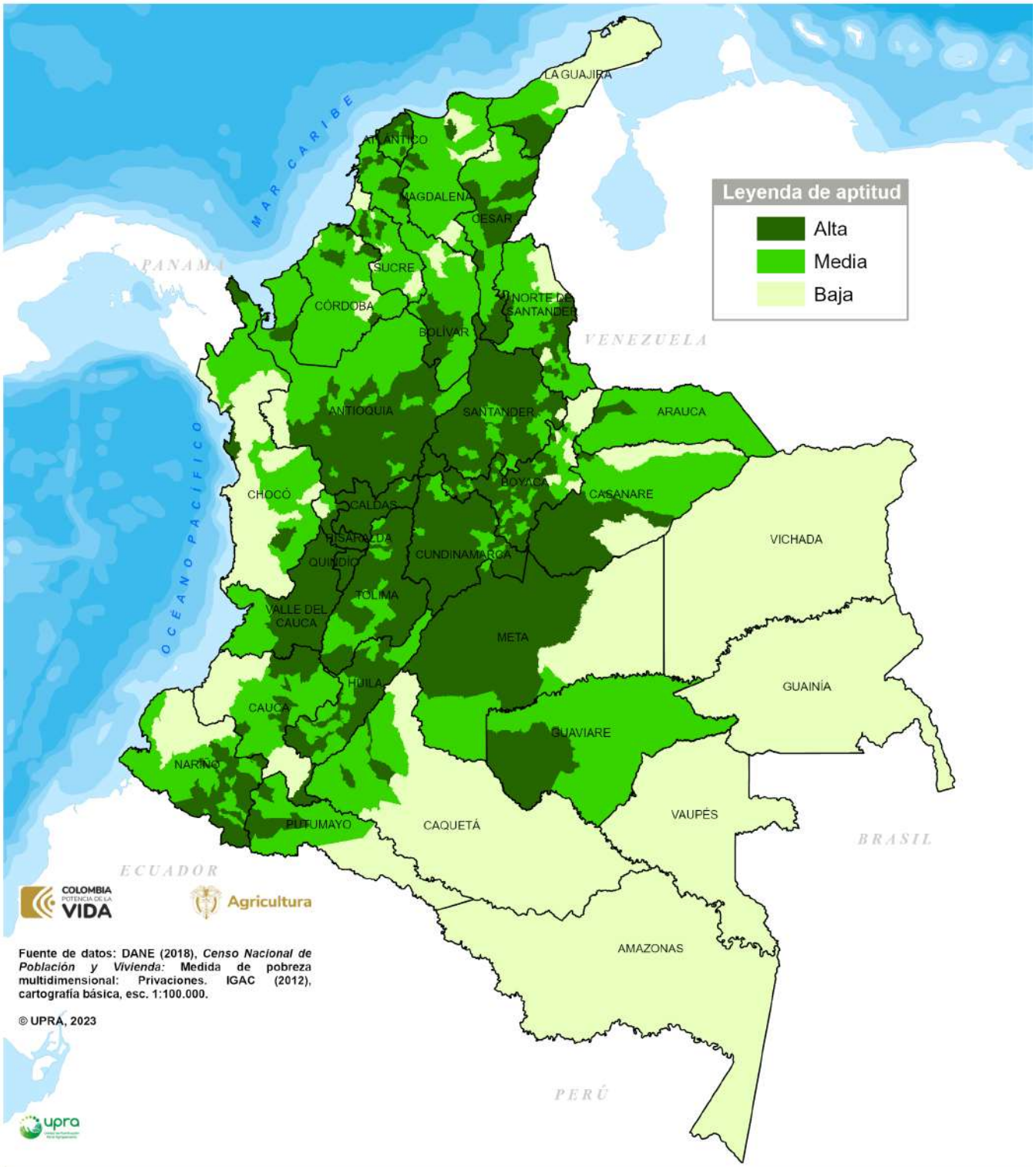
Fuentes de información

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020a). *Boletín técnico: medida de pobreza multidimensional municipal CNPV 2018*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Recuperado de https://n9.cl/3u6j

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020b). *Medida de pobreza multidimensional municipal de fuente censal 2018*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Recuperado de https://n9.cl/a90ts

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Representación cartográfica del criterio



Criterio *condiciones de vida*

3.5.1. Variable *trabajo*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: social		
Criterio asociado: *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

Corresponde al promedio de los porcentajes de hogares de los centros poblados y rurales dispersos de municipios con privaciones combinadas en los indicadores *empleo informal* y *tasa de dependencia económica*. El indicador *empleo informal* considera *privado* un hogar cuando al menos una persona económicamente activa está ocupada y no cotiza en el fondo de pensiones; mientras que el indicador *tasa de dependencia económica* considera *privado* un hogar cuando el número de personas por miembro ocupado es igual o mayor a 3.

Importancia de la variable

Permite identificar los territorios rurales cuya incidencia de privaciones en aspectos relacionados con el trabajo de los hogares es menos generalizada y se espera que la población tenga una mayor posibilidad de desarrollo de sus capacidades humanas que le permitan 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 sus capacidades. Con ello se incrementa la probabilidad de acceder a certificaciones de buenas prácticas por parte de los productores, lo que incrementa su competitividad. Por su parte, los municipios con mayores niveles de porcentaje de hogares en situación de privación relacionadas con el trabajo condicionan una menor competitividad de los procesos productivos desarrollados en sus territorios.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

En 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, pero no a nivel de personas, lo cual limitó el análisis tanto en términos individuales como en número total de privaciones en el territorio.

Metodología de procesamiento de la información

Información

Se utilizó la información entregada por el DANE en los anexos de la *Medida de pobreza multidimensional municipal con información censal*, la cual se construyó usando la información del Censo nacional de población y vivienda 2018, por lo que fue posible realizar desagregaciones geográficas de cabeceras, centros poblados y rural disperso. Se tomaron los indicadores *empleo informal* y *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 tenían un alto nivel de privación por empleo informal correspondieron a municipios con altos niveles de privación por tasa de dependencia.

Precisiones de la información

Colombia tiene dos medidas oficiales de pobreza que son complementarias: *la pobreza monetaria* y *la pobreza multidimensional*. La metodología para la estimación de cada una de estas medidas se encontró oficializada en el CONPES 150 de 28 de mayo de 2012, en donde se determinó que la publicación se debe realizar de manera anual según la disponibilidad de las encuestas estimadas, a saber: 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 permitieron 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 llevar a cabo desagregaciones geográficas de cabeceras, centros poblados y rural disperso dentro de cada municipio. La metodología usada por el DANE fue una aproximación a la construcción del índice de pobreza multidimensional oficial para Colombia, que sigue la metodología de Alkire y Foster, desarrollada por la Oxford Poverty and Human Development Iniciative. En ese sentido, la medida de pobreza multidimensional con fuente censal no fue comparable ni sustituyó el índice oficial de pobreza multidimensional oficial del DANE. En los ejercicios de zonificación no se usó la información sobre pobreza, sino sobre los indicadores de privación a nivel municipal.

Análisis de consistencia y preparación de la información.

La información se presentó de manera consistente, puesto que estuvo expresada en valores que oscilaron entre 61,4 y 100 %, para *empleo* informal, y entre 13,3 y 97,7 %, *para tasa de dependencia*, 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 *k*-medias. El resultado fue el método multivariado *k*-medias.

Clasificación por aptitud

El algoritmo *k*-medias, como otros métodos de agrupamiento, parten 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, en este caso, las privaciones que se relacionan inversamente 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 tres 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; por criterios internos, los generados a partir de los propios datos como la suma de los cuadrados de las distancias al interior y entre clústeres (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, como se muestra a continuación:

Trabajo informal	Tasa de dependencia	Aptitud
85,3	30,3	Alta (A1)
92,6	45,3	Media (A2)
94,7	69,1	Baja (A3)

Unidad de análisis

Porcentaje de hogares con privaciones (%).

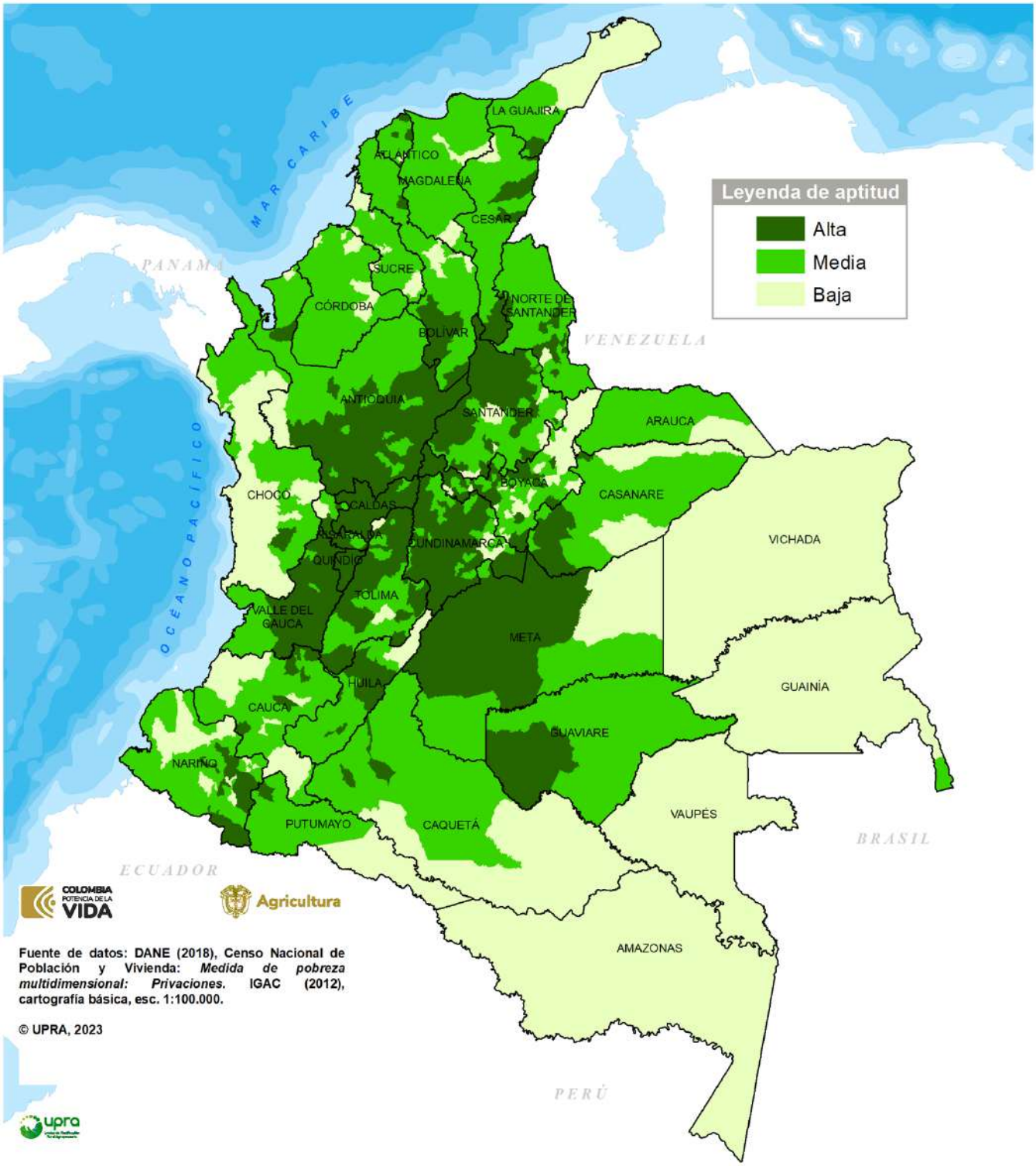
Fuentes de información

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020a). *Boletín técnico: medida de pobreza multidimensional municipal CNPV 2018*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Recuperado de https://n9.cl/3u6j

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020b). *Medida de pobreza multidimensional municipal de fuente censal 2018*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Recuperado de https://n9.cl/a90ts

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Representación cartográfica de la variable



Criterio *condiciones de vida*
Variable *trabajo*

3.5.2. Variable *salud*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradcicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: social		
Criterio asociado: *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

Corresponde al promedio de los porcentajes de hogares de los centros poblados y rurales dispersos de municipios con privaciones combinadas en los indicadores *sin aseguramiento en salud* y *barreras de acceso a servicios de salud*. El indicador *sin aseguramiento* en salud considera *privado* un hogar cuando al menos uno de sus integrantes mayor de cinco años no cuenta con aseguramiento social en salud; mientras que el indicador *barreras de acceso a servicios de salud* considera *privado* a un hogar cuando al menos una persona que tuvo un problema de salud que no requiere hospitalización no accedió al servicio institucional de salud en los últimos 30 días.

Importancia de la variable

Permite identificar los territorios rurales cuya incidencia de privaciones en aspectos relacionados con la salud de los hogares es menos generalizada y por tanto se espera que la población tenga una mayor posibilidad de desarrollo de sus capacidades humanas para 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, por lo que requieren una menor inversión social para potenciar sus capacidades. Con ello, se incrementa la probabilidad de acceder a certificaciones de buenas prácticas por parte de los productores, lo que incrementa 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 sus territorios.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

En 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 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 entregada por el DANE en los anexos de la *Medida de pobreza multidimensional municipal con información censal*, la cual se construyó usando la información del *Censo nacional de población y vivienda 2018*, por lo que fue posible realizar desagregaciones geográficas de cabeceras, centros poblados y rural disperso. Se tomaron los indicadores *sin 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 tuvieron una alta privación en aseguramiento en salud correspondieron 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 que son complementarias: *la pobreza monetaria* y *la pobreza multidimensional*. La metodología para la estimación de 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 de manera anual según la disponibilidad de las encuestas estimadas, a saber: 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 permitieron 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 realizar la desagregación geográfica de cabeceras, centros poblados y rural disperso dentro de cada municipio.

La metodología usada por el DANE fue una aproximación a la construcción del índice de pobreza multidimensional oficial para Colombia, que sigue la metodología de Alkire y Foster, desarrollada por la Oxford Poverty and Human Development Iniciative. En ese sentido, la medida de pobreza multidimensional con fuente censal no fue comparable ni sustituyó 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 de manera consistente al estar expresada en valores que oscilaron entre 0,1 y 44,2 %, para *barreras de acceso a servicios de salud*, y 3,4 a 68,7 %, para *sin aseguramiento en salud*, 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_1 y Q_3. Dado que se presentó más del 5 % de datos atípicos, se decidió utilizar el método *k*-medias. El resultado fue el método multivariado *k*-medias.

Clasificación por aptitud

El algoritmo *k*-medias, como otros métodos de agrupamiento, parten 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, en este caso, las privaciones que se relacionan inversamente 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 tres 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; por criterios internos, los generados a partir de los propios datos como la suma de los cuadrados de las distancias al interior y entre clústeres (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, como se muestra en la siguiente tabla:

Barreras de acceso a servicios de salud	*Sin aseguramiento en salud*	*Aptitud*
3,3	12,7	Alta (A1)
13,5	13,4	Media (A2)
6,6	33,0	Baja (A3)

Unidad de análisis

Porcentaje de hogares con privaciones (%).

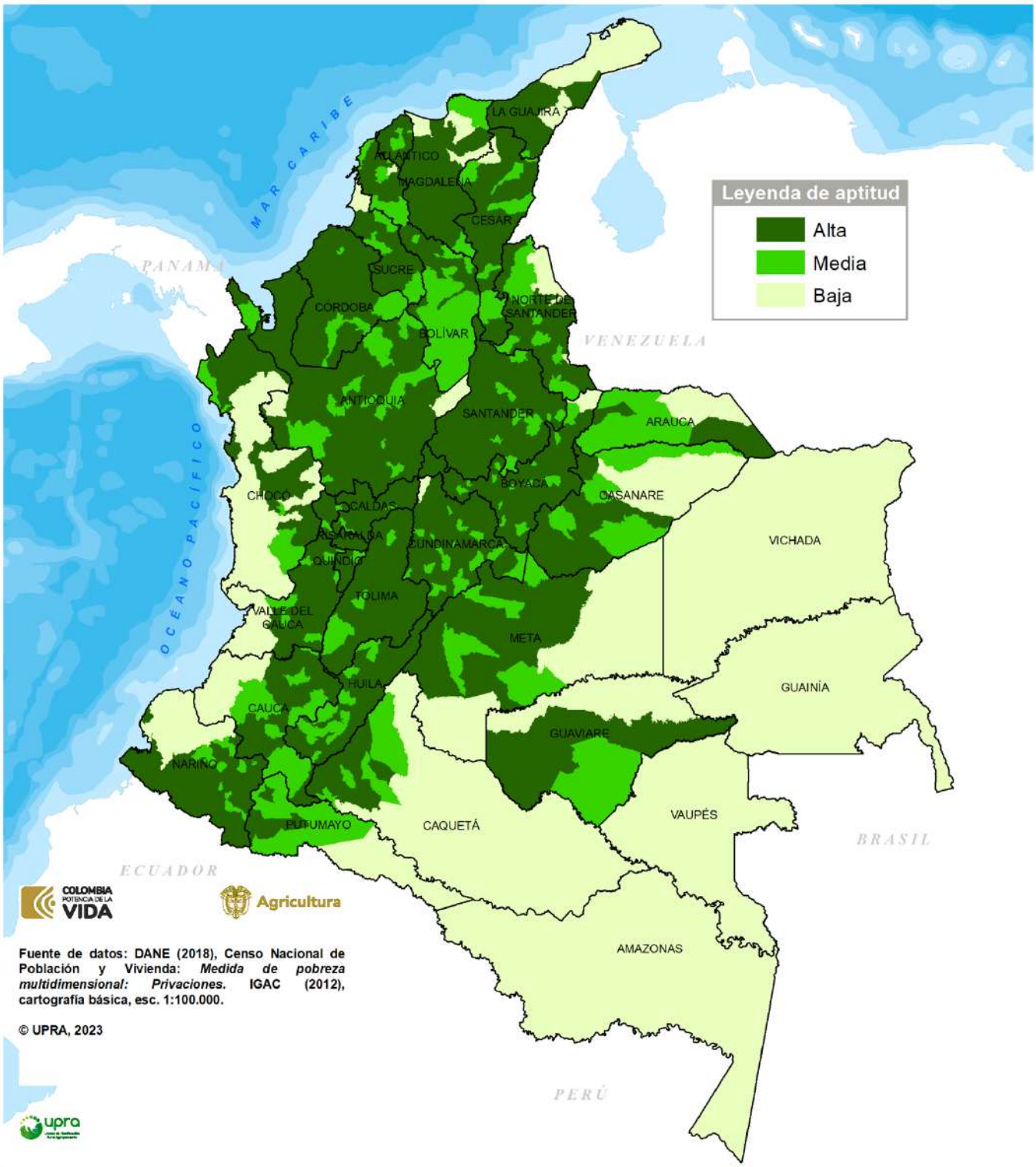
Fuentes de información

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020a). *Boletín técnico: medida de pobreza multidimensional municipal CNPV 2018*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Recuperado de https://n9.cl/3u6j

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020b). *Medida de pobreza multidimensional municipal de fuente censal 2018*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Recuperado de https://n9.cl/a90ts

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Representación cartográfica de la variable



Criterio *condiciones de vida*
Variable *salud*

3.5.3. Variable *condiciones de la niñez y la juventud*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: social		
Criterio asociado: *condiciones de vida*		
Variable: *condiciones de la niñez y la juventud*	Unidad de medida: porcentaje de hogares con privaciones (%)	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Corresponde al promedio de los porcentajes de hogares de los centros poblados y rurales dispersos de municipios con privaciones combinadas en los indicadores *inasistencia escolar*, *rezago escolar*, *barreras de acceso a servicios para el cuidado de la primera infancia* y *trabajo infantil*. El indicador *inasistencia escolar* considera *privado* un hogar cuando al menos un niño niña o adolescente entre 6 y 16 años no asiste al colegio. El indicador *rezago escolar* considera *privado* un hogar cuando al menos un niño, niña o adolescente entre 7 y 17 años tiene dos o tres años más que el promedio esperado para cursar un grado. El indicador *barreras de acceso a servicios para el cuidado de la primera infancia* considera *privado* un hogar cuando al menos un niño, niña o adolescente está sin acceso a servicios de salud o pasa la mayor parte del tiempo con su padre o madre en el trabajo, en casa solo o al cuidado de un pariente menor de 18 años. El indicador *trabajo infantil* considera un hogar *privado* cuando al menos un niño, niña o adolescente entre 12 y 17 años se encuentra ocupado.

Importancia de la variable

Permite identificar los territorios rurales cuya incidencia de privaciones en las condiciones de la niñez y la juventud de los hogares es menos generalizada y se espera de la población mayor posibilidad de desarrollo de sus capacidades para aportar al proceso productivo. Los municipios con menor porcentaje de hogares con privación en las condiciones de la niñez y la juventud, menores privaciones en inasistencia escolar y rezago escolar, barreras para el cuidado de la primera infancia y trabajo infantil, tienen poblaciones más aptas para participar en las dinámicas socioeconómicas, por lo que requieren menor inversión social para potenciar sus capacidades. Así, aumenta la probabilidad de que los productores accedan a certificaciones de buenas prácticas para incrementar la competitividad. Los municipios con mayores porcentajes de hogares en situación de privación en las condiciones de la niñez y la juventud condicionan 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 presentó límites que se calificaran como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

Los indicadores sobre privación en las condiciones de la niñez y la juventud se expresaron en porcentaje de hogares, pero 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 entregada por el DANE en los anexos de la *Medida de pobreza multidimensional municipal con información censal*, la cual se construyó usando la información del Censo nacional de población y vivienda 2018, por lo que fue posible realizar desagregaciones geográficas de cabeceras, centros poblados y rural disperso. Se tomaron los indicadores *inasistencia escolar* y *rezago escolar*, *barreras para el cuidado de la primera infancia* y *trabajo infantil* 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 tuvieron un alto nivel de privaciones por inasistencia escolar correspondieron a municipios con altos niveles de rezago escolar.

Precisiones de la información

Colombia tiene dos medidas oficiales de pobreza que son complementarias: *la pobreza monetaria* y *la pobreza multidimensional*. La metodología para la estimación de cada una de estas medidas se encontró oficializada en el CONPES 150 de 28 de mayo de 2012, en donde se determinó que la publicación se debe realizar de manera anual según la disponibilidad de las encuestas estimadas, a saber: 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 realizar desagregaciones geográficas de cabeceras, centros poblados y rural disperso dentro de cada municipio.

La metodología usada por el DANE fue una aproximación a la construcción del índice de pobreza multidimensional oficial para Colombia que sigue la metodología de Alkire y Foster, desarrollada por la Oxford Poverty and Human Development Iniciative. En este sentido, la medida de pobreza multidimensional con fuente censal no fue comparable ni sustituyó 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 0,3 y 34,6 %, para *barreras de acceso a servicios de cuidado para la primera infancia*; entre 0,1 y 12,7 % para *trabajo infantil*; entre 0,7 y 42,8 % para *inasistencia escolar*; y entre 4,9 y 62,1 % para *rezago escolar*, 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 *k*-medias. El resultado fue el método multivariado *k*-medias.

Clasificación por aptitud

El algoritmo *k*-medias, como otros métodos de agrupamiento, parten 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, en este caso, las privaciones que se relacionan inversamente 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 tres 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; por criterios internos, los generados a partir de los propios datos como la suma de los cuadrados de las distancias al interior y entre clústeres (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, como se muestra a continuación:

Barreras de acceso a servicios para el cuidado de la primera infancia	*Trabajo infantil*	*Inasistencia escolar*	*Rezago escolar*	Aptitud
1,7	1,7	4,2	15.7	Alta (A1)
3,3	3,2	8.0	26.3	Media (A2)
13,0	3,5	16,4	42,5	Baja (A3)

Unidad de análisis

Porcentaje de hogares con privaciones (%).

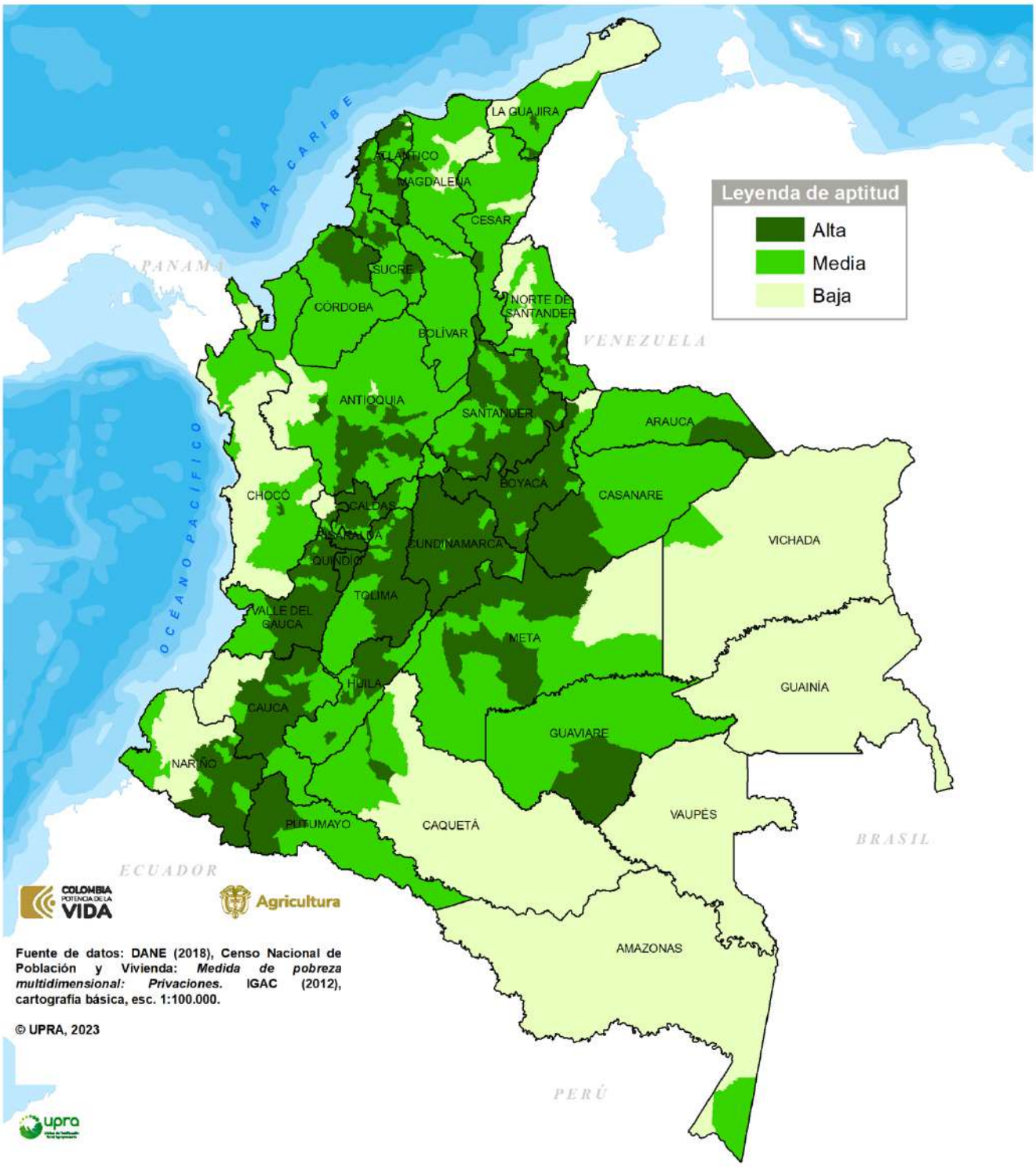
Fuentes de información

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020a). *Boletín técnico: medida de pobreza multidimensional municipal CNPV 2018*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Recuperado de https://n9.cl/3u6j

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020b). *Medida de pobreza multidimensional municipal de fuente censal 2018*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Recuperado de https://n9.cl/a90ts

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Representación cartográfica de la variable



Criterio *condiciones de vida*

Variable *condiciones de la niñez y la juventud*

3.5.4. Variable *condiciones de vivienda y acceso a los servicios públicos*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: social		
Criterio *asociado: condiciones de vida*		
Variable: *condiciones de vivienda y acceso a los servicios públicos*	Unidad de medida: porcentaje de hogares con privaciones (%)	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Corresponde al promedio de los porcentajes de hogares de los centros poblados y rurales dispersos de municipios con privaciones combinadas en los indicadores *hacinamiento crítico*; *inadecuado material en paredes exteriores*; *inadecuada eliminación de excretas*; *pisos inadecuados* y *sin acceso a fuentes de agua mejorada*. El indicador *hacinamiento crítico* considera *privado* un hogar cuando hay más de tres personas por cuarto en la vivienda. El indicador *inadecuado material en paredes exteriores* considera *privado* un hogar si el material es guadua, caña, otro vegetal, zinc, tela, cartón, desechos o no tiene paredes. El indicador *pisos inadecuados* considera *privado* un hogar que tiene pisos en tierra. El indicador *inadecuada eliminación de excretas* considera *privado* un hogar si tiene inodoro sin conexión, letrina, bajamar o no tiene servicio sanitario. El indicador *sin acceso a fuentes de agua mejorada* considera un hogar *privado* cuando obtiene el agua para preparar los alimentos de pozo sin bomba, agua lluvia, río, manantial, carro tanque, aguatero, agua embotellada o en bolsa.

Importancia de la variable

Permite identificar los territorios rurales cuya incidencia de privaciones en aspectos relacionados con la vivienda y el acceso a los servicios públicos domiciliarios de los hogares es menos generalizada y por tanto 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 sus condiciones de vivienda y acceso a servicios públicos domiciliarios, que reflejan mejores tasas de hacinamiento crítico; inadecuado material en paredes exteriores; inadecuada eliminación de excretas; y sin acceso a fuentes de agua mejorada, cuentan con poblaciones más aptas para participar en las dinámicas socioeconómicas por que requieren una menor inversión social para potenciar sus capacidades. Con ello, se incrementa la probabilidad de acceder a certificaciones de buenas prácticas por parte de los productores, lo que incrementa la competitividad. Por su parte, 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 sus territorios.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

En 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 sobre la privación en la vivienda y el acceso a servicios públicos domiciliarios se expresaron en porcentaje de hogares, pero 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 entregada por el DANE en los anexos de la *Medida de pobreza multidimensional municipal con información censal*, la cual se construyó usando la información del *Censo nacional de población y vivienda 2018*, por lo que fue posible realizar desagregaciones geográficas de cabeceras, centros poblados y rural disperso. Se tomaron los indicadores *hacinamiento crítico*; *inadecuado material en paredes exteriores*; *inadecuada eliminación de excretas*; *pisos inadecuados* 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 específico, puesto que no necesariamente los municipios que tuvieran un alto analfabetismo correspondieron a municipios con altos niveles de bajo logro educativo.

Precisiones de la información

Colombia tiene dos medidas oficiales de pobreza que son complementarias: *la pobreza monetaria* y *la pobreza multidimensional*. La metodología para la estimación de cada una de estas medidas se encontró oficializada en el CONPES 150 de 28 de mayo de 2012, en donde se determinó que la publicación se debe realizar de manera anual según la disponibilidad de las encuestas utilizadas en su estimación, 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 solo 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, es posible 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 la Oxford Poverty and Human Development Iniciative. En este sentido, la medida de pobreza multidimensional con fuente censal no fue comparable ni sustituyó 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 de manera consistente al estar expresada en valores que oscilaron entre 0,4 y 58,1 %, para *hacinamiento crítico*; entre 0,5 y 97,6 %, para *inadecuada eliminación de excretas*; entre 0,1 y 75,7 %, para *inadecuado material en paredes exteriores*; entre 0,1 y 92,1 %, para *pisos inadecuados*; y entre 0,4 y 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 *k*-medias. El resultado fue el método multivariado *k*-medias.

Clasificación por aptitud

El algoritmo *k*-medias, como otros métodos de agrupamiento, parten 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, en este caso, las privaciones que se relacionan inversamente 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 tres 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; por criterios internos, los generados a partir de los propios datos como la suma de los cuadrados de las distancias al interior y entre clústeres (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, como se muestra a continuación:

Hacinamiento crítico	*Inadecuada eliminación de excretas*	*Inadecuado material de paredes exteriores*	*Pisos inadecuados*	*Sin acceso a fuentes de agua mejorada*	Aptitud
6,7	16,3	2,8	13,7	22,7	Alta (A1)
9,0	41,0	3,0	14,7	67,4	Media (A2)
16,7	46,3	8,8	58,3	51,2	Baja (A3)

Unidad de análisis

Porcentaje de hogares con privaciones (%).

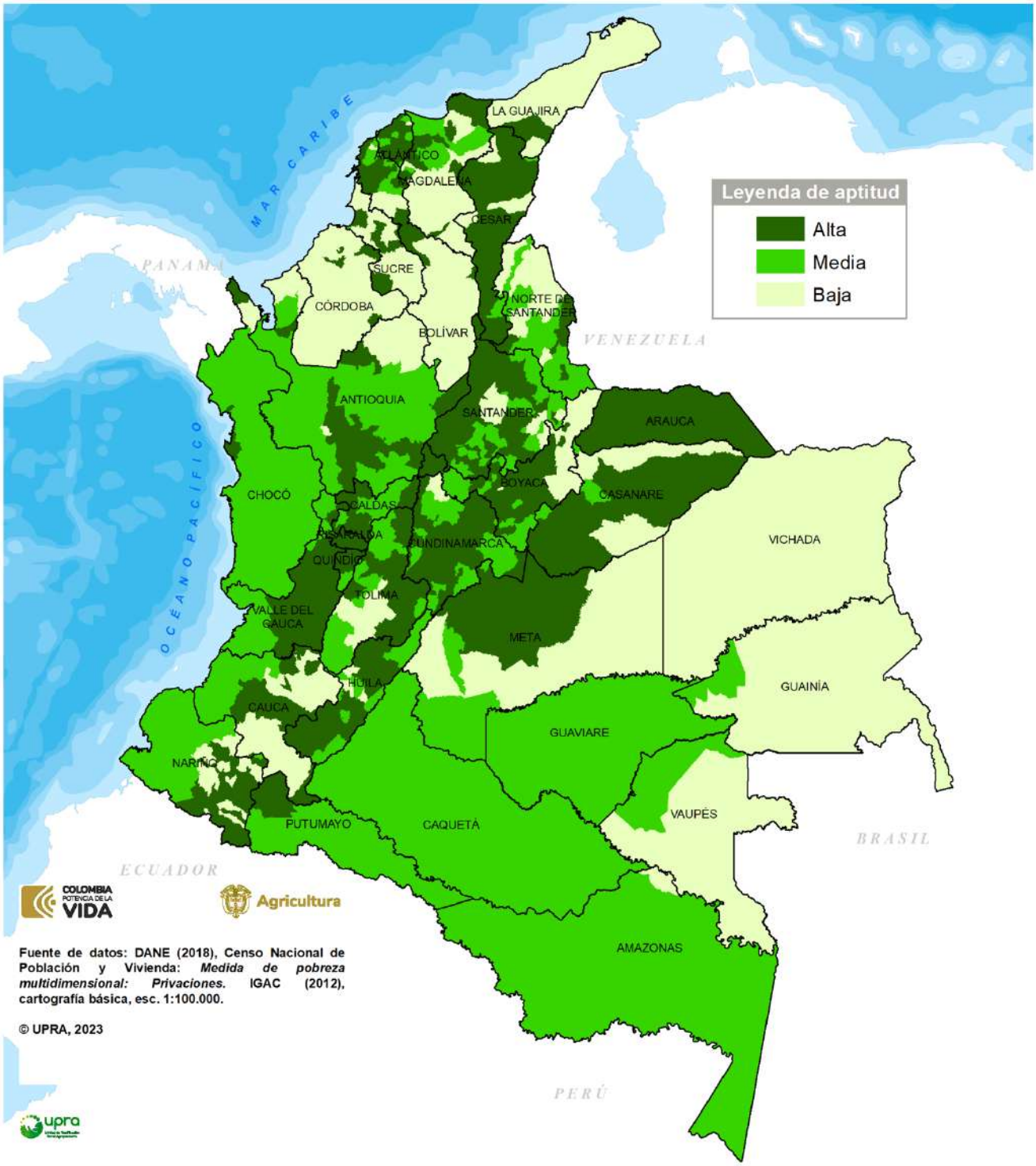
Fuentes de información

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020a). *Boletín técnico: medida de pobreza multidimensional municipal CNPV 2018*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Recuperado de https://n9.cl/3u6j

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020b). *Medida de pobreza multidimensional municipal de fuente censal 2018*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Recuperado de https://n9.cl/a90ts

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Representación cartográfica de la variable



Criterio *condiciones de vida*

Variable *condiciones de vivienda y acceso a los servicios*

3.5.5. Variable *condiciones educativas del hogar*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: social		
Criterio asociado: *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

Corresponde al promedio de los porcentajes de hogares de los centros poblados y rurales dispersos de municipios con privaciones combinadas en los indicadores *analfabetismo* y *bajo logro educativo*. El indicador *analfabetismo* considera *privado* un hogar cuando al menos uno de sus integrantes de 15 años o más no sabe leer o escribir; mientras que el indicador *bajo logro educativo* considera *privado* un hogar cuando el promedio de escolaridad de los integrantes de 15 años o más es menor a nueve años.

Importancia de la variable

Permite identificar los territorios rurales cuya incidencia de privaciones en aspectos relacionados con la educación de los hogares es menos generalizada y por tanto 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 sus condiciones educativas, que reflejan mejores tasas de alfabetismo y bajo logro educativo, cuentan con poblaciones más aptas para participar en las dinámicas socioeconómicas, por lo que requieren una menor inversión social para potenciar sus capacidades. Con ello, se incrementa la probabilidad de acceder a certificaciones de buenas prácticas por parte de los productores, lo que incrementa la competitividad. Los municipios con mayores niveles de porcentaje de hogares en situación de privación en sus condiciones educativas condicionan una menor competitividad de los procesos productivos desarrollados en sus territorios.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

En 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 condiciones educativas se expresaron en porcentaje de hogares, pero 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 entregada por el DANE en los anexos de la *Medida de pobreza multidimensional municipal con información censal*, la cual se construyó usando la información del *Censo nacional de población y vivienda 2018*, por lo que fue posible realizar 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 tenían un alto analfabetismo correspondieron a municipios con altos niveles de bajo logro educativo.

Precisiones de la información

Colombia tiene dos medidas oficiales de pobreza que son complementarias: *la pobreza monetaria* y *la pobreza multidimensional*. La metodología para la estimación de 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 de manera anual según la disponibilidad de las encuestas estimadas, a saber: 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 permitieron 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 llevar a cabo la desagregación geográfica de cabeceras, centros poblados y rural disperso dentro de cada municipio.

La metodología usada por el DANE fue una aproximación a la construcción del índice de pobreza multidimensional oficial para Colombia, que sigue la metodología de Alkire y Foster, desarrollada por la Oxford Poverty and Human Development Iniciative. En este sentido, la medida de pobreza multidimensional con fuente censal no fue comparable ni sustituyó 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 de manera consistente al estar expresada en valores que oscilaron entre 2,4 y 57,7 %, para *analfabetismo*; y entre 27,4 y 96,7 %, para *bajo logro educativo*, 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 determinó utilizar el método *k*-medias. El resultado fue el método multivariado *k*-medias.

Clasificación por aptitud

El algoritmo *k*-medias, como otros métodos de agrupamiento, parten 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, en este caso, las privaciones que se relacionan inversamente 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 tres 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; por criterios internos, los generados a partir de los propios datos como la suma de los cuadrados de las distancias al interior y entre clústeres (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, como se muestra a continuación:

Aptitud	*Analfabetismo*	*Bajo logro educativo*
Alta	12,2	58,89
Media	18,5	81,61
Baja	33,75	82,9

Unidad de análisis

Porcentaje de hogares con privaciones (%).

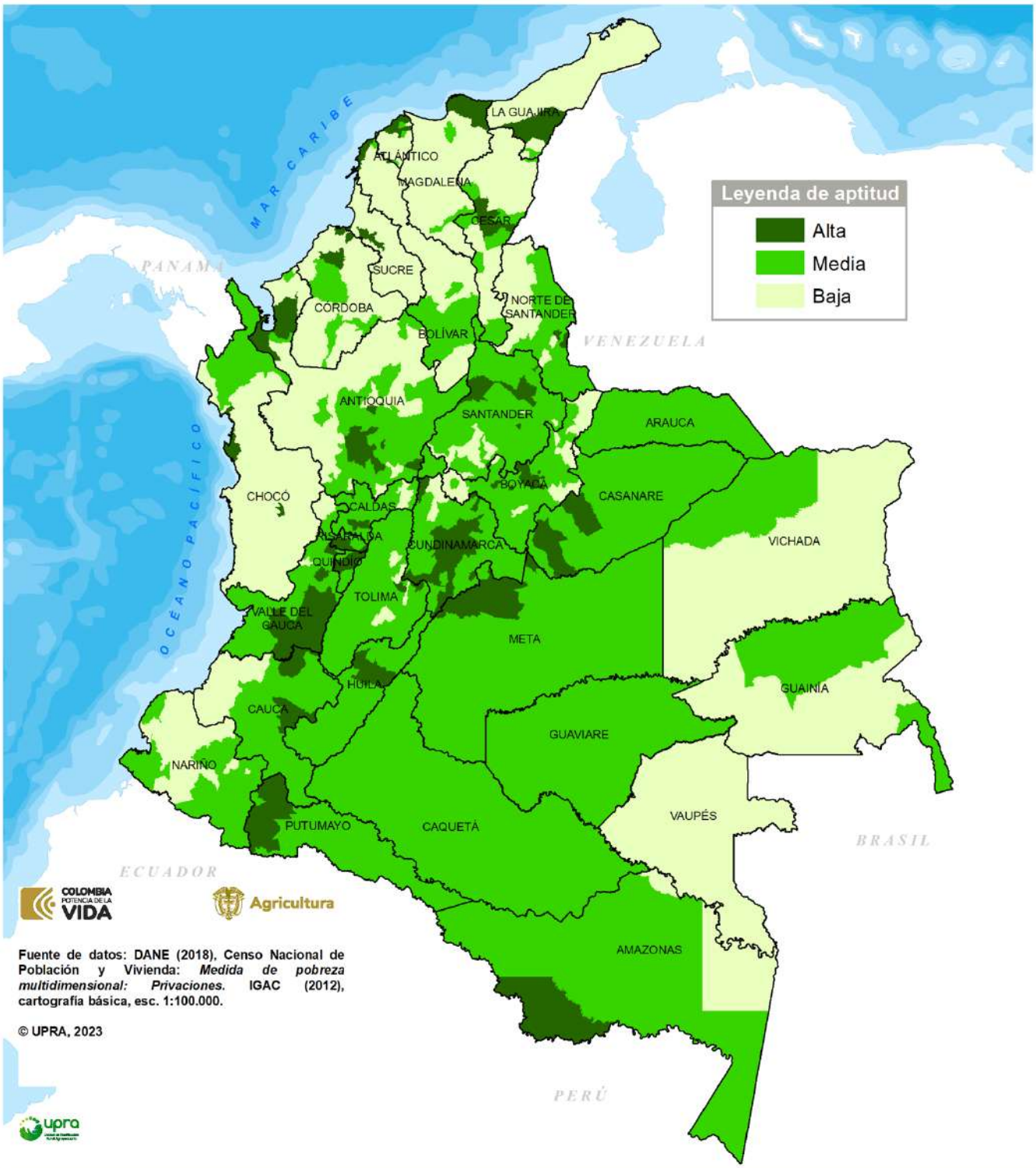
Fuentes de información

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020a). *Boletín técnico: medida de pobreza multidimensional municipal CNPV 2018*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Recuperado de https://n9.cl/3u6j

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020b). *Medida de pobreza multidimensional municipal de fuente censal 2018*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Recuperado de https://n9.cl/a90ts

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Representación cartográfica de la variable



Criterio *condiciones de vida*

Variable *condiciones educativas del hogar públicos*

3.6. Criterio *indicadores económicos*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: económico		
Criterio: *indicadores económicos*		
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Variables asociadas al criterio

Créditos otorgados, expresados en millones de pesos a nivel municipal.

Valor agregado agrícola municipal, expresado en miles de millones de pesos.

Desempeño municipal, expresado en indicador MDM.

Zonas más afectadas por el conflicto armado (ZOMAC), expresadas en municipios.

Definición

Muestra el grado de endeudamiento; los incentivos tributarios otorgados a las zonas más afectadas por el conflicto; y la contribución de este renglón tanto a la generación de valor agregado como al apalancamiento económico en los municipios.

Importancia del criterio

Indica a los agentes económicos la relevancia de la actividad productiva agrícola en los territorios y los beneficios recibidos por parte del Estado mediante exenciones tributarias y de la gestión pública municipal, como por parte del sector financiero a través de créditos para la producción de maíz. Esto 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 tanto por el desempeño de lo público como en respuesta a los estímulos privados, los cuales facilitan la proyección hacia el futuro de la producción de maíz tradicional en el municipio.

Limitantes de la evaluación del criterio

En cuanto 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. Sin embargo, no se incluyeron los recursos que destina la banca comercial con recursos propios. Igualmente, 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. No se incluyó la totalidad de los recursos desembolsados a agentes económicos con actividad productiva, sino los destinados al maíz, aunque la actividad productiva principal del individuo fuera otra. El nivel de discriminación de la información impidió distinguir el aporte de la producción del maíz tradicional dentro del total del valor agregado agrícola, aunque se estimó importante dentro del sector primario de la economía de las zonas productoras, a pesar de que éstas no se destacaran en el contexto nacional.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado

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 cuatro variables, de acuerdo con la siguiente tabla:

Criterio	Variables	*Créditos otorgados*	*Valor agregado agrícola municipal*	*Desempeño municipal*	*Zonas ZOMAC*
Indicadores económicos	*Créditos otorgados*	1			
	Valor agregado agrícola municipal	1/3	1		
	Desempeño municipal	1/3	1/3	1	
	Zonas más afectadas por el conflicto armado (ZOMAC)	1/5	1/3	1/3	1

La escala de importancia dentro del proceso AHP tuvo cuenta 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			

Haciendo 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 de las categorías de aptitud, para cada una de las cuales se asignó el valor de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3), como se muestra a continuación:

Criterio	Variable	Ponderación (%)
Seguridad ciudadana	*Créditos otorgados*	51,3
	Valor agregado agrícola municipal	26,1
	Desempeño municipal	15,0
	Zonas más afectadas por el conflicto armado (ZOMAC)	7,6
Total de la ponderación		**100,0**

Rangos para la asignación de valores de aptitud

Para cada categoría se realizó una reclasificación numérica, la cual consiste en asignar un peso o valor en tres categorías de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3), como se muestra abajo:

Variables	Unidad de medida	Aptitud		
		Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)
Créditos otorgados	Millones de pesos	>255	<255	Sin créditos
Valor agregado agrícola municipal	Miles de millones de pesos	>48,8	20,1-48,8	<20,1
Desempeño municipal	Puntaje	≥55	45-55	<45
Zonas más afectadas por el conflicto armado (ZOMAC)	Municipios	Declarados ZOMAC	Resto	—

Fuentes de información

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2020). *Cuentas nacionales: indicador valor agregado municipal actividad agrícola*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

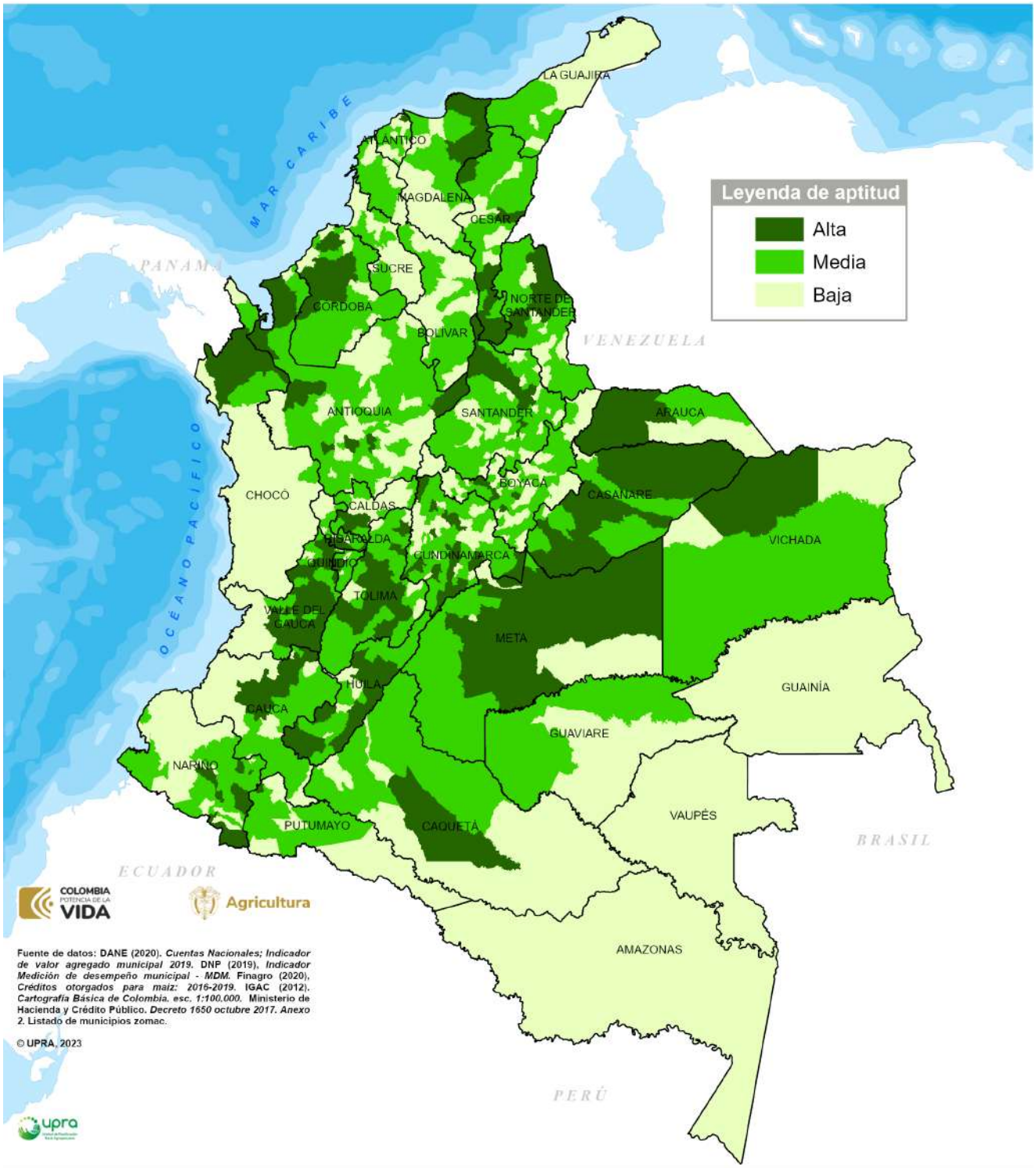
Departamento Nacional de Planeación (2019). *Resultados nueva medición de desempeño municipal 2018*. Bogotá, Colombia: Departamento Nacional de Planeación (DNP). Recuperado de https://n9.cl/bzgi1

Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario (2020). *Créditos y seguros otorgados para maíz 2015-2020*. Bogotá, Colombia: Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario (Finagro).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: 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 50.381Bogotá, Colombia: Presidencia de la República de Colombia.

Representación cartográfica del criterio



Criterio *indicadores económicos*

3.6.1. Variable *créditos otorgados*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: económico		
Criterio asociado: *indicadores económicos*		
Variable: *créditos otorgados*	Unidad de medida: millones de pesos	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Valor, a precios del año 2020, de los créditos otorgados desde el 2015 a nivel municipal para el desarrollo y mejora de la producción del maíz tradicional. Este tipo de créditos están direccionados a personas naturales o jurídicas para construir o mejorar los procesos de producción o de comercialización, colocados en condiciones preferenciales Finagro, a través de la banca comercial con presencia en los territorios; son utilizados para apalancar capital de trabajo y proyectos de inversión. Las líneas especiales Finagro están subsidiadas en tasas de interés y son 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 está solicitando y aprobando un mayor monto de créditos preferenciales para la producción del maíz tradicional. Esto indica una tendencia en la lógica racional y de preferencia territorial de los inversionistas. Busca otorgar una mayor aptitud a las zonas con mayor nivel de financiamiento con recursos de fomento para la producción del maíz tradicional. Esto permite dimensionar el apalancamiento financiero de una aglomeración productiva municipal como factor relevante para los agentes económicos en la toma de decisiones sobre la inversión, de modo que 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 agrícola del maíz, lo cual 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

En 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 que son canalizados por la banca pública (Banco Agrario de Colombia) y por la banca privada (redescuento), pero no incluye los créditos otorgados con recursos de captación de la banca privada (créditos comerciales). En tal sentido, la información sobre el lugar de colocación de créditos podría haber diferido del municipio donde finalmente se invirtieron los recursos y la actividad específica que se iba a financiar, puesto que puede apalancar actividades conexas a las actividades productivas agrícolas de producción de maíz 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 correspondieron a la suma del valor colocado entre los años 2016 y 2020, traídos a valores del 2020 para todos los municipios que reportaron información en el periodo de análisis. Para llevar los valores a precios del 2020, se utilizaron los valores oficiales reportados por el DANE sobre la inflación enero-diciembre del año 2016 al 2019.

Análisis de la consistencia y preparación de la información

Se calculó la suma anual de créditos otorgados por municipio para el maíz tradicional en millones de pesos al 2020 para el periodo 2016-2020.

Clasificación por categoría de aptitud

Para estimar los rangos de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3), 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 créditos colocados es 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, sumaron mayor valor de crédito colocado; luego, se estimaron las participaciones de cada municipio dentro del total del crédito evaluado. Finalmente, se estimó una columna en la que se calculó el porcentaje acumulado de la distribución del crédito dentro de los municipios hasta que la acumulación llegara al 80 % de participación. 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 del crédito; el tercero, formado por los municipios que no tuvieron ninguna colocación de crédito para el maíz tradicional durante el periodo 2016-2020. De los anteriores agrupamientos, se infirieron los puntos de corte de la siguiente manera: *aptitud alta* (A1), para los municipios con más de 255 millones en créditos para el maíz tradicional; *aptitud media* (A2), para los municipios con menos de 255 millones en créditos para maíz; y *aptitud baja* (A3), para los municipios sin créditos para desarrollar el cultivo del maíz tradicional.

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 revisar en la siguiente tabla:

Millones de pesos	*Aptitud*
>255	Alta (A1)
<255	Media (A2)
Sin créditos	Baja (A3)

Unidad de análisis

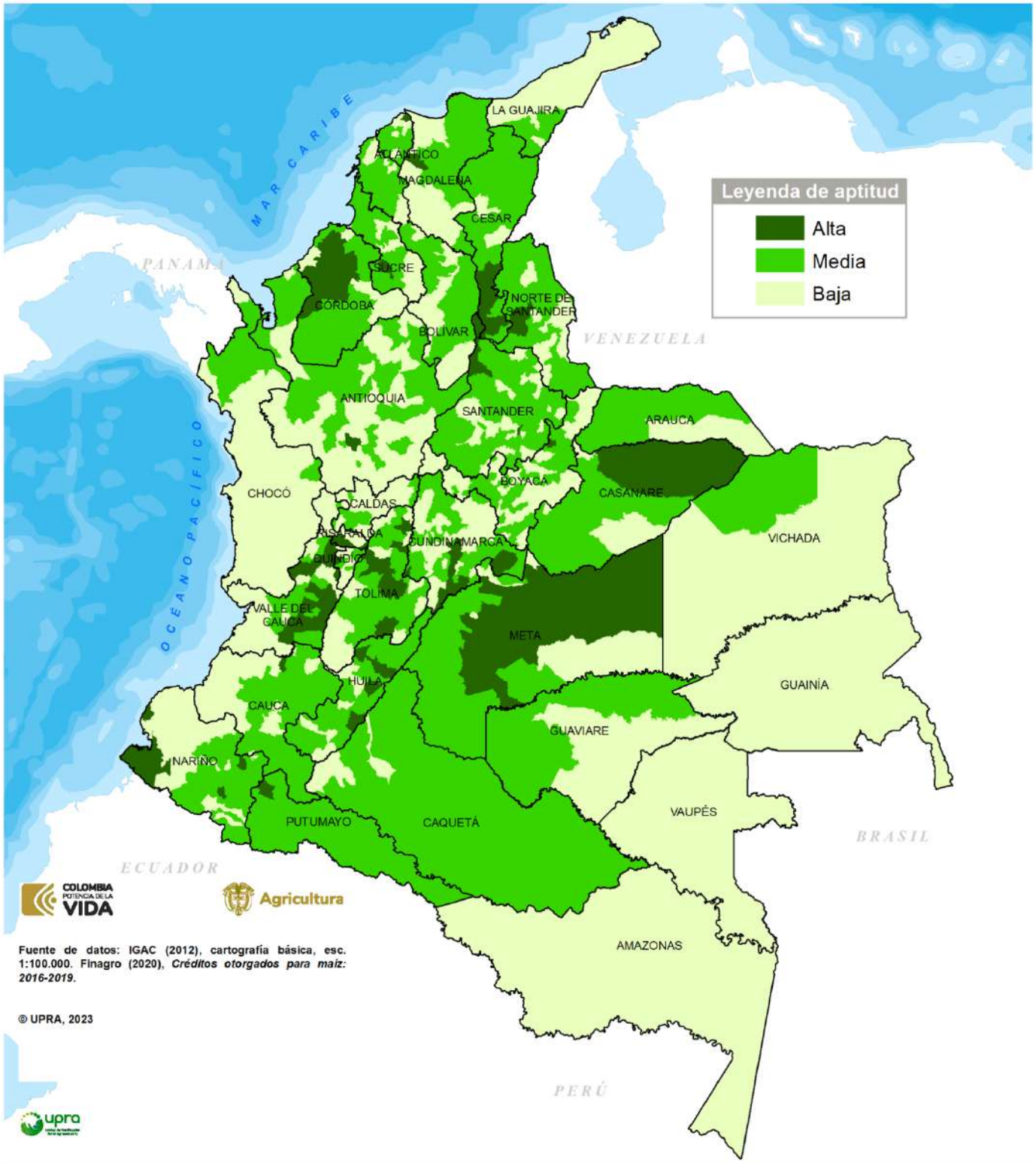
Millones de pesos.

Fuentes de información

Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario (2020). *Créditos y seguros otorgados para maíz 2015-2020*. Bogotá, Colombia: Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario (Finagro).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Representación cartográfica de la variable



Criterio *indicadores económicos*
Variable *créditos otorgados*

3.6.2. Variable *valor agregado agrícola municipal*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: económico		
Criterio asociado: *indicadores económicos*		
Variable: *valor agregado agrícola 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 agrícolas en un municipio.

Importancia de la variable

Muestra a los agentes económicos los municipios que tienen un mayor valor agregado agrícola y que es sujeto de economías de escala sectoriales, de beneficios y de estímulos estatales privilegiados en temas agrícolas respecto del tratamiento económico que se le da al municipio como un todo. Incide en la percepción de los agentes económicos en cuanto al desempeño económico del municipio como un todo y como una parte en función del sector agrícola. De esta manera, a mayor valor agregado agrícola municipal, el municipio presenta mayor nivel de aptitud, puesto que su circuito económico local tendrá un mayor dinamismo y posibilidad de encadenamiento sectorial.

Aunque no es posible discriminar dentro de los valores agregados sectoriales los niveles de participación de producciones específicas —en nuestro caso, el maíz tradicional—, la transversalidad sectorial refleja lo verdaderamente agrícola, es decir, que es un municipio sin dependencia de la presencia o no de otras actividades productivas, como la minería extractiva y el petróleo, que suelen distorsionar las mediciones en términos de participación porcentual.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

En 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 partió de mediciones sectoriales y territoriales de escala nacional y departamental, es posible que algunos municipios con gran generación de valor agrícola se vieran afectados por pertenecer a un contexto regional y departamental que no fuera agrícola. Del mismo modo, existió la posibilidad de que un municipio sin mayor relevancia en la generación de valor agrícola se sobredimensionara por su ubicación regional en la que otros municipios aportan y suman gran producción. En todo caso, fueron precisamente estos fenómenos regionales y secto-territoriales los que se pretendieron capturar. Como ya se mencionó, la incapacidad para discriminar el valor generado por un producto, aunque resultó una limitante también, incorporó la transversalidad del análisis sectorial que beneficia a todos los productos del sector agrícola.

Los métodos de estimación del valor agregado por ramas de actividad económica consideran cualquier transformación de materia prima como agregación de valor, independientemente de su nivel de complejidad, por lo que algunas cadenas productivas cuya transformación es requisito para el consumo o disfrute pueden ser contabilizadas en una rama no agrícola. Cabe advertir que las mediciones para un año específico, en este caso, el 2019, pueden haber incluido eventos esporádicos como inundaciones o condiciones climáticas adversas que llevaron a tener un menor valor agregado agrícola de manera transitoria en un municipio.

Metodología de procesamiento de la información

Precisiones de la información

Para la presente zonificación, se tuvo en cuenta la información del DANE.

Análisis de la consistencia y preparación de la información.

Se utilizó el criterio asociado a la *regla de Pareto* (80/20), la cual 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 agrícola 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 agrícola que se le atribuyó y luego se estimaron las participaciones de cada municipio dentro del total nacional. Posteriormente, se estimó una columna en la que se calculó el porcentaje acumulado del valor agregado agrícola municipal y el porcentaje de municipios que aportaron a esa acumulación, hasta el punto en que la suma de estos dos porcentajes fuera igual al 100 %. Sobre los restantes municipios, 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, parten 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. 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, en este caso, las privaciones que se relacionan inversamente 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; por criterios internos, los generados a partir de los propios datos como la suma de los cuadrados de las distancias al interior y entre clústeres (cohesión y separación).

Clasificación de los municipios por aptitud.

Al realizar el procedimiento anteriormente descrito, para la variable *valor agregado agrícola municipal* el resultado fueron tres agrupamientos, a los que se les asignó la calificación de aptitud, cuyos rangos quedaron definidos de la siguiente manera: *aptitud alta* (A1), para los municipios con más de $48,8 mil millones de valor agregado agrícola municipal; *aptitud media* (A2), para los municipios con valor agregado agrícola municipal de entre $20,1 y $48,8 mil millones; y *aptitud baja* (A3), para los municipios con menos de $20,1 mil millones de valor agregado agrícola municipal.

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 a continuación:

Miles de millones de pesos	Aptitud
>48,8	Alta (A1)
20,1-48,8	Media (A2)
<20,1	Baja (A3)

Unidad de medida

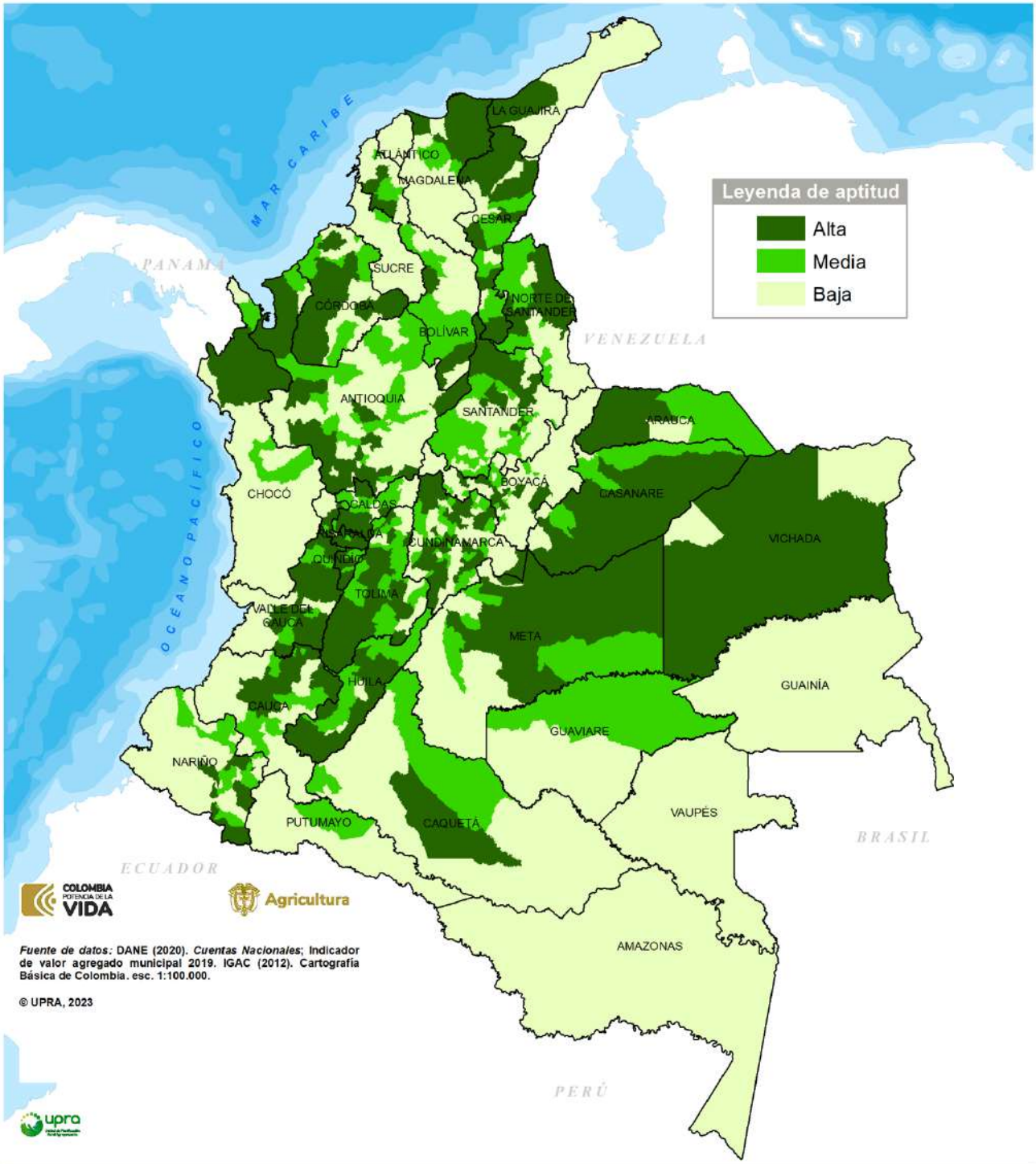
Miles de millones de pesos.

Fuentes de información

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2021). *Cuentas nacionales: indicador valor agregado municipal actividad agrícola*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Representación cartográfica de la variable



Criterio *indicadores económicos*
Variable *valor agregado agrícola municipal*

3.6.3. Variable *desempeño municipal*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
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

Mide y compara el desempeño municipal de las entidades territoriales. Se entiende como la capacidad de gestión y de resultados de desarrollo, es decir, el aumento de la calidad de vida de la población, teniendo en cuenta las capacidades iniciales para incentivar una mejor gestión, la calidad del gasto y la inversión orientada a resultados (DNP, 2017). Así mismo, esta variable es una aproximación al diseño de las políticas dirigidas al fortalecimiento de capacidades y al cierre de brechas territoriales según la situación del indicador en cada municipio.

Importancia de la variable

Confirma si se cuenta con administraciones locales robustas con capacidades institucionales adecuadas para cumplir las tareas, lo cual es una condición necesaria para el desarrollo territorial. Esto toma especial importancia en escenarios como donde se busca un mayor fortalecimiento de la gestión descentralizada de las entidades regionales. Al respecto, el Departamento Nacional de Planeación señala que «hay evidencia de la relación existente entre mayores capacidades institucionales de los gobiernos subnacionales, en especial, aquellas relacionadas con la capacidad de recolectar impuestos y proveer servicios públicos con mayor crecimiento económico y mejores resultados de desarrollo económico y social» (DNP, 2017).

Este principio es esencial para dinamizar e incentivar las actividades productivas agropecuarias en las zonas rurales colombianas. En Colombia, los estudios del DNP han demostrado que un mejor desempeño municipal se asocia con mejores resultados en otras dimensiones, como en la eficiencia en la provisión de servicios públicos, en las menores tasas de pobreza y mayor competitividad, entre otros. Por ejemplo: el índice de ambiente regulatorio para la creación de empresas (*doing business*), promovido por el Banco Mundial, tiene una correlación positiva y significativa con la nueva medición del desempeño municipal (DNP, 2017).

Valor de exclusión según el criterio asociado

En el análisis de la variable, no presentó 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.

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 Departamento Nacional de Planeación (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 a 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 cuenta con las siguientes ventajas: permite la comparación entre grupos de municipios más homogéneos —definidos según un componente de capacidades iniciales—, rankings al interior de grupos; el grupo de capacidades iniciales se calcula cada cuatro años con nuevos gobiernos locales; la posición del municipio se calcula dentro del grupo de capacidades iniciales —el último puesto es máximo 218—; mide entre grupos de municipios con capacidades iniciales similares; los indicadores de resultados están alineados con los planes de desarrollo territorial (PDT) para la rendición de cuentas; permite realizar comparaciones al interior de grupos más homogéneos que parten de la misma situación.

Análisis de la consistencia y preparación de la información

Esta variable contó con la información para la totalidad de los municipios de Colombia. La consistencia interna la ofreció el DNP a partir de la construcción metodológica. La MDM se dividió 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 ordenamiento territorial (per cápita)	Cobertura de educación media
Recaudo por instrumentos de ordenamiento territorial (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

El primer componente está enfocado en la gestión: incluye las acciones y decisiones que adelanta la administración local para transformar los recursos en un mayor bienestar de la población y desarrollo. Al 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 doce variables:

Movilización de recursos propios		
Variable	**Metodología**	**Fuentes**
Ingresos tributarios y no tributarios sin recaudo por ordenamiento territorial (per cápita)	(Ingresos tributarios y no tributarios*-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) Plusvalía (TI.A.2.3.2.-FUT ingresos), correspondiente a la vigencia	Operaciones efectivas de caja (OEC) del DNP Formulario único territorial (FUT) y Departamento Administrativo Nacional de Estadística (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) Plusvalía (TI.A.2.3.2.-FUT ingresos), correspondiente a la vigencia	Formulario único territorial (FUT) y Departamento Administrativo Nacional de Estadística (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 tomó de la columna *obligaciones* del formato *Gastos de inversión* del FUT **Se tomó 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 de gastos de inversión del FUT ** Asignaciones de la vigencia Sicodis	Formulario único territorial (FUT) y Sistema de información y consulta de distribuciones de recursos territoriales (Sicodis)

Ejecución de recursos propios	Recursos obligados fuente propios*/recursos presupuestados con fuente propias** *«Ingresos corrientes de libre destinación, excepto 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). El 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 tomaron 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 IGR (índice de gestión de proyectos de regalías)	Sistema General de Regalías (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 Regalías (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 tomó el concepto «Impuesto predial unificado vigencia actual» (TI.A.1.3.1 columna *total ingresos*-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) Plusvalía (TI.A.2.3.2-FUT ingresos),	Formulario único territorial (FUT)

	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.	

El segundo componente está enfocado en resultados: permite saber si las acciones realizadas en el período evaluado tuvieron incidencia en el bienestar de la comunidad y el desarrollo territorial. Mide los cambios en las condiciones de vida en relación con el acceso ciudadano a la educación, a la salud, a los servicios públicos, a la seguridad y a convivencia familiar. Este componente reúne las siguientes catorce variables:

Educación		
Variable	**Metodología**	**Fuente**
Cobertura en educación media neta	Estudiantes matriculados en educación media en el rango de edad aceptable sobre la población del municipio en ese rango de edad de la vigencia	Ministerio de Educación: TerriData
Cobertura en transición media neta	Estudiantes matriculados en transición en el rango de edad aceptable sobre la población del municipio en ese rango de edad de la vigencia	Ministerio de Educación: Terridata
Pruebas Saber 11: Matemáticas y Lectura Crítica	Puntaje promedio de estudiantes residentes en el municipio en componentes Matemáticas y Lectura Crítica de las pruebas Saber 11 de la vigencia	Ministerio de Educación: Terridata

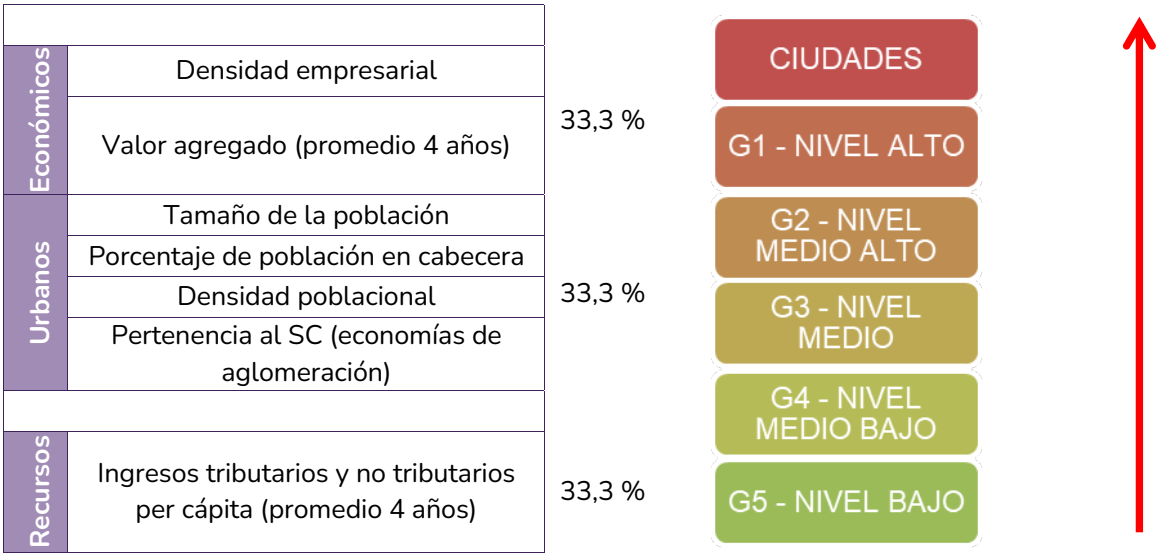
Salud		
Variable	**Metodología**	**Fuente**
Mortalidad infantil, menores de un año	Fallecidos menores de un año por mil nacidos vivos en la vigencia anterior (un año de rezago)	Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE): Terridata
Cobertura en vacunación pentavalente	Menores de un año en un municipio con la tercera dosis aplicada de vacuna pentavalente sobre la población total menor de un año a vacunarse de la vigencia	Ministerio de Salud: Terridata
Cobertura en salud	Número de afiliados registrados en la BDUA en los regímenes contributivo y subsidiado a diciembre sobre la proyección población DANE del municipio de la vigencia	Ministerio de Salud: Terridata

Energía e internet		
Variable	**Metodología**	**Fuente**
Cobertura de energía, zona resto	Viviendas con acceso a red interconectada sobre el total de viviendas de la vigencia anterior (un año de rezago)	Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME): 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 Comunicaciones: 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) y Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD): 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 y Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE): 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 que tiene esta metodología consiste en que categoriza los municipios en grupos comparables que comparten ciertas características, como capacidades (dotaciones) iniciales, lo que permite un análisis comparativo según las diferencias estructurales en las trayectorias del desarrollo territorial. Para éstos, se definieron tres dimensiones: la actividad económica; las características demográficas y geográficas urbanas; y los recursos propios de ingresos tributarios y no tributarios. Acto seguido, se conformaron seis grupos de municipios, así:

Grupos comparables por nivel de capacidad inicial



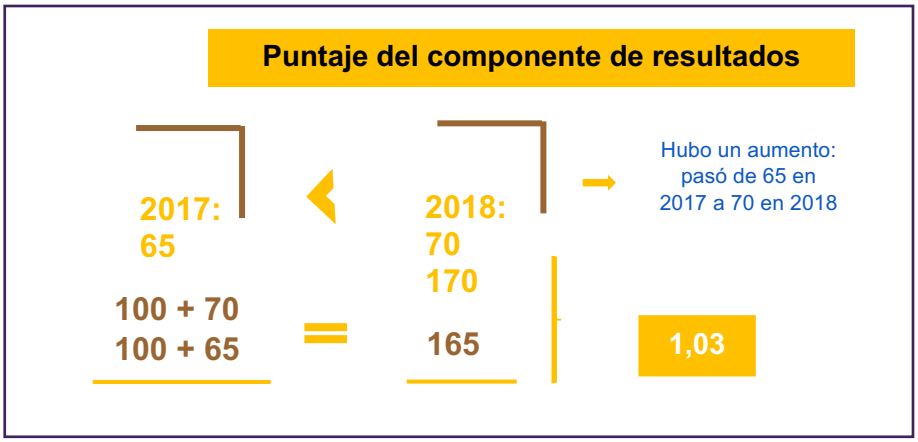
Para estimar las capacidades iniciales, se utilizó el promedio de las variables de los cuatro años del Gobierno saliente (2011-2015) y se estandarizan los indicadores entre todos los municipios. Luego, se definió un índice de 0 a 1, en el que 1 representó los municipios con mayor dinamismo económico (mayor valor agregado y mayor densidad empresarial) altamente urbanos y con los mayores recursos corrientes; y 0, para las respectivas contrapartes.

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 la metodología de agregación del indicador, que consistió establecer los puntajes por municipio para cada componente de gestión y resultados de dos años comparados, como se puede observar a continuación:

Municipio Y		
Componente	**Año**	**Puntaje**
Gestión	2018	50
Resultados	2017	65
	2018	70

Luego, se calculó el cambio del año con respecto al anterior para el componente de resultados, que muestra el bienestar de la población, como indica la siguiente figura:



Posteriormente, se multiplicó el resultado obtenido por el puntaje del componente de gestión del último año, así:

$$Puntaje\ comp.de\ gestión * Cambio\ comp.resultados = Indicador\ DM$$
$$50 * 1{,}03 = 51{,}1$$

Finalmente, con el valor del indicador MDM (51,1), se clasificaron los rangos de aptitud de la siguiente manera: *aptitud alta* (A1), para los municipios con un puntaje mayor de 55 puntos; *aptitud media* (A2), para los municipios con un puntaje que osciló entre 45 y 55 puntos; *aptitud baja* (A3), para 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 Departamento Nacional de Planeación (DNP) para el año 2019, como se puede observar en la tabla de abajo:

Indicador MDM	Aptitud
≥55 puntos	Alta (A1)
45-55 puntos	Media (A2)
<45 puntos	Baja (A3)

Unidad de análisis

Indicador de la medición del desempeño municipal (MDM).

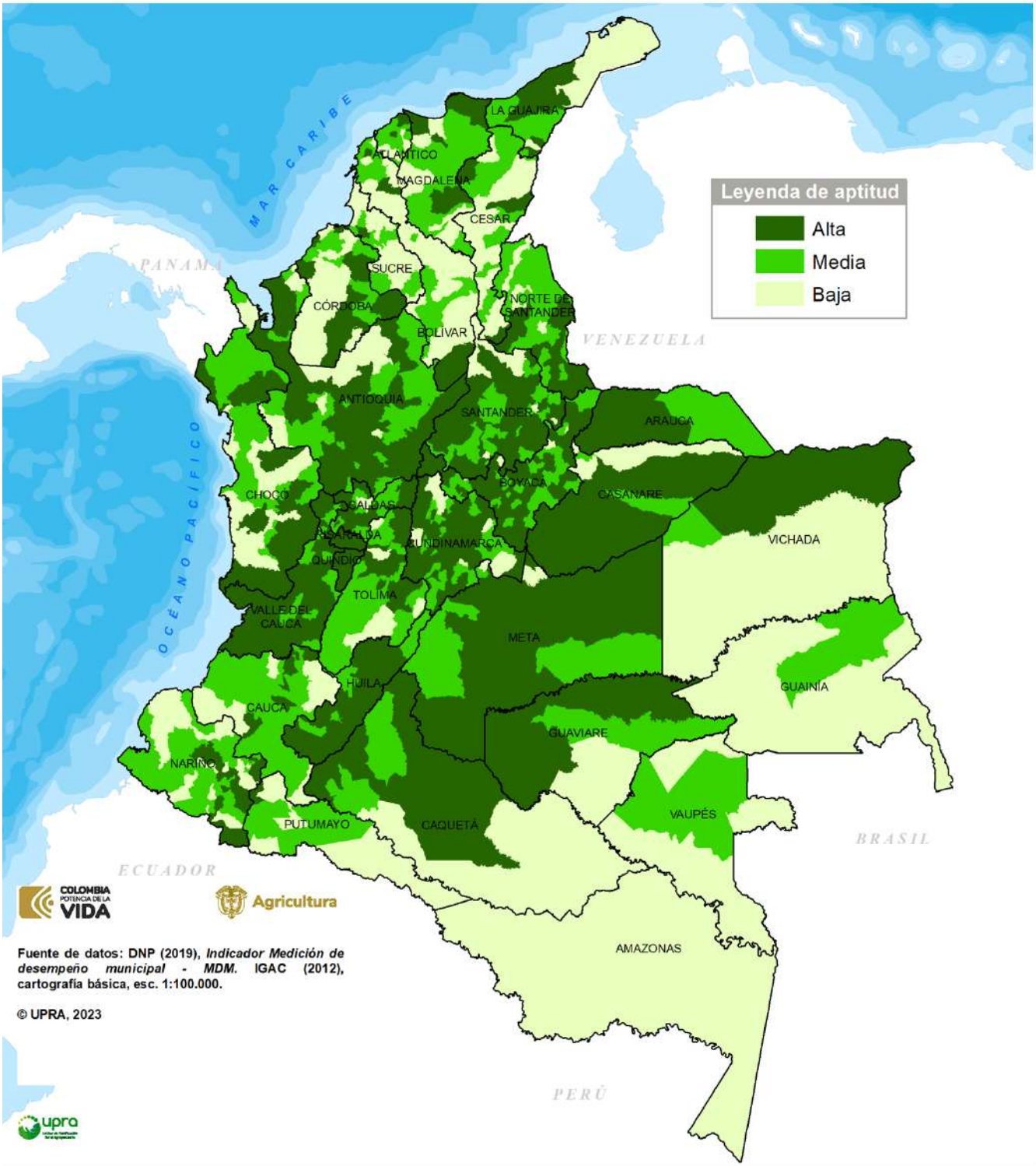
Fuentes de información

Departamento Nacional de Planeación (2020). *Medición del desempeño municipal MDM. Informe de resultados: MDM 2019*. Bogotá, Colombia: Departamento Nacional de Planeación (DNP). Recuperado de: https://n9.cl/i4m22n

Departamento Nacional de Planeación (2019). *Resultados nueva medición de desempeño municipal 2018*. Bogotá, Colombia: Departamento Nacional de Planeación (DNP). Recuperado de https://n9.cl/bzgi1

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Representación cartográfica de la variable



Criterio *indicadores económicos*
Variable *desempeño municipal*

3.6.4. Variable *zonas más afectadas por el conflicto armado (ZOMAC)*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
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 golpeados por la violencia.

Importancia de la variable

Busca fortalecer la productividad y la competitividad al acelerar el desarrollo con la creación de empresa y de empleo, a través de incentivos a los empresarios con una tarifa especial y progresiva del impuesto de renta para los próximos 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 presentó límites que se calificaran como zonas no aptas (N1).

Limitantes de la evaluación de la variable

Depende de la legislación y las decisiones del Gobierno de turno, lo que implica que los beneficios y los estímulos tributarios podrían ser ampliados o revocados partiendo de decisiones políticas. Sin embargo, no existe forma en la que se pueda medir la manera en que están siendo aprovechados los incentivos y en qué tipo de actividades productivas se están concentrando tales beneficios.

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 la totalidad de municipios colombianos respecto a si pertenecían o no a las ZOMAC, lo cual permitió efectuar 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: *aptitud alta* (A1), para lo municipios declarados ZOMAC; *aptitud media* (A2), para 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), como se puede obsevar el la tabla de abajo. Se excluyó la posibilidad de que esta variable tomara valores (A3) por considerar que sería un castigo demasiado sancionador en términos de aptitud para los municipios que no están en el listado.



Municipios	Aptitud
Municipios declarados ZOMAC	Alta (A1)
Resto	Media (A2)

Unidad de análisis

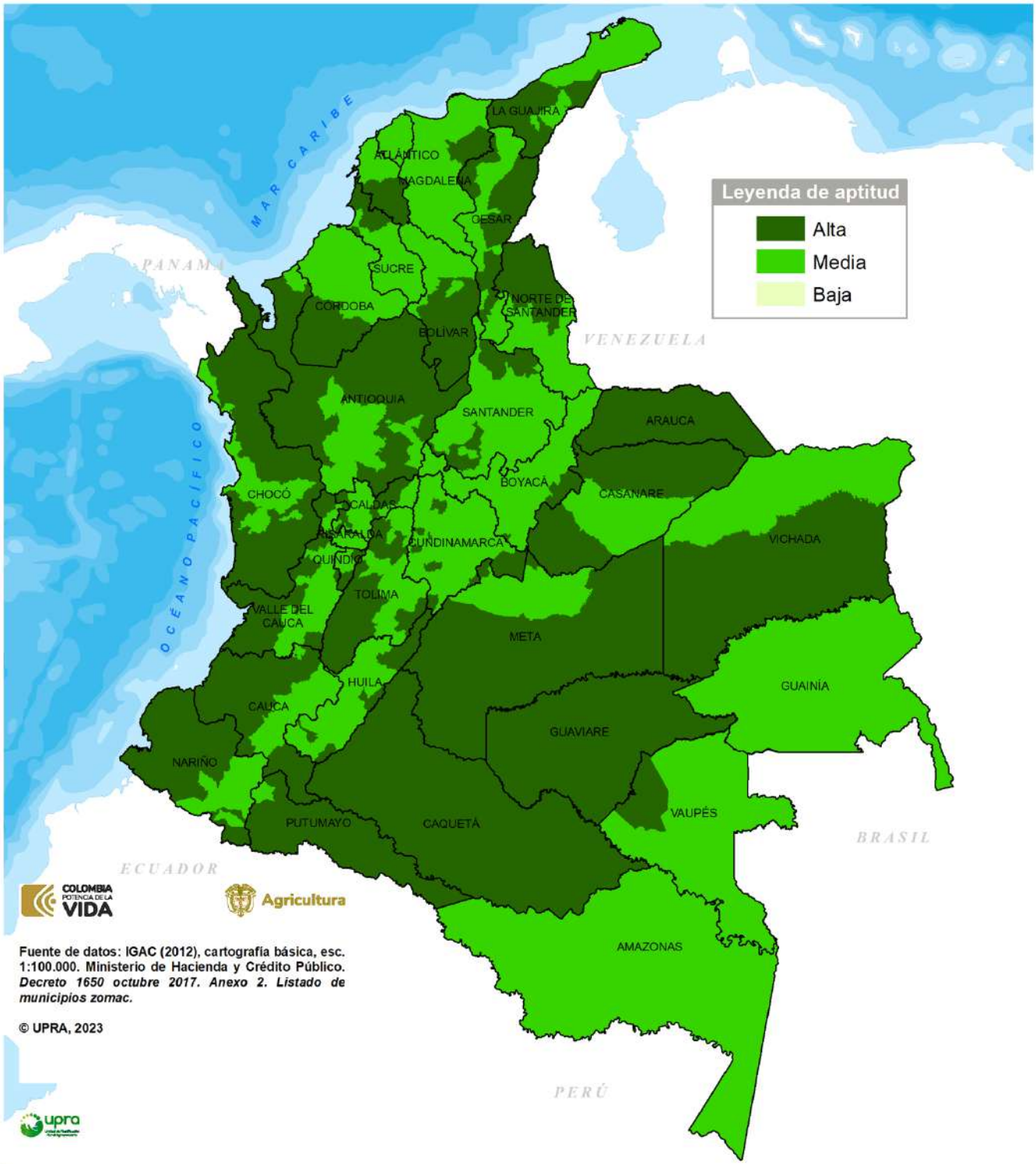
Municipios.

Fuentes de información

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: 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 50.381Bogotá, Colombia: Presidencia de la República de Colombia.

Representación cartográfica de la variable



Criterio *indicadores económicos*

Variable *zonas más afectadas por el conflicto armado (ZOMAC)*

3.7. Criterio *seguridad ciudadana*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* l.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: social		
Criterio: *seguridad ciudadana*		
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Variables asociadas al criterio

Hurtos rurales, expresados en tasa de hurtos rurales por cada 1.000 habitantes.

Homicidios rurales, expresados en tasa de homicidios rurales por cada 1.000 habitantes.

Extorsiones rurales, expresados en tasa de extorsiones rurales por cada 1.000 habitantes.

Secuestros rurales, expresados en tasa de secuestros rurales por cada 1000 habitantes.

Definición

Ausencia del peligro o de afectaciones a la integridad física, del riesgo de la pérdida de la libertad y del patrimonio por situaciones adversas. Es una situación según la cual las personas pueden vivir libres de la violencia y el delito (Comisión Interamericana de Derechos Humanos [CIDH], 2009). La seguridad ciudadana produce un efecto de confianza, entendida como ausencia de peligro y de daños tanto a la vida como a la integridad física y psicológica; a la pérdida parcial o total de la libertad; y a la pérdida del patrimonio de un individuo o de un grupo poblacional, determinada por situaciones adversas originadas por otra personas.

Importancia del criterio

Refleja la información de municipios en donde se presentan y repiten hechos delictivos que posiblemente 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 representa particular importancia para orientar a los inversionistas privados y a las políticas públicas del sector agropecuario.

En las zonas donde han existido fenómenos delictivos reiteradamente, se ven afectadas la productividad, la seguridad y la integridad física y psicológica, así como la vida, la honra y los bienes de las poblaciones asentadas, quienes soportan acciones ligadas al secuestro, a las extorsiones, al abigeato y a los homicidios. Estas acciones delictivas generan un ambiente de desconfianza y ausencia de inversión en proyectos productivos que mejorarían la calidad de vida, el empleo y las oportunidades de los pobladores rurales. Como consecuencia, cuanta más frecuente sea la presentación de estos flagelos, 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, hurto y homicidio, se encontraron algunos municipios sin información.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado

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 cuatro variables, de acuerdo con la siguiente tabla:

Criterio	Variables	*Hurtos rurales*	*Homicidios rurales*	*Extorsiones rurales*	*Secuestros rurales*
Seguridad ciudadana	*Hurtos rurales*	1			
	Homicidios rurales	1/3	1		
	Extorsiones rurales	1/5	1/3	1	
	Secuestros rurales	1/7	1/5	1/3	1

La escala de importancia dentro del proceso AHP tuvo en cuenta la valoración entre pares de variables, como se muestra a continuación:

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			

Haciendo 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 de las cuales se asignó el valor de alta (A1), media (A2) y baja (A3), como se puede consultar en la siguiente tabla:

Criterio	Variable	Ponderación (%)
Seguridad ciudadana	*Hurtos rurales*	56,4
	Homicidios rurales	26,3
	Extorsiones rurales	11,8
	Secuestros rurales	5,5
Total de la ponderación		**100,0**

Rangos para la asignación de valores de aptitud

Para cada categoría, se realizó una reclasificación numérica, la cual consistió en asignar un peso o valor en las categorías de aptitud alta (A1), media (A2) y baja (A3) para el criterio, como se indica en la siguiente tabla:

Variables	Unidad de medida	Aptitud		
		Alta (A1)	Media (A2)	Baja (A3)
Hurtos rurales	Tasa de hurtos rurales por cada 1.000 habitantes	Sin ocurrencia del delito	≤6,464	>6,464
Homicidios rurales	Tasa de homicidios rurales por cada 1.000 habitantes	Sin ocurrencia del delito	≤0,5652	>0,5652
Extorsiones rurales	Tasa de extorsiones rurales por cada 1.000 habitantes	Sin ocurrencia del delito	≤ 0,1852	>0,1852
Secuestros rurales	Tasa de secuestros rurales por cada 1.000 habitantes	Sin ocurrencia del delito	≤0,0564	>0,0564

Fuentes de información

Comisión Interamericana de Derechos Humanos (2009). *Informe sobre seguridad ciudadana y derechos humanos*. Washington D. C., Estados Unidos De América: Organización de los Estados Americanos (OEA). Recuperado de 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. Bogotá, Colombia: 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. Bogotá, Colombia: 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. Bogotá, Colombia: 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*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

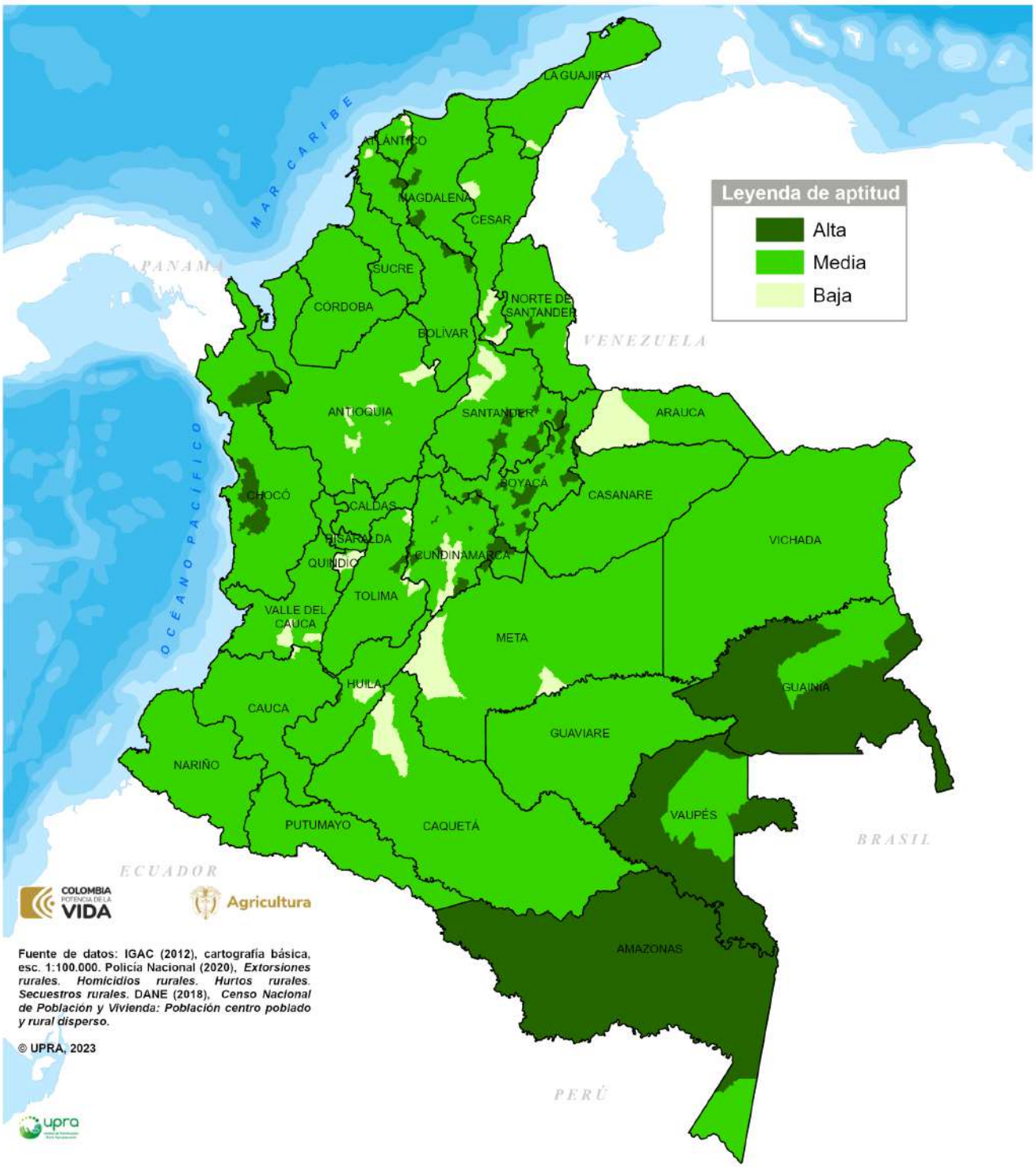
Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (2014). *Comportamiento del homicidio, Colombia, 2013*. Bogotá, Colombia: Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (INMLCF). Recuperado de https://n9.cl/qivwkx

Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (2018). *Homicidio: Colombia 2018*. Bogotá, Colombia: Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (INMLCF). Recuperado de https://n9.cl/b7x65

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

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). Berkeley (California), United States of America: Statistical Laboratory of the University of California. Recuperado de https://n9.cl/84in9x

Representación cartográfica del criterio



Criterio *seguridad ciudadana*

3.7.1. Variable *hurtos rurales*

Ficha metodológica de la variable			
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* l.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.		
Componente: socioeconómico. Subcomponente: social			
Criterio asociado: *seguridad ciudadana*			
Variable: *hurto rural*	Unidad de medida: tasa de hurtos rurales por cada 1.000 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 considera hurto calificado si se comete con violencia sobre las cosas; colocando a la víctima en condiciones de indefensión o inferioridad o aprovechándose de esas condiciones; mediante penetración o permanencia arbitraria, engañosa o clandestina en un lugar habitado o en sus dependencias inmediatas, aunque allí no se encuentren sus moradores; con escalamiento o con llave sustraída o falsa, ganzúa o cualquier otro instrumento similar, violando o superando seguridades electrónicas u otras semejantes (artículos 239 y 240, Ley 599 de 2000).

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, lo cual 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

En 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 por tanto 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

Esta variable se inició a construir al relativizar la información del número de hurtos a motocicletas, comercio, personas, residencia y automotores en zona rural respecto a la población de cada municipio. Para ello, se construyó el índice de hurtos rurales por cada 1.000 habitantes rurales así: de las series históricas del número de hurtos registrados en la zona rural, período 2016-2020, se realizó la sumatoria de los cinco años; luego, con base en las series de proyección de población municipal del DANE (2020) y de los microdatos del *Censo nacional de población y vivienda 2018*, se tomó la población por municipio proyectada al 2020, la cual se encuentra discriminada entre cabecera y resto. Se extrajo la información del ámbito geográfico denominado *resto* y se asoció a la población rural para este año. Resultado de los dos cálculos anteriores, 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 1.000 habitantes.

Clasificación por aptitud

Para clasificar la variable, luego de la construcción del índice de hurtos por cada 1.000 habitantes, que combina la información para los cinco años de la serie, se dividió la serie en dos grupos: el primero, con los municipios que no registraron hurtos; el segundo, 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; mientras que para el segundo grupo, se le 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, parten 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 hurtos rurales por cada 1.000 habitantes rurales; al grupo restante con el mayor número de delitos por habitantes se le asignó el rango *de aptitud baja* (A3). Los rangos de aptitud identificados fueron los siguientes: aptitud alta (A1), para los municipios donde no se había reportado el delito (0); *aptitud media* (A2), para los municipios del resultado del primer clúster, donde se habbían reportado hasta 6,464 casos de hurto rural por cada 1,000 habitantes; *aptitud baja* (A3), para los municipios del resultado del segundo clúster, donde se habían reportado más de 6,464 casos de hurto rural por cada 1.000 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 1.000 habitantes	Aptitud
Sin ocurrencia del delito	Alta (A1)
≤6,464	Media (A2)
>6,464	Baja (A3)

Unidad de análisis

Tasa de hurtos rurales por cada 1.000 habitantes.

Fuentes de información

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2018). *Censo nacional de población y vivienda 2018: población centro poblado y rural disperso*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

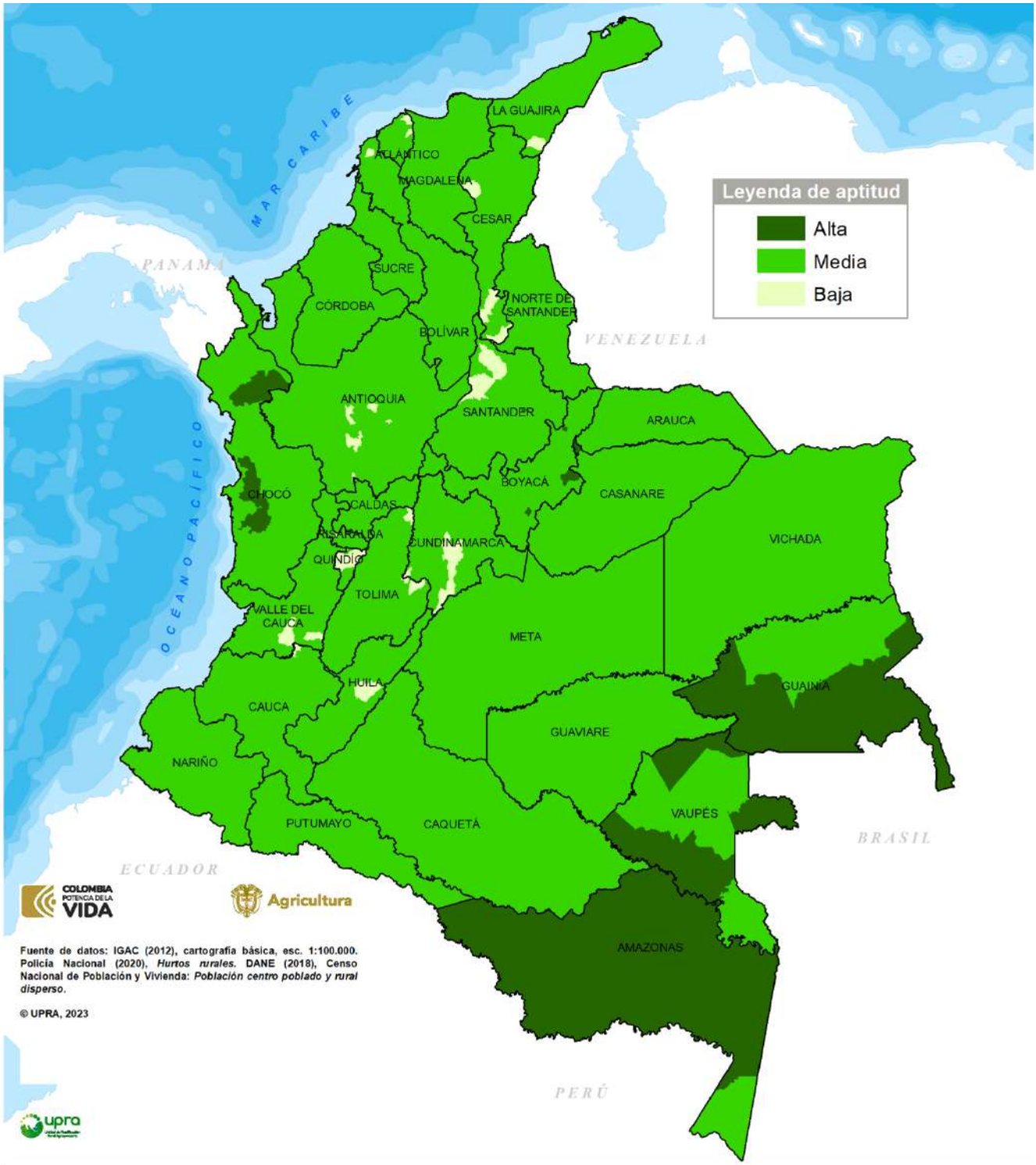
Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Congreso de la República de Colombia (2000). *Ley 599 de 2000, por la cual se expide el Código Penal*. Diario Oficial 44097. Bogotá, Colombia: Congreso de la República de Colombia.

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). Berkeley (California), United States of America: Statistical Laboratory of the University of California. Recuperado de https://n9.cl/84in9x

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

Representación cartográfica de la variable



Criterio *seguridad ciudadana*
Variable *hurtos rurales*

3.7.2. Variable *homicidios rurales*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* l.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: social		
Criterio asociado: *seguridad ciudadana*		
Variable: *homicidios rurales*	Unidad de medida: tasa de homicidios rurales por cada 1.000 habitantes	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

La palabra *homicidio* deriva del vocablo latino *homicidium*, que se refiere a la muerte de un ser humano causada por otra persona. El término puede utilizarse como sinónimo de *asesinato* o *crimen*. El homicidio se puede definir *como la 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)*. El homicidio, además de un hecho violento, es un delito que se tipifica en el Código Penal (Ley 599 de 2000) a partir de tres elementos característicos o paradigmas: *tipicidad*, *antijuridicidad* y *culpabilidad*. Existen dos categorías que permiten identificar este delito en cuanto a la conducta punible del agresor: el *dolo* y la *culpa* (Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses [INMLCF], 2013).

Importancia de la variable

Muestra la ocurrencia de esta actividad violenta, en un periodo de tiempo específico, en los municipios colombianos. De ahí su importancia, ya que constituye una herramienta para el sector, los productores y potenciales inversionistas para tratar de proyectar el comportamiento de delito a nivel municipal. Contribuye tanto a formular lineamientos de políticas desde el sector productivo del maíz como a tomar las medidas de mitigación respectivas desde los productores o posibles inversionistas.

Valor de exclusión o rango de evaluación aplicado según el criterio asociado

En 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 contaron con registros para algunos municipios. Estos municipios, bajo el principio de precaución, se asimilaron al registro cero y por tanto 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

Esta variable se inició a construir al relativizar la información del número de homicidios en zona rural respecto a la población de cada municipio. Para ello, se construyó el índice de homicidios rurales por cada 1.000 habitantes rurales así: de las series históricas del número de homicidios registrados en la zona rural, período 2016-2020, se realizó la sumatoria de los cinco años; luego, con base en las series de proyección de población municipal del DANE (2020) y de los microdatos del *Censo nacional de población y vivienda 2018*, se tomó la población por municipio proyectada al 2020, la cual se encuentra discriminada entre cabecera y resto. Se extrajo la información del ámbito geográfico denominado *resto* y se asoció a la población rural para este año. Resultado de los dos cálculos anteriores, 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 1.000 habitantes.

Clasificación por aptitud

Para clasificar la variable luego de la construcción del índice de homicidios por cada 1.000 habitantes, se dividió la serie en dos grupos: el primero, con los municipios que no registraron homicidios; 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; mientras que para el segundo grupo, se aplicó el método estadístico *k*-medias, el cual permite realizar agrupar los datos con el objetivo de 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, parten 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 1,000 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 identificados fueron los siguientes: *aptitud alta* (A1), para los municipios donde no se había reportado el delito (0); *aptitud media* (A2), para los municipios del resultado del primer clúster, donde se habían reportado hasta 0,5652 casos de homicidios rurales por cada 1.000 habitantes rurales; *aptitud baja* (A3), para los municipios del resultado del segundo clúster, donde se habían reportado más de 0,5652 casos de homicidios rurales por cada 1.000 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 relaciona a continuación:



Tasa de homicidios rurales por cada 1.000 habitantes	Aptitud
Sin ocurrencia del delito	Alta (A1)
≤0,5652	Media (A2)
>0,5652	Baja (A3)

Unidad de análisis

Tasa de homicidios rurales por cada 1.000 habitantes.

Fuentes de información

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2018). *Censo nacional de población y vivienda 2018: población centro poblado y rural disperso*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (2014). *Comportamiento del homicidio, Colombia, 2013*. Bogotá, Colombia: Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (INMLCF). Recuperado de https://n9.cl/qivwkx

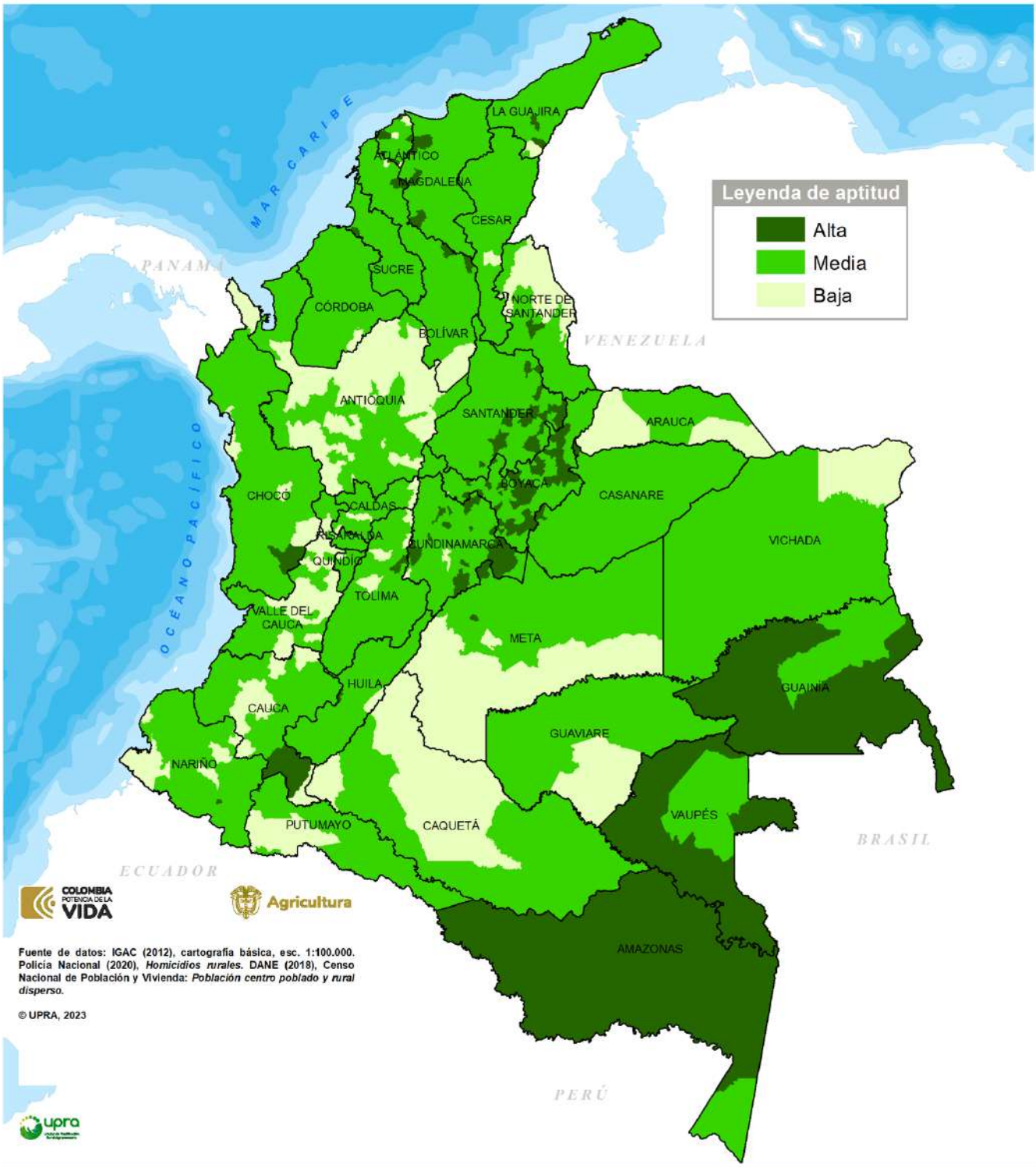
Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (2018). *Homicidio: Colombia 2018*. Bogotá, Colombia: Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (INMLCF). Recuperado de https://n9.cl/b7x65

Congreso de la República de Colombia (2000). *Ley 599 de 2000, por la cual se expide el Código Penal*. Diario Oficial 44097. Bogotá, Colombia: Congreso de la República de Colombia.

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). Berkeley (California), United States of America: Statistical Laboratory of the University of California. Recuperado de https://n9.cl/84in9x

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

Representación cartográfica de la variable



Criterio *seguridad ciudadana*
Variable *homicidios rurales*

3.7.3 Variable *extorsiones rurales*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* l.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: social		
Criterio asociado: *seguridad ciudadana*		
Variable: *extorsiones rurales*	Unidad de medida: tasa de extorsiones rurales por cada 1.000 habitantes	
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	✓
	Exclusión legal	
	Condicionante legal	

Definición

Consiste en obligar a una persona, a través de la utilización 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 de carácter patrimonial. Quien comete est delito está definido en el Código Penal como «el que constriña a otro a hacer, tolerar u omitir alguna cosa, con el propósito de obtener provecho ilícito o cualquier utilidad ilícita 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 constituya una herramienta para el sector, los productores y potenciales inversores para tratar de proyectar el comportamiento del delito a nivel municipal. Contribuye tanto a formular lineamientos de políticas desde el sector productor como a 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 contaron con registros para algunos municipios. Por esta razón, bajo el principio de precaución, estos se asimilaron al registro cero y por tanto 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

Esta variable se inició a construir al relativizar la información del número de extorsiones en zona rural respecto a la población de cada municipio. Para ello, se calculó el índice de extorsiones rurales por cada 1.000 habitantes rurales así: de las series históricas de las extorsiones registradas en la zona rural (2016-2020), se realizó la sumatoria de los cinco años; luego, con base en las series de proyección de población municipal del DANE (2020) y de los microdatos del *Censo nacional de población y vivienda 2018*, se tomó la población por municipio proyectada al 2020, que se encuentra discriminada entre cabecera y resto. Se extrajo la información del ámbito geográfico denominado *resto* y se asoció a la población rural para este año. De los dos cálculos, relacionó la sumatoria del número de extorsiones rurales sobre el promedio de habitantes en zona rural y se proyectó como índice por cada 1.000 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 se les asignó aptitud alta (A1); para el segundo grupo, se aplicó el método estadístico *k*-medias, que permite agrupar los datos para que sean muy similares entre los individuos 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, parten 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; al grupo restante con el mayor número de delitos por habitantes, se le asignó un rango de *aptitud baja* (A3). Los rangos de aptitud definidos fueron los siguientes: *aptitud alta* (A1), para los municipios donde no se había reportado el delito (0); *aptitud media* (A2), para los municipios del resultado del primer clúster, donde se habían reportado hasta 0,1852 casos de extorsiones rurales por cada 1.000 habitantes rurales; *aptitud baja* (A3), para los municipios del resultado del segundo clúster, donde se habían reportado más de 0,1852 casos de extorsiones rurales por cada 1.000 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 1.000 habitantes	Aptitud
Sin ocurrencia del delito	Alta (A1)
≤0,1852	Media (A2)
>0,1852	Baja (A3)

Unidad de análisis

Tasa de extorsiones rurales por cada 1.000 habitantes.

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. Bogotá, Colombia: 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. Bogotá, Colombia: Congreso de la República de Colombia.

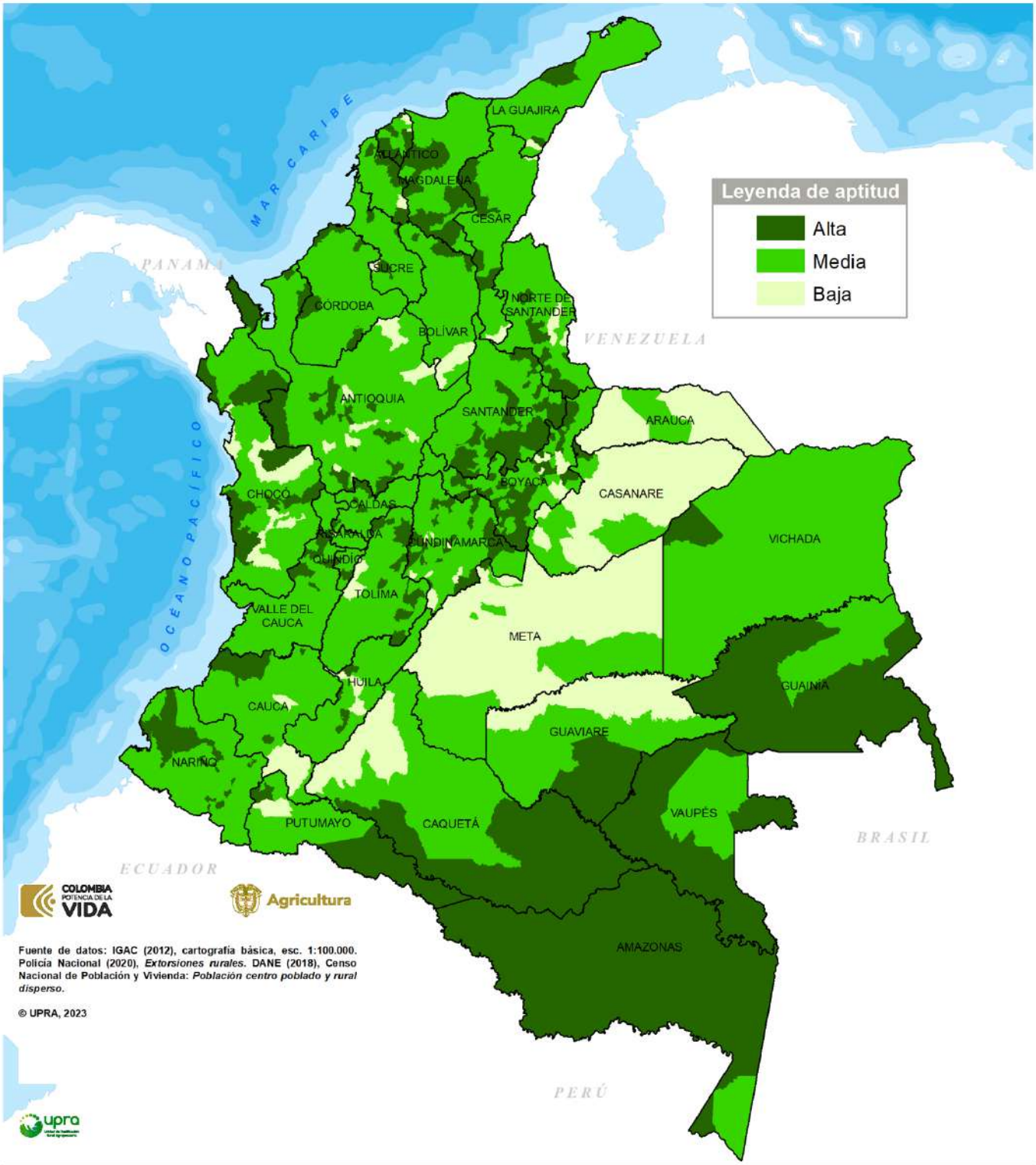
Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2018). *Censo nacional de población y vivienda 2018: población centro poblado y rural disperso*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: 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). Berkeley (California), United States of America: Statistical Laboratory of the University of California. Recuperado de https://n9.cl/84in9x

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

Representación cartográfica de la variable



Criterio *seguridad ciudadana*

Variable *extorsiones rurales*

3.7.4. Variable *secuestros rurales*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* l.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: socioeconómico. Subcomponente: social		
Criterio asociado: *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). Esta práctica delictiva y recurrente tiene como finalidad no sólo obtener un provecho económico, sino también a conducir a un grupo o una persona a ejecutar actos para beneficio del delincuente. Por lo tanto, se considera *secuestro* cuando, con fines lucrativos, se retiene a una persona o simplemente se le impide su movilización.

Importancia de la variable

La producción en el sector rural se ha visto especialmente 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, la integridad de la población, 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 contaron con registros para algunos municipios. Estos municipios, bajo el principio de precaución, se asimilaron al registro cero y por tanto 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

Esta variable se inició a construir al relativizar la información del número de secuestros en zona rural respecto a la población de cada municipio. Para ello, se calculó el índice de secuestros rurales por cada 1.000 habitantes rurales así: de las series históricas de los secuestros registradas en la zona rural (2016-2020), se realizó la sumatoria de los cinco años; luego, con base en las series de proyección de población municipal del DANE (2020) y de los microdatos del *Censo nacional de población y vivienda 2018*, se tomó la población por municipio proyectada al 2020, que se encuentra discriminada entre cabecera y resto. Se extrajo la información del ámbito geográfico denominado *resto* y se asoció a la población rural para este año. De los dos cálculos, relacionó la sumatoria del número de secuestros rurales sobre el promedio de habitantes en zona rural y se proyectó como índice por cada 1.000 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; mientras que para el segundo grupo se aplicó el método estadístico *k*-medias, el cual permite agrupar los 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, parten 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 para los municipios que durante el período analizado tenían en promedio 1 o más delitos.

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 1.000 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 identificados fueron los siguientes: *aptitud alta* (A1), para los municipios donde no se había reportado el delito (0); *aptitud media* (A2), para los municipios del resultado del primer clúster, donde se habían reportado hasta 0,0564 casos de secuestros rurales por cada mil habitantes rurales; *aptitud baja* (A3), para los municipios del resultado del segundo clúster, donde se habían reportado más de 0,0564 casos de secuestros rurales por cada 1.000 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 en al siguiente tabla:

Tasa de secuestros rurales por cada 1.000 habitantes	Aptitud
Sin ocurrencia del delito	Alta (A1)
≤0,0564	Media (A2)
>0,0564	Baja (A3)

Unidad de análisis

Tasa de secuestros rurales por cada 1.000 habitantes.

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. Bogotá, Colombia: 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*. Bogotá. Colombia: Congreso de la República de Colombia. Diario Oficial 46.015.

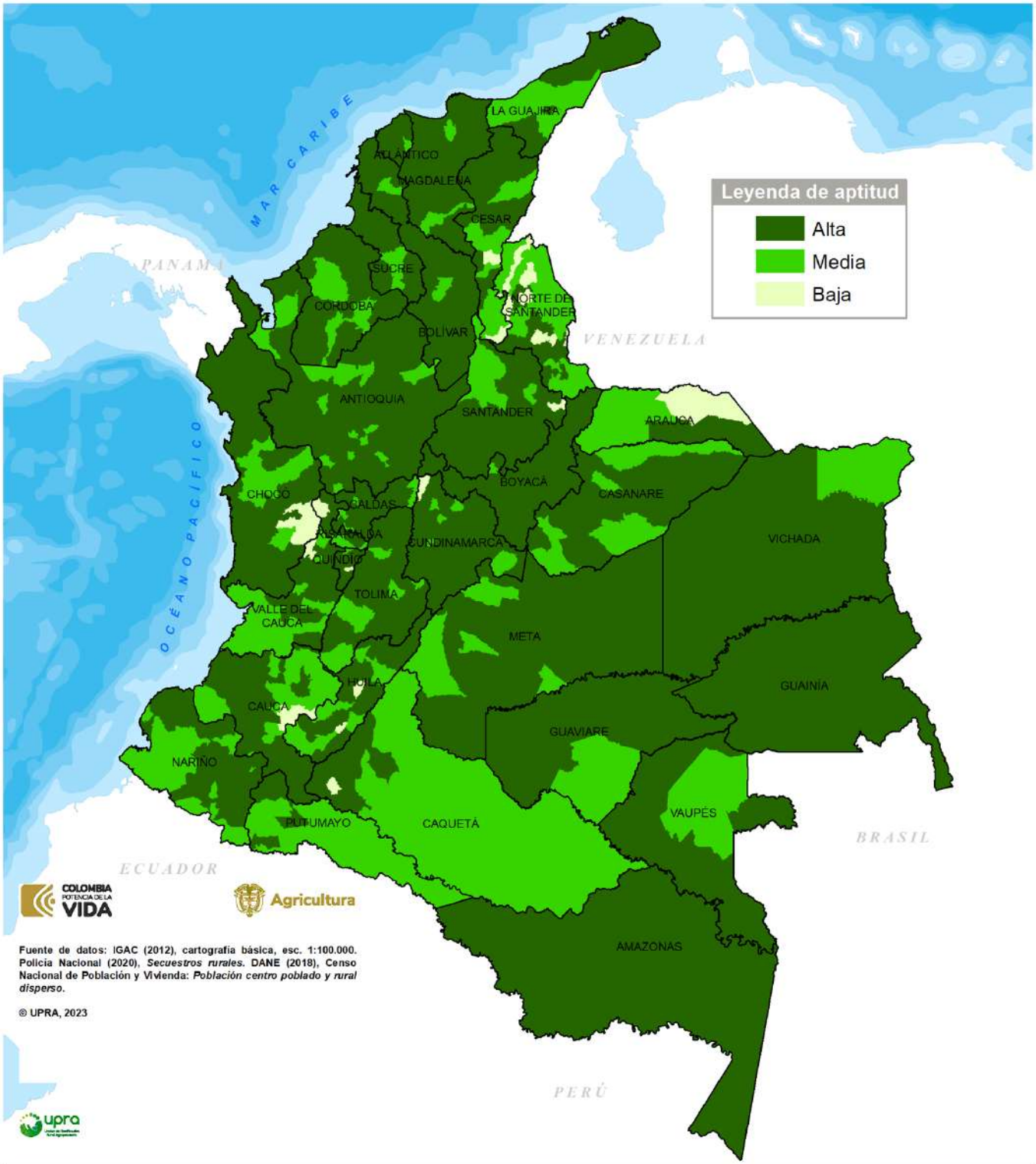
Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2018). *Censo nacional de población y vivienda 2018: población centro poblado y rural disperso*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2019). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: 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). Berkeley (California), United States of America: Statistical Laboratory of the University of California. Recuperado de https://n9.cl/84in9x

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

Representación cartográfica de la variable



Criterio *seguridad ciudadana*
Variable *secuestros rurales*

4. Fichas metodológicas de exclusiones legales

4.1 Criterio *exclusiones legales*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: socioecosistémico		
Criterio: *exclusiones legales*		
Tipo de criterio asociado	Exclusión técnica	
	Análisis jerárquico	
	Exclusión legal	✓
	Condicionante legal	

Variables asociadas al criterio

Ecosistemas estratégicos: corresponden a los polígonos de páramos.

Áreas protegidas: corresponden a los polígonos de áreas del sistema de parques nacionales naturales; polígonos de parques naturales regionales; 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).

Otras áreas protegidas locales: según el plan básico de ordenamiento territorial (PBOT) del municipio Puerto López de 2017 y el Acuerdo 12 de Cormacarena de 2012, se establecen como exclusiones los bosques de galería, las rondas de caño y ríos secundarios *buffer* de 30 metros; las rondas principales *buffer* de 100 metros; el parque municipal Yucao; la reserva natural del alto de Menegua; y las microcuencas que surten acueductos.

Áreas urbanas: áreas conformadas por conjuntos de edificaciones y estructuras contiguas agrupadas en manzanas censales que por lo general cuentan con una dotación de servicios esenciales tales como acueducto, alcantarillado, energía eléctrica, hospitales, colegios, entre otros. En esta categoría están incluidas las cabeceras municipales y los centros poblados (DANE, 2018).

Parques arqueológicos: áreas arqueológicas protegidas declaradas mediante resolución, las cuales han sido adaptadas para recibir visitantes y 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. 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: corresponden a los polígonos identificados como zonas tipo A de las zonas de reserva forestal nacional (ZRFN).

Definición

Son zonas en las cuales, por mandato legal, no se permite el desarrollo de actividades agrícolas productivas. Las siguientes zonas son excluidas del proceso de zonificación de aptitud: los ecosistemas estratégicos (páramos); las áreas protegidas, que comprenden las áreas del sistema nacional de parques nacionales naturales, los parques naturales regionales, las reservas forestales protectoras, las zonas de preservación y la recuperación para la preservación del AMEM; otras áreas protegidas locales; las áreas urbanas, como 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 agrícola, dados los mandatos legales vigentes. Las consideraciones legales para la exclusión de la zonificación están dadas por los siguientes instrumentos normativos:

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 van en detrimento de éstos. Al respecto, el Consejo de Estado 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 estas 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 tales efectos, se considera, como referencia mínima, la cartografía contenida en el *Atlas de páramos de Colombia* del IAvH hasta tanto se cuente con cartografía a escala más detallada (Ley 1450 de 2011, artículo 202, parágrafo 1). La Sentencia C-035 de 2016, proferida por la Corte Constitucional, establece que, ante la vulnerabilidad y dificultad de recuperación de los ecosistemas de páramo, el Estado tiene la obligación de brindar una protección más amplia y especial, dirigida a preservar este tipo de ecosistema. Esta norma es pertinente no sólo porque es un tipo de bioma que no es común en el mundo, sino también por los importantes servicios ambientales que presta, sumado al hecho según el cual 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, 2018), se ha avanzado en la zonificación de los páramos delimitados en relación con las actividades agropecuarias que se venían desarrollando con anterioridad al 16 de junio de 2011 al interior de estas áreas. Para ello, se realizé el diseño de los programas de sustitución y reconversión de las actividades agropecuarias, la capacitación y puesta en marcha de estos programas a cargo del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural a través de 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

Forman parte del Sistema nacional de áreas protegidas (Sinap) y están integradas por los tipos de áreas consagrados en el artículo 329 del 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. Incluye los 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 artículo 30 del 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 conformidad con el Decreto 2372 de 2010, se consideran espacios geográficos cuyos paisajes y ecosistemas estratégicos, en la escala regional, mantienen su estructura, composición y función, así como los procesos ecológicos y evolutivos que los sustentan y cuyos valores naturales y culturales asociados se ponen al alcance de la población humana para destinarlos a su preservación, restauración, conocimiento y disfrute.

Reservas forestales protectoras

Según el Decreto 2372 de 2010, compendiado en el Decreto 1076 de 2015, único del sector ambiental, se consideran espacios geográficos cuyos ecosistemas de bosque mantienen su función, aunque la estructura y composición hayan sido modificadas y cuyos valores naturales asociados se hayan puesto al alcance de la población humana para destinarlos a la preservación, uso sostenible, restauración, conocimiento y disfrute. Estas zonas de propiedad pública o privada se reservan para destinarlas al establecimiento o mantenimiento y utilización sostenible de los bosques y demás coberturas vegetales naturales.

Otras áreas protegidas locales

De conformidad con el Plan básico de ordenamiento territorial (PBOT) del municipio de Puerto López de 2017 y el Acuerdo 12 de 2012 de Cormacarena, se establecen como exclusiones los bosques de galería; las rondas de caño y ríos secundarios *buffer* de 30 metros; las rondas principales *buffer* de 100 metros; el parque municipal Yucao; la reserva natural del alto de Menegua; y las microcuencas que surten acueductos.

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», entre la zonificación de estas áreas se definen zonas para la preservación y recuperación para la preservación en los distritos de manejo integrado que hacen parte del AMEM. Las zonas identificadas como exclusiones son las siguientes: la recuperación para la preservación sur; la recuperación para la preservación norte; la vertiente oriental; y la serranía de La Lindosa.

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.

Áreas urbanas

Áreas conformadas por conjuntos de edificaciones y estructuras contiguas agrupadas en manzanas censales que suelen contar con servicios esenciales, como acueducto, alcantarillado, energía eléctrica, hospitales, colegios, entre otros. En esta categoría están incluidas las siguientes áreas: cabeceras municipales, áreas geográficas definida por un perímetro urbano, cuyos límites se establecen por acuerdos del concejo municipal y donde se ubica la sede administrativa de un municipio (DANE, 2018); centro poblado, una concentración mínima de veinte viviendas contiguas, vecinas o adosadas entre sí, ubicadas en el área *resto municipal* o en un área no municipalizada (corregimiento departamental) y que contempla los núcleos de población de los corregimientos municipales, inspecciones de policía y caseríos.

Parques arqueológicos

Los parques arqueológicos son áreas arqueológicas protegidas, declaradas mediante una resolución, que han sido adaptados para recibir visitantes y se encuentran bajo tutela del Icanh, lo cual permite que se realicen 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 de manejo arqueológico 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, zonas 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: la ZRFN del Pacífico; la ZRFN central; la ZRFN del río Magdalena; la ZRFN de la Sierra Nevada de Santa Marta; la ZRFN de la serranía de Los Motilones; la ZRFN del Cocuy; y la ZRFN de la Amazonia.

La zonificación adelantada por el MADS en las ZRFN definió tres zonas tipo: A, B y C, de 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».

Limitantes de la evaluación del criterio

Cada factor evaluado presentó limitantes por las características que imposibilitan generalizar este aspecto. En cuanto a los ecosistemas estratégicos, las áreas delimitadas corresponden al complejo de páramos y abarca grandes extensiones que incluyen zonas con algún grado de aptitud. Así pues, se debe actualizar esta exclusión con la información resultante de las zonificaciones de los páramos o ajustes que adelanta el MADS con IAvH.

Respecto a las áreas protegidas, la principal limitante se asoció a la dinámica, ya que, constantemente, se están creando nuevas áreas. Sobre este aspecto, es necesario resaltar que dentro de los criterios condicionantes legales se evaluó la figura *zonas de protección y desarrollo de los recursos* (tanto de carácter regional como nacional), en las cuales queda implícito que, en el futuro, una parte de estas áreas será elevada a la categoría de *área protegida*, lo que significa que cambia de condicionante a exclusión legal. Esto implica 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 desconoció la posibilidad de que se requiriera 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 de conformidad con la normatividad vigente (Resolución 1922 de 2013, que corresponde a la adopción de la zonificación de la Zona de Reserva Forestal Central). Como todas las áreas son susceptibles de solicitud de sustracción, la información que proviene de este insumo deberá ser actualizada en función de las nuevas sustracciones realizadas en las reservas.

Valor de ponderación del criterio

No aplica para este criterio.

Metodología de evaluación

La metodología de evaluación se fundamentó en un análisis profundo de las normas vigentes. Para 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 que identificara 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.

Fuentes de información

Alcaldía Municipal de Puerto López (2017). *PBOT, Acuerdo 12, Cormacarena*. Puerto López (Meta), Colombia: Alcaldía Municipal de Puerto López.

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)*. Villavicencio (Meta), Colombia. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena (Cormacarena).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2014). *Marco geoestadístico nacional: cabeceras municipales y centros poblados*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Instituto Colombiano de Antropología e Historia (2019). *Parques arqueológicos*. Bogotá, Colombia: 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*. Bogotá. Colombia: 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*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

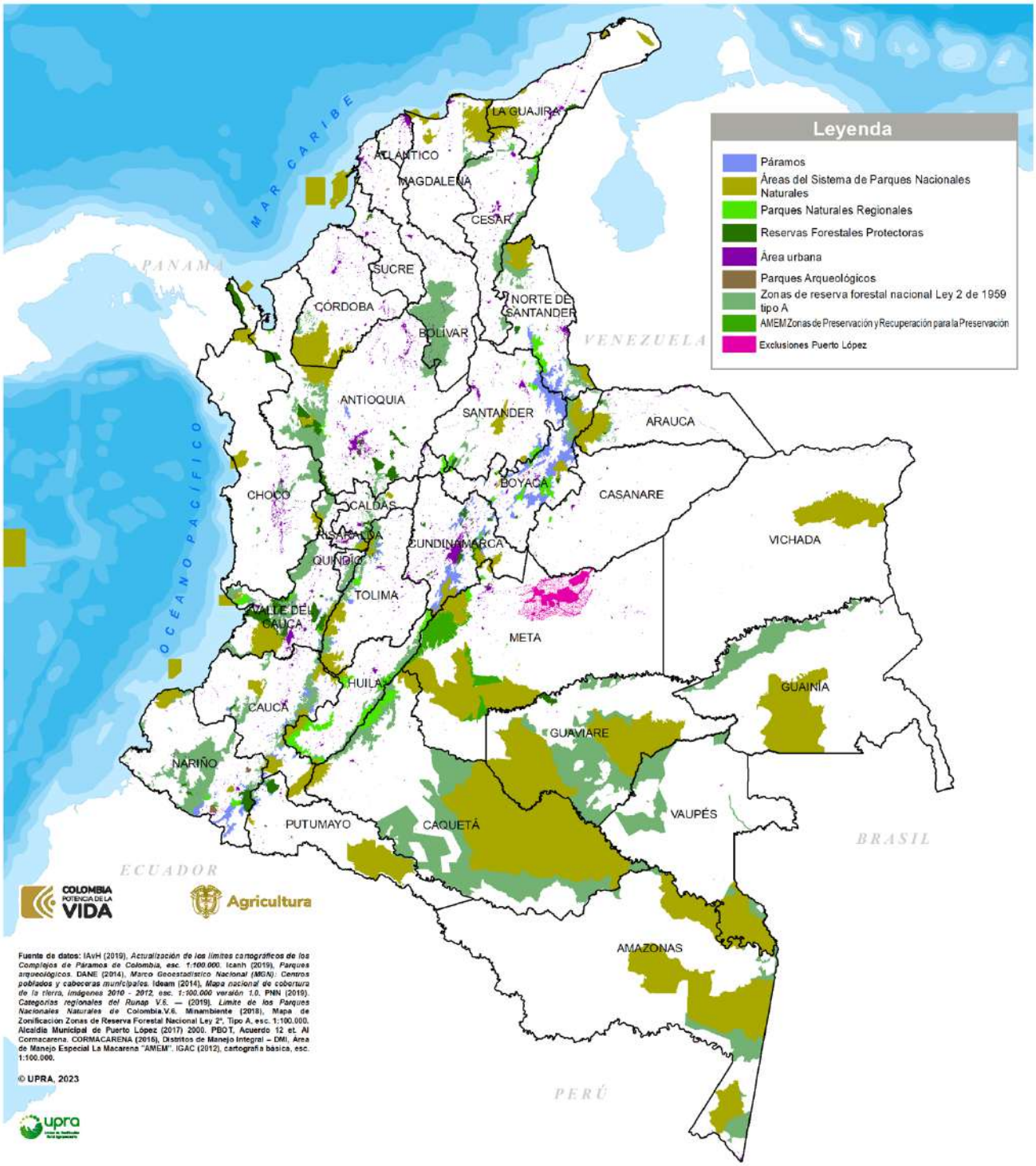
Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018). *Mapa de zonificación de zonas de reserva forestal nacional Ley 2ª, tipo A, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Parques Nacionales Naturales de Colombia (2019a). *Categorías regionales del Runap V.6*. Bogotá, Colombia: Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNN).

Parques Nacionales Naturales de Colombia (2019b). *Límite de los parques nacionales naturales de Colombia V.6*. Bogotá, Colombia: Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNN).

Representación cartográfica del criterio



Criterio *exclusiones legales*

4.1.1.1 Variable *ecosistemas estratégicos (páramos)*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
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. Prestan bienes y servicios ecológicos importantes, como la regulación del clima y de la humedad; la provisión de agua para abastecer 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).

Importancia de la variable

Para los propósitos de la zonificación de aptitud para la producción de maíz tradicional, 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 por la prestación de bienes y servicios ecológicos esenciales para el hombre, así que constituyen el máximo nivel de restricción al uso.

La zonificación consideró como ecosistemas estratégicos los páramos, por lo que deberán ser excluidos. Las consideraciones legales para la exclusión se determinaron según las siguientes normas:

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 van en detrimento de éstos. Al respecto, el Consejo de Estado 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 estas 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 tales efectos, se considera, como referencia mínima, la cartografía contenida en el *Atlas de páramos de Colombia* del IAvH hasta tanto se cuente con la cartografía a escala más detallada (Ley 1450 de 2011, artículo 202, parágrafo 1).

La Sentencia C-035 de 2016, proferida por la Corte Constitucional, establece que, ante la vulnerabilidad y dificultad de recuperación de los ecosistemas de páramo, el Estado tiene la obligación de brindar una protección más amplia y especial, dirigida a preservar este tipo de ecosistema. Esta norma es pertinente no sólo porque es un tipo de bioma que no es común en el mundo, sino también por los importantes servicios ambientales que presta, sumado al hecho según el cual en la actualidad es un ecosistema sometido a intervenciones negativas o disturbios que afectan su pervivencia.

De acuerdo con la Resolución 886 de 2018, se ha avanzado en la zonificación de los páramos delimitados en relación con las actividades agropecuarias que se venían desarrollando con anterioridad al 16 de junio de 2011 en estas áreas. Para ello, se diseñaron los programas de sustitución y reconversión de las actividades agropecuarias, la capacitación y la puesta en marcha de estos programas a cargo del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural a través de la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA), la Agencia Nacional de Desarrollo Rural (ADR), la Agencia Nacional de Tierras (ANT) y demás entidades adscritas.

Valor de exclusión
No aplica, por tratarse de una exclusión legal (N2).

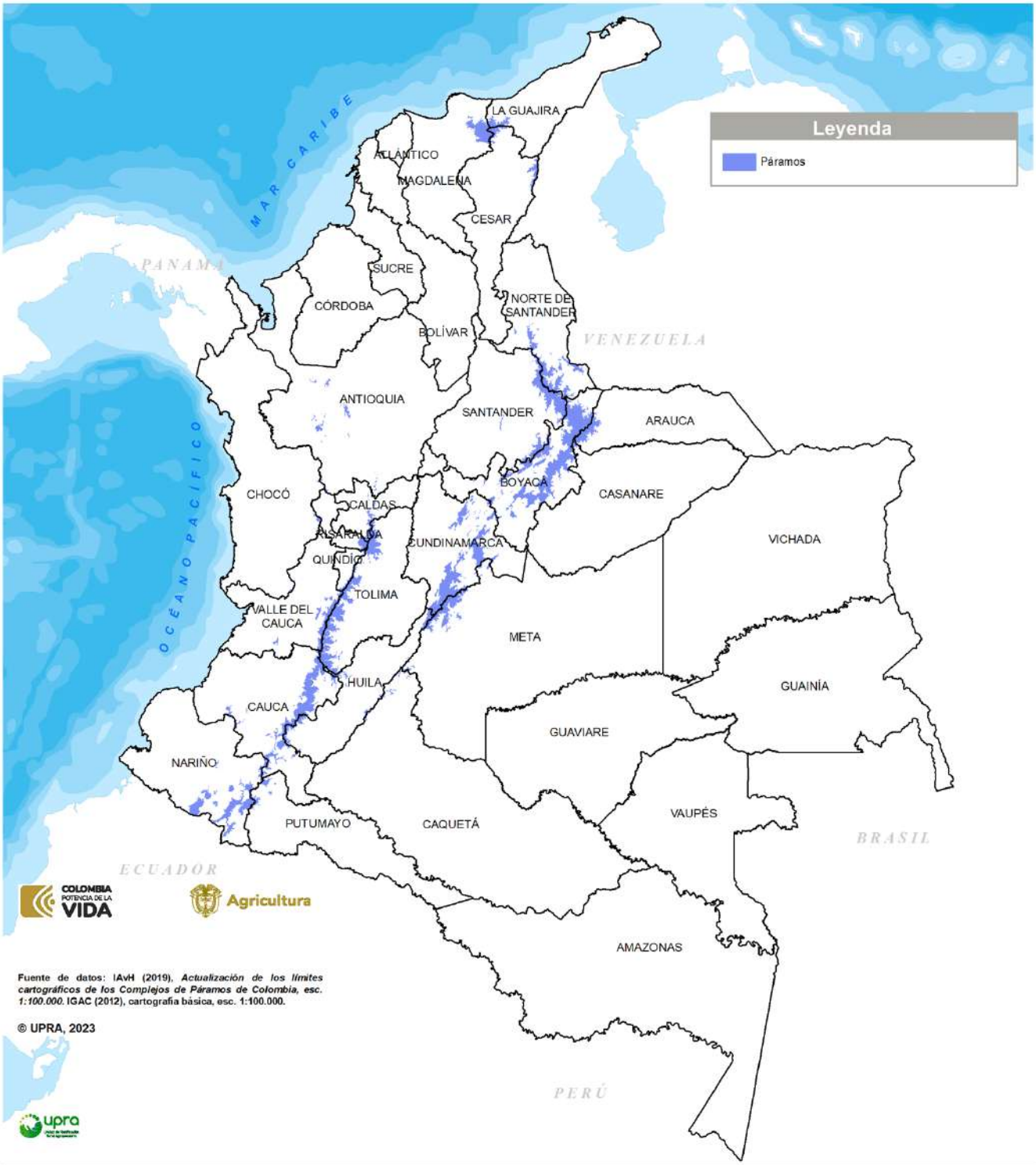
Limitantes de la evaluación
Las áreas delimitadas correspondieron al complejo de páramos y abarcaron grandes extensiones que pueden incluir zonas con algún grado de aptitud. Se debe actualizar esta exclusión con la información resultante de las zonificaciones de los páramos o ajustes que adelanta el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible con el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).

Unidad de análisis
Polígonos de páramos.

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*. Bogotá. Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Representación cartográfica de la variable



Criterio *exclusiones legales*
Variable *ecosistemas estratégicos (páramos)*

4.1.2. Variable *áreas protegidas*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
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 la siguientes:

Áreas del Sistema de parques nacionales naturales

Forman parte del Sistema nacional de áreas protegidas (Sinap) y están integradas por los tipos de áreas consagrados en el artículo 329 del 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 los 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 artículo 30 del 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 conformidad 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, así como los procesos ecológicos y evolutivos que los sustentan y cuyos valores naturales y culturales asociados se ponen al alcance de la población humana para destinarlos a la preservación, la restauración, el conocimiento y el disfrute.

Reservas forestales protectoras

Según el Decreto 2372 de 2010, compendiado en el Decreto 1076 de 2015, único del sector ambiental, se consideran espacios geográficos cuyos ecosistemas de bosque mantienen su función, aunque la estructura y composición hayan sido modificadas y cuyos valores naturales asociados se hayan puesto al alcance de la población humana para destinarlos a su preservación, uso sostenible, restauración, conocimiento y disfrute. Estas zonas de propiedad pública o privada se reservan para destinarlas al establecimiento o mantenimiento y utilización sostenible de los bosques y demás coberturas vegetales naturales.

Zonas de preservación y restauración para la preservación del área de manejo especial de La Macarena (ANEM)

Según el Decreto 1989 de 1989, se definen zonas para la preservación y recuperación para la preservación en los distritos de manejo integrado que hacen parte del AMEM las zonas identificadas como exclusiones: la recuperación para la preservación sur; la recuperación para la preservación norte; la vertiente oriental; y la serranía de La Lindosa. 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.

Importancia de la variable

Para los propósitos de la zonificación de aptitud para la producción de maíz tradicional, 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 nuevas áreas. Al respecto, cabe resaltar que dentro de los criterios condicionantes legales se evaluó la figura *zonas de protección y desarrollo de los recursos*, tanto de carácter regional como nacional. En ellas queda implícito que en el futuro es posible que una parte pueda convertirse en un área protegida, lo que significa que cambia de condicionante a exclusión legal. Esto implica que hay que 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; y polígonos de las reservas forestales protectoras.

Fuentes de información

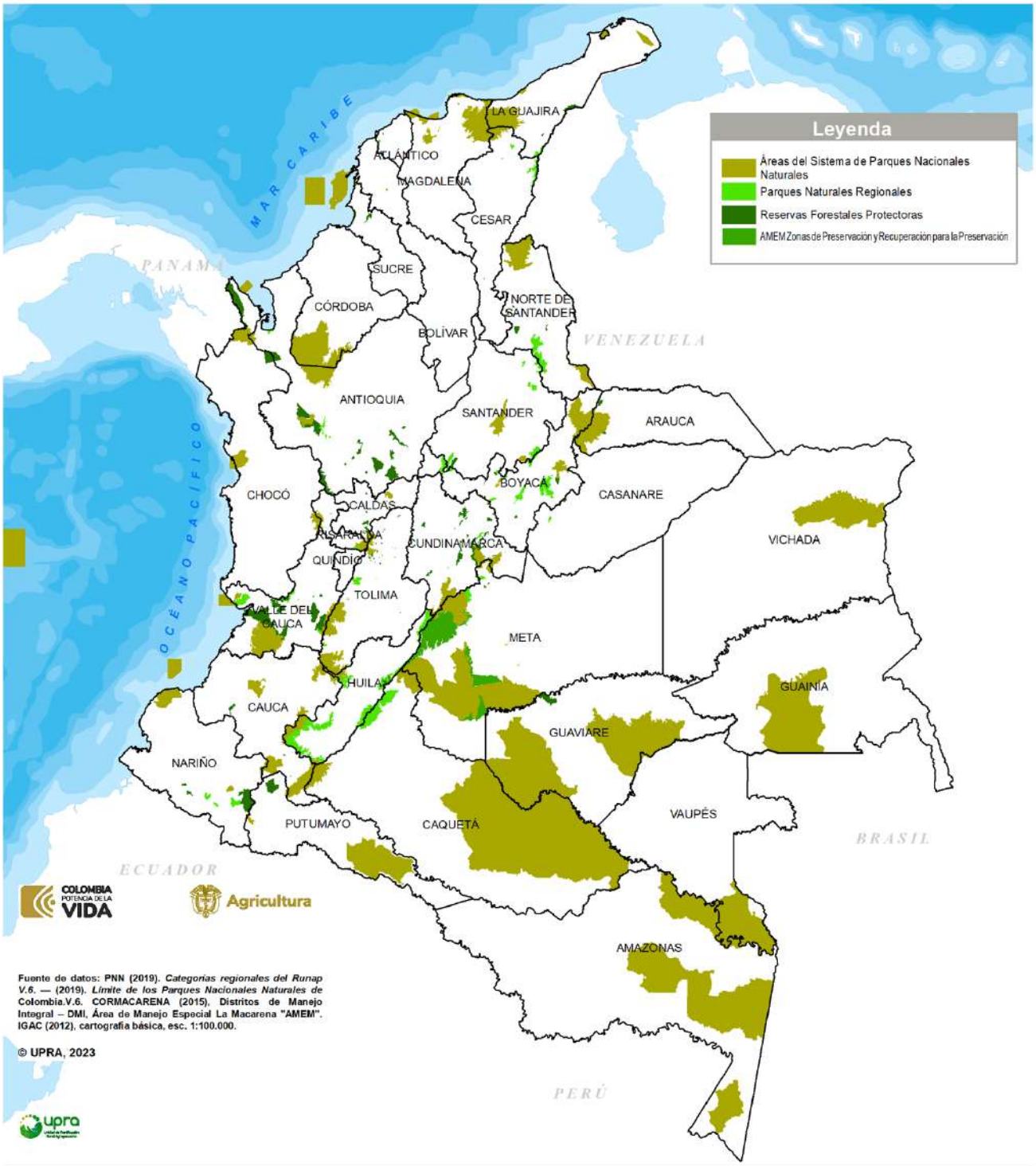
Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena (2015). *Distritos de Manejo Integrado (DMI), Área de Manejo Especial La Macarena (AMEM)*. Villavicencio (Meta), Colombia. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena (Cormacarena).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Parques Nacionales Naturales de Colombia (2019a). *Categorías regionales del Runap V.6*. Bogotá, Colombia: Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNN).

Parques Nacionales Naturales de Colombia (2019b). *Límite de los parques nacionales naturales de Colombia V.6*. Bogotá, Colombia: Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNN).

Representación cartográfica de la variable



Criterio *exclusiones legales*
Variable *áreas protegidas*

4.1.3. Variable *otras áreas protegidas locales*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Criterio asociado: exclusiones legales		
Variable: *otras áreas protegidas locales*		
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:

Otras áreas protegidas locales:

De conformidad con el PBOT del municipio de Puerto López de 2017 y el Acuerdo 12 de 2012 de Cormacarena, se establecieron como exclusiones las siguientes áreas: los bosques de galería; las rondas de caño y los ríos secundarios *buffer* de 30 metros, las rondas principales *buffer* de 100 metros; el parque municipal Yucao; la reserva natural del alto de Menegua; y las microcuencas que surten acueductos.

Importancia de la variable

Para los propósitos de la zonificación de aptitud de la producción de maíz tradicional, las áreas protegidas representaron 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.

Unidad de análisis

Zonas de protección declaradas en el PBOT de Puerto López.

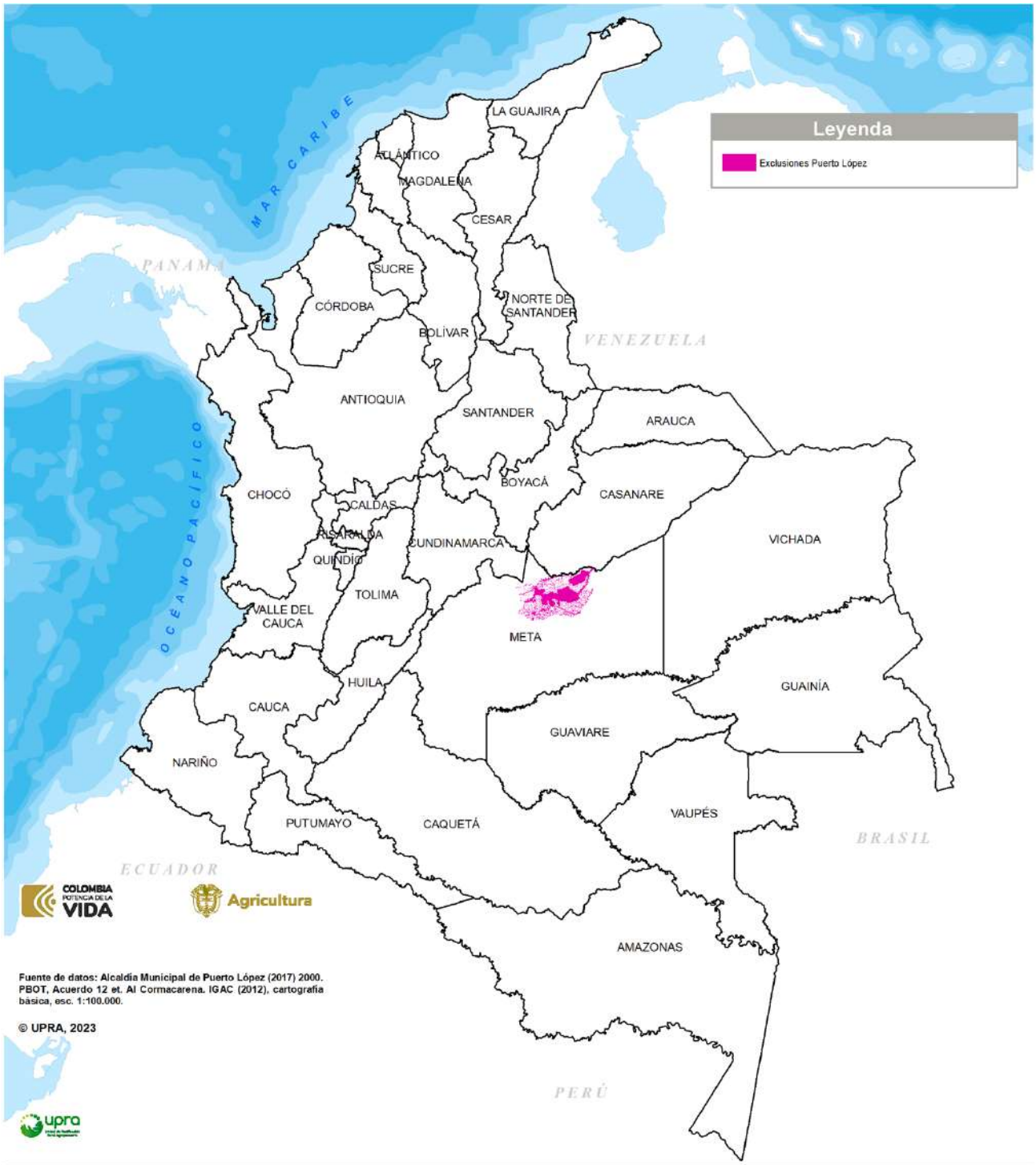
Fuentes de información

Alcaldía Municipal de Puerto López (2017). *PBOT, Acuerdo 12, Cormacarena*. Puerto López (Meta), Colombia: Alcaldía Municipal de Puerto López.

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)*. Villavicencio (Meta), Colombia. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena (Cormacarena).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Representación cartográfica de la variable



Criterio *exclusiones legales*

Variable *otras áreas protegidas locales*

4.1.4. Variable *áreas urbanas*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Criterio asociado: exclusiones legales		
Variable: *áreas urbanas*		
Tipo de criterio asociado	Análisis jerárquico	
	Condicionante legal	
	Exclusión técnica	
	Exclusión legal	✓

Definición

Son áreas conformadas por conjuntos de edificaciones y estructuras contiguas agrupadas en manzanas censales que suelen contar con una dotación de servicios esenciales, como acueducto, alcantarillado, energía eléctrica, hospitales y colegios. En esta categoría están incluidas las cabeceras municipales y los centros poblados (DANE, 2018), por lo cual no pueden ser objeto de actividades agrícolas. Las cabeceras municipales son áreas geográficas que están definidas por un perímetro urbano, cuyos límites se establecen por acuerdos del concejo municipal y donde se ubica la sede administrativa de un municipio; los centros poblados son la concentración mínima de veinte viviendas contiguas, vecinas o adosadas entre sí, ubicada en el área *resto municipal* o en un área no municipalizada (corregimiento departamental), la cual contempla los núcleos de población de los corregimientos municipales, inspecciones de policía y caseríos.

Importancia de la variable

Establece la posibilidad de identificar las áreas que, por ser destinadas a usos urbanos, no son aptas para el establecimiento y desarrollo de actividades productivas agropecuarias, de acuerdo con los lineamientos establecidos por la Ley 388 de 1997.

Valor de exclusión de la variable

No aplica por tratarse de una exclusión legal.

Limitantes de evaluación de la variable

La escala cartográfica para el tratamiento de los datos fue de 1:100.000. En este sentido, se recomienda consultar las clases y categorías de usos del suelo establecidas en los planes de ordenamiento territorial (POT) determinados por los municipios, previo al desarrollo de la actividad productiva.

Metodología de procesamiento de la información

Precisiones de la información

La información del DANE correspondió a las clases 1 (urbano) y 2 (centro poblado) de la posición 6 del código del Marco Geoestadístico Nacional (MGN), como se muestra a continuación:

Confirmación del código del Marco Geoestadístico Nacional



Los datos tomados del mapa de coberturas del Ideam correspondieron a los polígonos clasificados como territorios artificializados. En Colombia, existen 1112 áreas urbanas que corresponden a cabeceras municipales, áreas metropolitanas o centros poblados. De este grupo, 145 tienen una extensión igual o inferior a las 25 hectáreas, es decir: a la escala cartográfica de trabajo no son visibles.

Unidad de análisis

Polígonos correspondientes a cabeceras municipales y centros poblados.

Fuentes de información

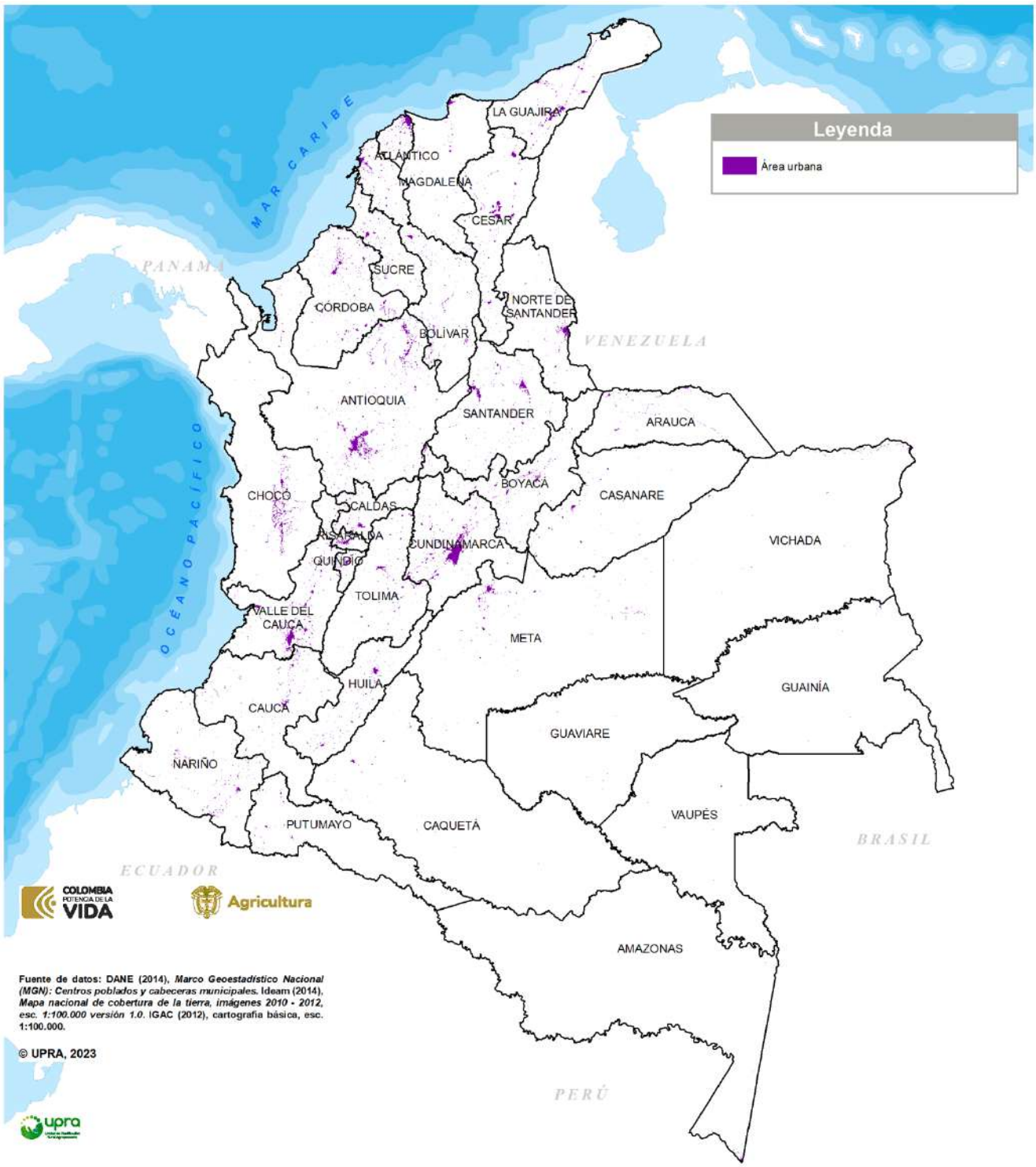
Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2014). *Marco Geoestadístico Nacional (MGN): centros poblados y cabeceras municipales*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2018). *Manual de uso del Marco Geoestadístico Nacional en el proceso estadístico*. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Recuperado de https://n9.cl/8ajtr

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*. Bogotá, Colombia: 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).

Representación cartográfica de la variable



Criterio *exclusiones legales*

Variable *áreas urbanas*

4.1.5. Variable *parques arqueológicos*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
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, los cuales han sido adaptadas para recibir visitantes y 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. 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). El *plan de manejo arqueológico* es un concepto técnico emitido o aprobado por la autoridad competente sobre los contextos arqueológicos, bienes muebles e inmuebles del patrimonio o zonas de influencia arqueológica. Establece oficiosamente o a solicitud de sus tenedores los niveles permitidos de intervención, condiciones de manejo y planes de divulgación (numeral 10, artículo 1, 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 de esta área geográfica. Además, el Decreto 833 de 2002, que reglamenta la Ley General de Cultura 397 de 1997 en materia de patrimonio arqueológico, en concordancia con los artículos 63 y 72 de la Constitución Política de Colombia, 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 lo anterior, se debe tener en cuenta que la condición de *inembargables*, *imprescriptibles* e *inalienables*, de acuerdo con las leyes 397 del 1997 y 1185 del 2008, hacen referencia a los bienes que son de interés cultural aunque son de propiedad de entidades públicas.

Valor de exclusión de la variable

No aplica, por tratarse de una exclusión legal (N2).

Limitantes de evaluación de la variable

No se contemplaron los parques arqueológicos que hayan sido declarados, pero carezcan de espacialización cartográfica por parte del Icanh. Prescindir de esta información en la zonificación de aptitud no desconoció la posibilidad de que se requiriera 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 analizados provinieron de la información cartográfica facilitada por el Icanh (2019) en cuanto a los parques arqueológicos declarados. Los parques arqueológicos definidos como exclusiones se relacionan en la 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	—	—

Fuentes de información

Instituto Colombiano de Antropología e Historia (2019). *Parques arqueológicos*. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Antropología e Historia (Icanh).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Representación cartográfica de la variable



Criterio *exclusiones legales*
Variable *parques arqueológicos*

4.1.6. Variable *zonas de reserva forestal nacional, Ley 2 de 1959, zonas tipo A*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Criterio asociado: *exclusiones legales*		
Variable: *Zonas de reserva forestal nacional, Ley 2 de 1959, zonas 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 la protección de los suelos, las aguas y la vida silvestre, mediante la Ley 2 de 1959. Se compone de siete reservas forestales nacionales: la ZRFN del Pacífico; la ZRFN central; la ZRFN del río Magdalena; la ZRFN de la Sierra Nevada de Santa Marta; la ZRFN de la serranía de los Motilones; la ZRFN del Cocuy; y la 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 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 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible adoptó la zonificación y ordenamiento de las reservas forestales nacionales mediante las siguientes resoluciones:

- Resolución 1922 de 2013, que adopta la zonificación y el ordenamiento de la reserva forestal central, establecida en la Ley 2 de 1959.
- Resolución 1923 de 2013, que adopta la zonificación y ordenamiento de la reserva forestal de la serranía de los Motilones, establecida en la Ley 2 de 1959.
- 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.
- 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, para los departamentos de Caquetá, Guaviare y Huila.

- Resolución 1926 de 2013, que adopta la zonificación y el ordenamiento de la reserva forestal del Pacífico, establecida en la Ley 2 de 1959.
- Resolución 1275 de 2014, que adopta la zonificación y el ordenamiento de la reserva forestal del Cocuy, establecida en la Ley 2 de 1959.
- 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.
- 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 ZRFN 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 la generación de la información cartográfica, se partió de las zonificaciones de cada una de las reservas forestales nacionales de Ley 2 de 1959 adelantadas por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible donde se identificaron las zonas tipo A.

Unidad de análisis

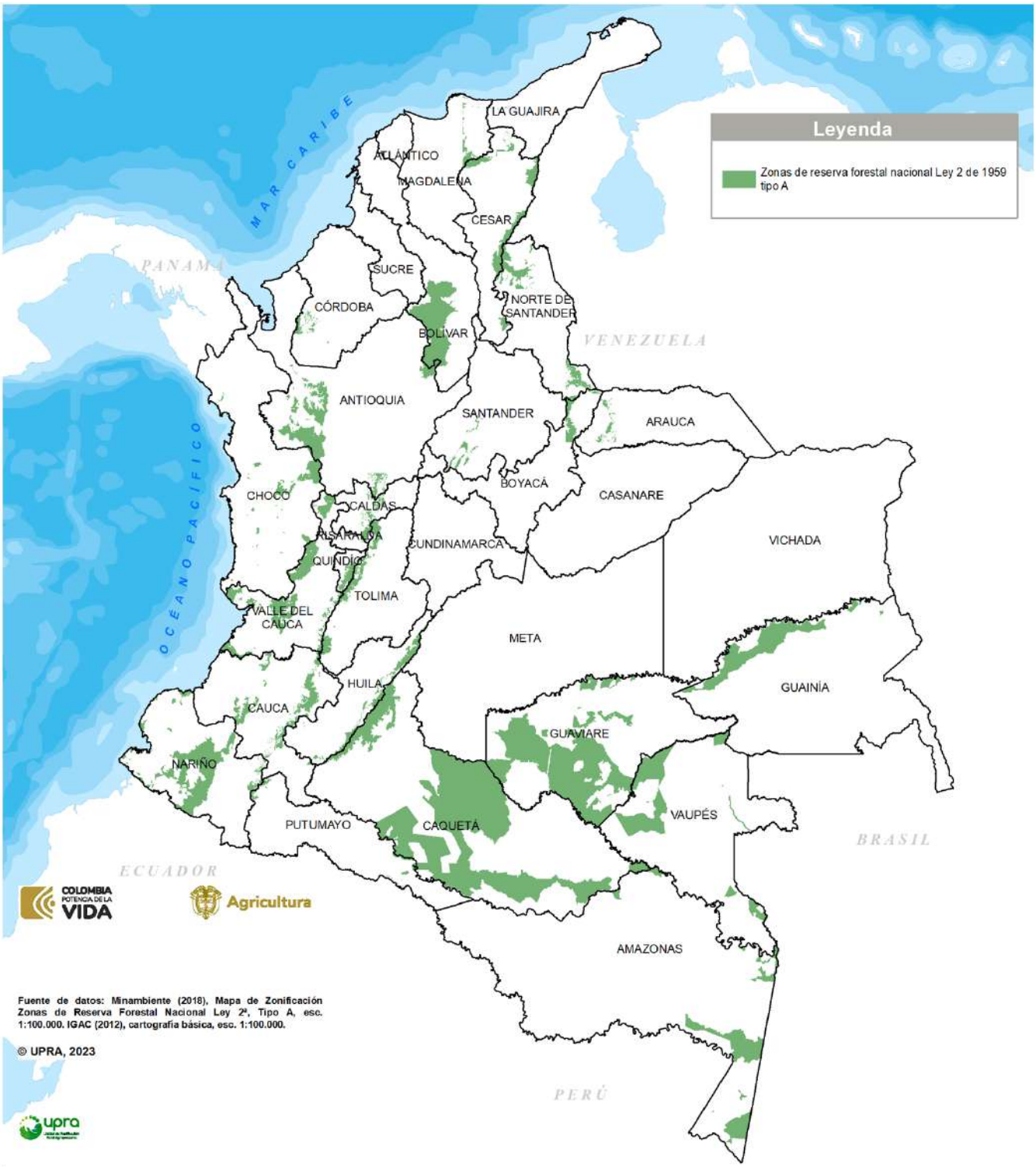
Polígonos que comprenden las áreas de reserva forestal nacional zonas tipo A.

Fuentes de información

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: 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*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Representación cartográfica de la variable



Criterio *exclusiones legales*

Variable *zonas de reserva forestal nacional, Ley 2 de 1959, zonas tipo A*

5. Fichas metodológicas de condicionantes legales

5.1 Criterio *condicionantes legales*

Ficha metodológica del criterio		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Componente: socioecosistémico		
Criterio: *condicionantes legales*		
Tipo de criterio asociado	Análisis jerárquico	
	Condicionante legal	✓
	Exclusión técnica	
	Exclusión legal	

Variables asociadas al criterio

Ecosistemas estratégicos (manglares, humedales, rondas hídricas y bosque seco tropical): polígonos de bosque seco tropical; polígonos de manglares; polígonos de humedales; y ronda hídrica.

Áreas protegidas: polígonos de distritos de manejo integrado (DMI); polígonos de zonas de producción y recuperación para la producción del AMEM; polígonos de distritos de conservación de suelos (DCS); polígonos de áreas de recreación; polígonos de reservas naturales de la sociedad civil; polígonos de zonas de protección; y desarrollo de los recursos naturales renovables y del medio ambiente.

Otras áreas protegidas locales: de acuerdo con el PBOT del municipio de Puerto López de 2017 y el Acuerdo 12 Cormacarena de 2012, se consideran como condicionantes las siguientes áreas: las lagunas; las zonas de amenaza y riesgo por inundación; zonas de amenaza y riesgos por deslizamientos; y el resguardo Humapo-La Victoria.

Zonas de reserva forestal nacional, Ley 2 de 1959, tipos B y C: polígonos de las zonas tipos B y C de las zonas de reserva forestal nacional.

Distinciones internacionales: polígonos de reservas de la biosfera y polígonos de humedales Convenio Ramsar.

Áreas de interés cultural y social: 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 de paisaje cultural cafetero; y polígonos de áreas arqueológicas protegidas.

Definición

Son zonas que, independientemente de la categoría de aptitud, requieren de un análisis complementario de tipo legal, social, cultural o ambiental para el establecimiento del cultivo del maíz tradicional.

Importancia del criterio

Los condicionantes legales agrupan todos los factores de orden ecológico o social 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 del territorio para su implementación. Por este motivo, requieren detalles adicionales que deben ser estudiados en conjunto con las autoridades ambientales competentes o con las comunidades allí establecidas. Es decir: las áreas bajo condicionantes podrán ser reclasificadas en la zonificación, dependiendo del nivel de conocimiento que se tenga en el futuro, de las solicitudes expresas de autoridades de ciertas áreas (territorios indígenas y afrocolombianos) o de la aclaración de determinantes legales que puedan ser incluidos en la evaluación.

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, y sólo exige el cumplimiento de los condicionantes legales o las líneas de política determinados en cada caso.

Metodología de evaluación

La metodología de evaluación consistió en analizar a profundidad las normas vigentes, revisar las fuentes y obtener la cartografía oficial de la información. Por medio de esta información fue posible identificar si en la zona de estudio se localizaba alguna de las variables que conformaron los condicionantes legales. De ser el caso, se espacializó y se generó el mapa correspondiente.

Rangos para la asignación de valores de aptitud

No aplicaron rangos para los condicionantes (C1).

Fuentes de información

Alcaldía Municipal de Puerto López (2017). *PBOT, Acuerdo 12, Cormacarena*. Puerto López (Meta), Colombia: Alcaldía Municipal de Puerto López.

Agencia Nacional de Tierras (2016). *Áreas reservadas para comunidades negras: Ley 70 de 1993*. Bogotá, Colombia: Agencia Nacional de Tierras (ANT).

Agencia Nacional de Tierras (2018a). *Consejos comunitarios de comunidades negras legalmente constituidos*. Bogotá, Colombia: Agencia Nacional de Tierras (ANT).

Agencia Nacional de Tierras (2018b). *Resguardos indígenas*. Bogotá, Colombia: Agencia Nacional de Tierras (ANT).

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)*. Villavicencio (Meta), Colombia. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena (Cormacarena).

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (2014). *Bosque seco tropical*. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Instituto Colombiano de Antropología e Historia (2019). *Áreas arqueológicas protegidas*. Bogotá, Colombia: 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*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012a). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012b). *Drenaje doble construido a partir de cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2018). *Zonas de reserva campesina legalmente constituidas*. Bogotá, Colombia: 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*. Bogotá, Colombia: 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*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018a). *Mapa de zonas de reserva forestal nacional Ley 2ª: sustracciones, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018b). *Mapa de zonificación: zonas de reserva forestal nacional de la Ley 2.ª, tipos B y C, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

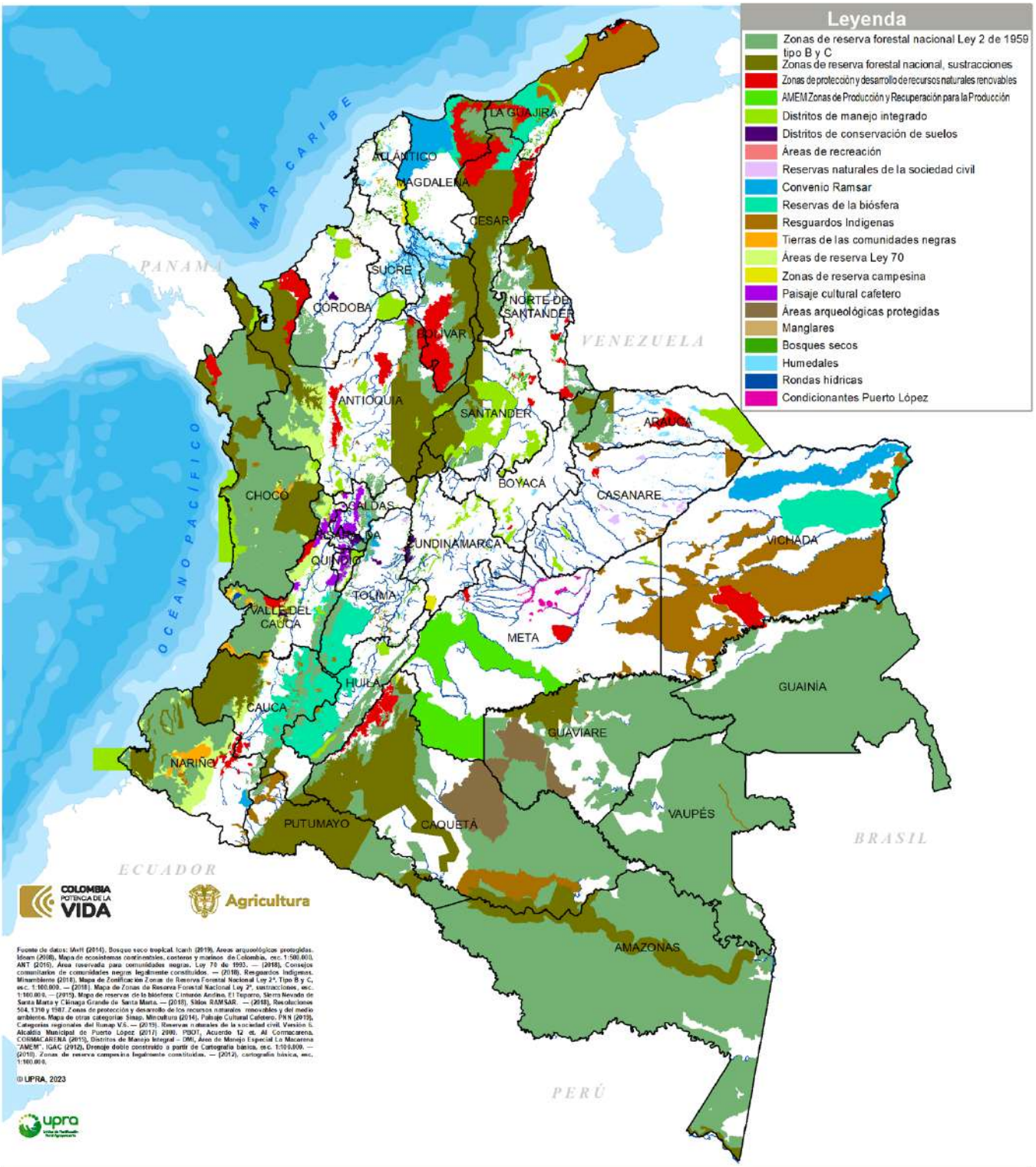
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018c). *Sitios Ramsar*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Ministerio de Cultura (2014). *Paisaje cultural cafetero*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Parques Nacionales Naturales de Colombia (2019a). *Categorías regionales del Runap V.6*. Bogotá, Colombia: Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNN).

Parques Nacionales Naturales de Colombia (2019b). *Límite de los parques nacionales naturales de Colombia V.6*. Bogotá, Colombia: Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNN).

Representación cartográfica del criterio



Criterio *condicionantes legales*

5.1.1 Variable *ecosistemas estratégicos (manglares, humedales, rondas hídricas y bosque seco tropical)*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Criterio asociado: *condicionantes legales*		
Variable: *ecosistemas estratégicos (manglares, humedales, rondas hídricas y bosque seco tropical)*		
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 su protección y conservación, debido a la importancia ecosistémica o al nivel de amenaza, y que son incompatibles con el establecimiento de cultivos de maíz tradicional. Las consideraciones definidas para esta variable se describen a continuación:

Los ecosistemas de manglar y los humedales son considerados zonas de importancia ambiental que se han priorizado para protección y conservación, debido al valor ecosistémico o al nivel de amenaza, por lo que son incompatibles con el establecimiento de cultivos de maíz tradicional. Desde una visión ambiental, el ecosistema de *manglar* reduce el impacto de las mareas, pues deposita barro y forma pantanos donde se fijan los organismos. También sirve como estabilizador de la línea costera, ya que ayuda a controlar la erosión y constituye una amortiguamiento natural 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 diversas familias, denominadas *mangle*, con otras plantas; con animales que habitan allí permanentemente o durante algunas fases de la vida; y con las aguas, los suelos y otros componentes del ambiente (Resolución 1602 de 1995, Minambiente). Para su conservación, el Ministerio del Medio Ambiente desarrolló el *Programa nacional para el uso sostenible, manejo y conservación de los ecosistemas de Manglar* en el año 2002. En términos económicos, el manglar es base de subsistencia de muchas comunidades en las costas colombianas, pues han utilizado la madera a pequeña escala y para uso local. Igualmente, 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 del manglar y que destruya su cobertura forestal o altere los procesos ecológicos del ecosistema. Pero 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 factores que alteran sus características físicas, biológicas y químicas, lo que afecta la flora y la fauna presentes. El Decreto 1640 de 2012 plantea, en el artículo 2, la existencia de ecosistemas de importancia estratégica para la conservación de recursos hídricos y establece 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. Se incluyen también las coberturas asociadas a las zonas pantanosas; la vegetación acuática sobre cuerpos de agua; las lagunas, lagos y ciénagas naturales localizados por debajo de los 1.000 m s. n. m, que no pueden ser usados cuando se encuentren inundados, debido a la susceptibilidad de degradación del ecosistema.

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. Es un bien inembargable e imprescriptible del Estado, excepto si existen derechos adquiridos (Decreto 2811 de 1974). Al respecto, el artículo 204 establece que «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» (Decreto 2811 de 1974).

La ronda, de conformidad con el artículo 10 de la Ley 388 de 1997, es un determinante ambiental que debe ser tenido en cuenta como norma de superior jerarquía por los municipios y distritos (Consulta 4120-E1-11525 del 7 de febrero de 2007, Minambiente). 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 con las zonas paralelas a los cauces permanentes. En el artículo 83, literal d, 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.

El Decreto 1449 de 1977 advierte en el artículo 3, literal b, que los propietarios de predios rurales están obligados a mantener la cobertura boscosa en áreas forestales protectoras, dentro de las cuales define una faja de terreno no inferior a 30 metros de ancha, paralela 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 los determinantes para el ordenamiento del suelo rural, en el artículo 4 señala que las rondas hidráulicas hacen parte de la categoría de áreas de conservación y protección ambiental por ser áreas de especial importancia ecosistémica.

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 al nivel de amenaza. De tal suerte, se requiere de un análisis detallado del área previo al establecimiento de cualquier 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 tanto, 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 suelen contar con una delimitación a escala regional, lo cual motiva 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 y reglamentado las normas que fijan la estructura ecológica principal del territorio: si estas áreas aparecen identificadas y reglamentadas, deberán ser tratadas como una exclusión legal.

En lo referente a rondas hídricas, cabe aclarar que la delimitación de cada cauce debe obedecer a lo que establezcan las autoridades ambientales respectivas. Para la zonificación de aptitud, se tomaron 30 metros. No obstante, éstas podrán tener una mayor o menor longitud. Es función de las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) efectuar, en su jurisdicción y en el marco de sus competencias, el acotamiento de la faja paralela a los cuerpos de agua a que se refiere el literal d del artículo 83 del 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 la generación de la información cartográfica, se partió de las capas que contienen la información espacial actualizada de las áreas de bosque seco tropical, humedales y manglares. Para las rondas hídricas, se empleó la cartografía básica del IGAC, en la cual se definen 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 comprendieron las áreas de bosque seco tropical, los humedales y los manglares. Para la generación de la información cartográfica, se partió de la cartografía básica del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), en el cual se definieron los cauces sencillos. Tan pronto fueron definidos los cauces, se tomó un *buffer* de 30 metros a lado y lado del cauce.

Fuentes de información

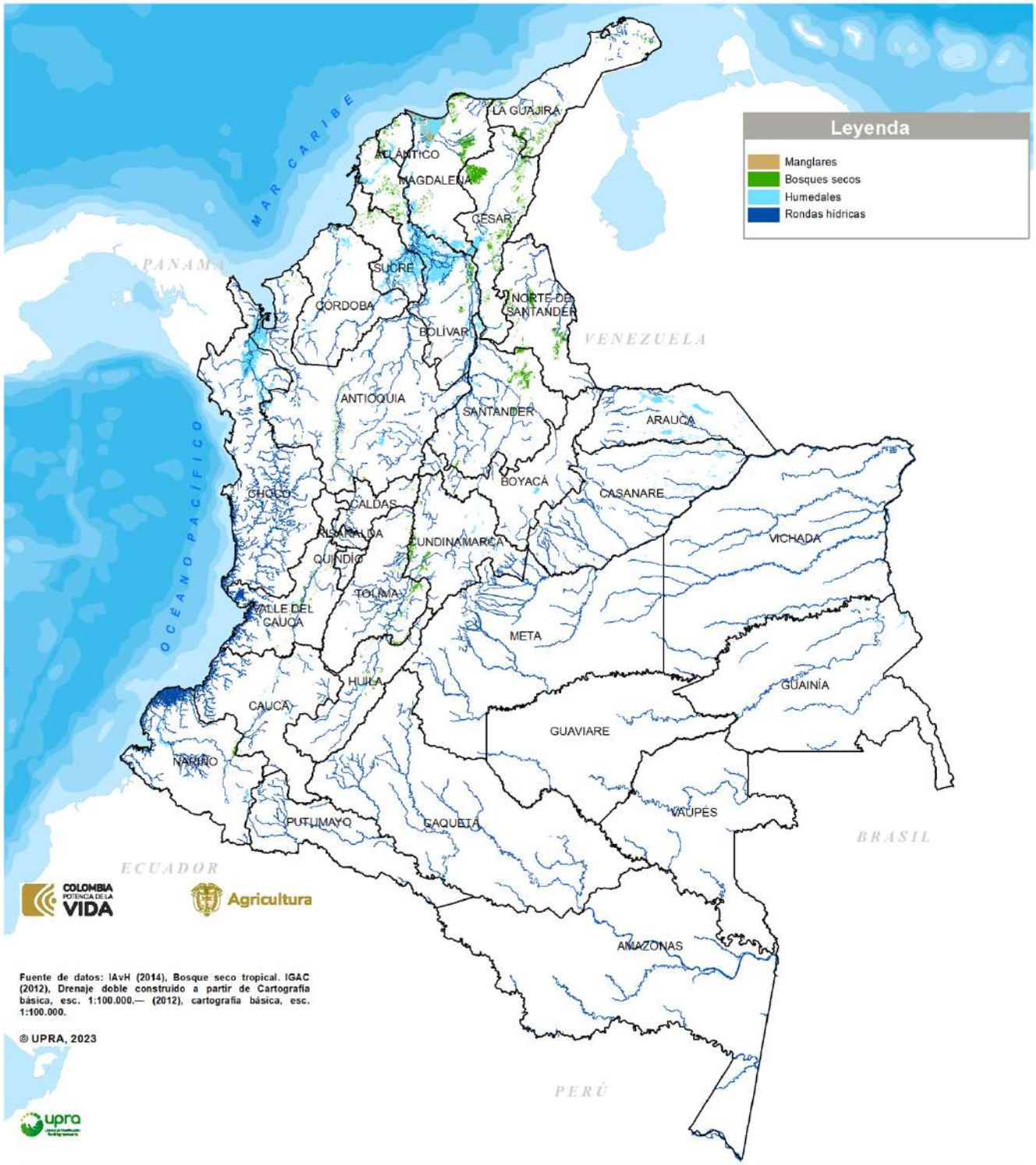
Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (2014). *Bosque seco tropical*. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2008). *Mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia, escala 1:500.000*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012a). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012b). *Drenaje doble construido a partir de cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Representación cartográfica de la variable



Criterio *condicionantes legales*

Variable *ecosistemas estratégicos (manglares, humedales, rondas hídricas y bosque seco*

5.1.2 Variable *áreas protegidas*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
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 el establecimiento del cultivo del maíz tradicional. Aunque no se prohíba la actividad, sí se genera un condicionamiento al posible uso de dichas áreas. Las consideraciones legales para esta variable se describen a continuación:

Distritos de manejo integrado

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 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.

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 (AMEM), la Reserva Sierra de la Macarena, se clasifica y zonifica su territorio y se fijan sus límites reales», entre su zonificación se definen las siguientes zonas: la recuperación para la producción occidente; la preservación vertiente oriental; la producción Ariari-Guayabero; la recuperación para la preservación sur; y la recuperación para la producción sur. De este modo, se consideran condicionantes legales en el distrito de manejo integrado Macarena Norte la zona de recuperación para la producción a saber: las áreas de uso de restauración y las áreas de uso sostenible —las áreas de uso para el desarrollo y las áreas de uso para el aprovechamiento sostenible—; y en el distrito de manejo integrado Losada-Perdido, la zona de recuperación para la producción, a saber: las áreas de uso de restauración para la preservación, las áreas de uso de restauración para la recuperación-rehabilitación y las 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 la 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. Las restricciones se deben a la orientación de manejo para la recuperación de suelos alterados o degradados, o a 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 Decreto 1076 de 2015, único del sector ambiental, son espacios geográficos cuyos paisajes y ecosistemas estratégicos en la escala regional mantienen la función, aunque la estructura y composición hayan sido modificadas, con un potencial significativo de recuperación, y cuyos valores naturales y culturales asociados se hayan puesto al alcance de la población humana para destinarlos a la 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)

Hacen referencia a la totalidad o una parte del área de un inmueble que conserve una muestra de un ecosistema natural, que sea manejado bajo los principios de sustentabilidad en el uso de los recursos naturales y que, por la voluntad del propietario, se destine para un uso sostenible, preservación o 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 esta zona.

Zonas de protección y desarrollo de los recursos naturales renovables y del medio ambiente

Por medio de las resoluciones 1628 de 2015 y 1814 de 2015 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, se declaran las zonas de protección como medida de precaución de carácter nacional (áreas protegidas nacionales en proceso de declaratoria por parte de parques nacionales naturales) y de carácter regional (áreas protegidas regionales en proceso de declaratoria por parte de las CAR). Por medio de las resoluciones 1987 y 1310 de 2018 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 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. Ésta es una acción estratégica que pretende aumentar la representatividad ecológica del sistema y la creación de áreas protegidas en los sitios definidos por los procesos técnicos a diferentes escalas para identiicar vacíos de conservación y definición de prioridades con fundamento en los estudios.

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 en el territorio. Cada una de las categorías consideradas genera un condicionante legal al uso, pues, si bien no se prohíbe, requiere de una revisión de la zona apta en relación con 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, en teoría, debe contar con el respectivo plan de manejo, en el cual 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, por lo cual no fue posible definir en qué zonas sí es posible establecer maíz tradicional o en las que, por el contrario, 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 las figuras consideradas. Por medio de esta información, fue posible identificar si en la zona de estudio se localizaba alguna de las figuras de protección que integraron esta variable.

Unidad de análisis

Polígonos que comprenden DMI; zonas de producción y recuperación para la producción del AMEN; DCS; áreas de recreación; RNSC; y zonas de protección y desarrollo de los recursos naturales renovables y del medio ambiente.

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)*. Villavicencio (Meta), Colombia. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena (Cormacarena).

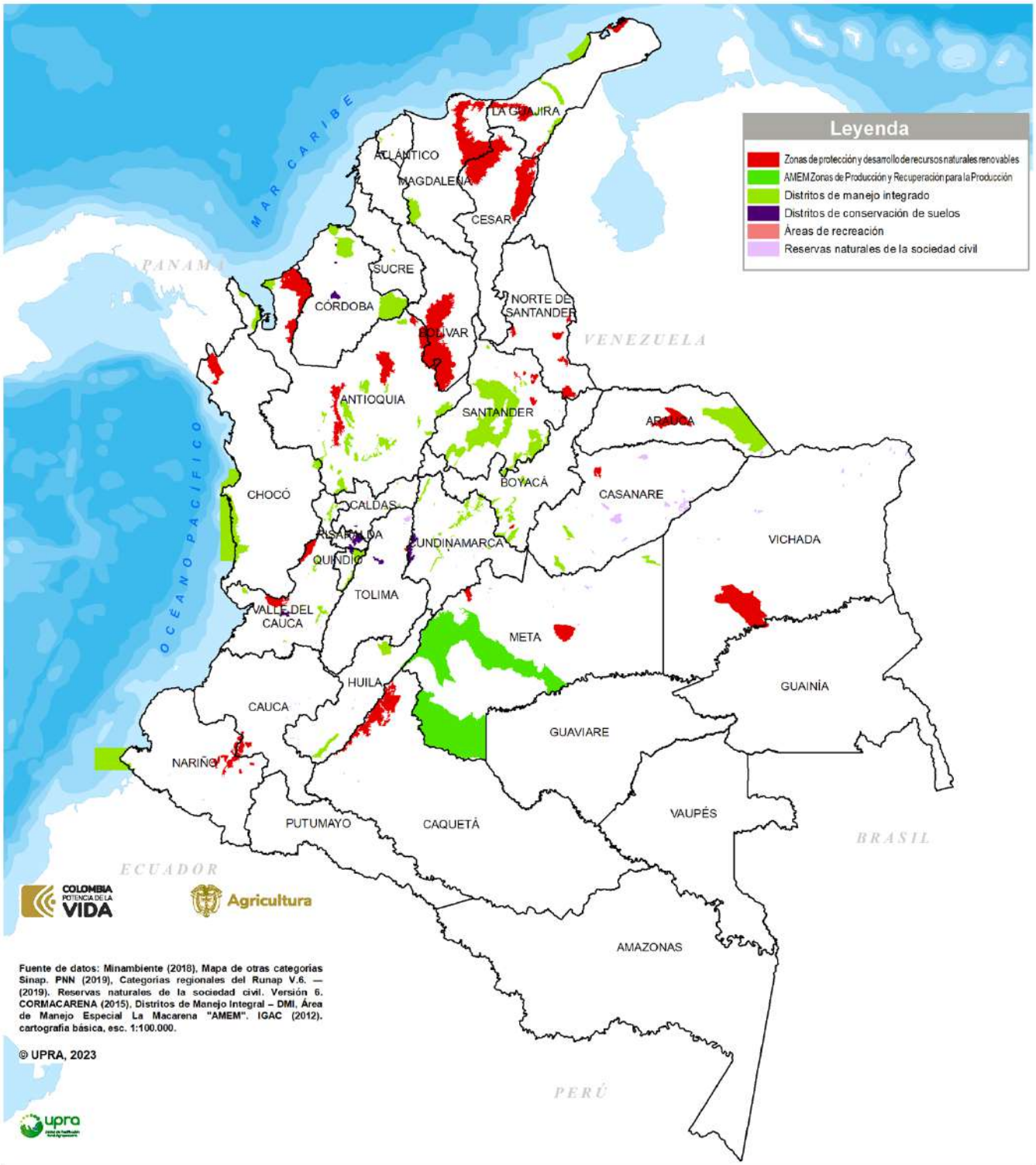
Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

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*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Parques Nacionales Naturales de Colombia (2019a). *Categorías regionales del Runap V.6*. Bogotá, Colombia: Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNN).

Parques Nacionales Naturales de Colombia (2019b). *Límite de los parques nacionales naturales de Colombia V.6*. Bogotá, Colombia: Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNN).

Representación cartográfica de la variable



5.1.3. Variable *otras áreas protegidas locales*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
Criterio asociado: *condicionantes legales*		
Variable: *otras áreas protegidas locales*		
Tipo de criterio asociado	Análisis jerárquico	
	Condicionante legal	✓
	Exclusión técnica	
	Exclusión legal	

Definición

Las áreas protegidas consideradas dentro de esta condicionante legal corresponden a las siguientes:

Otras áreas protegidas locales

Según el PBOT del municipio de Puerto López de 2017 y el Acuerdo 12 de 2012 de Cormacarena, se consideran como condicionantes legales las siguientes áreas: las lagunas; las zonas de amenaza y riesgo por inundación; las zonas de amenaza y riesgos por deslizamientos; y el resguardo Humapo-La Victoria.

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 en el territorio.

Valor de exclusión de la variable

No aplica, por tratarse de un condicionante legal (C1).

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.

Unidad de análisis

Zonas de protección declaradas en el PBOT de Puerto López.

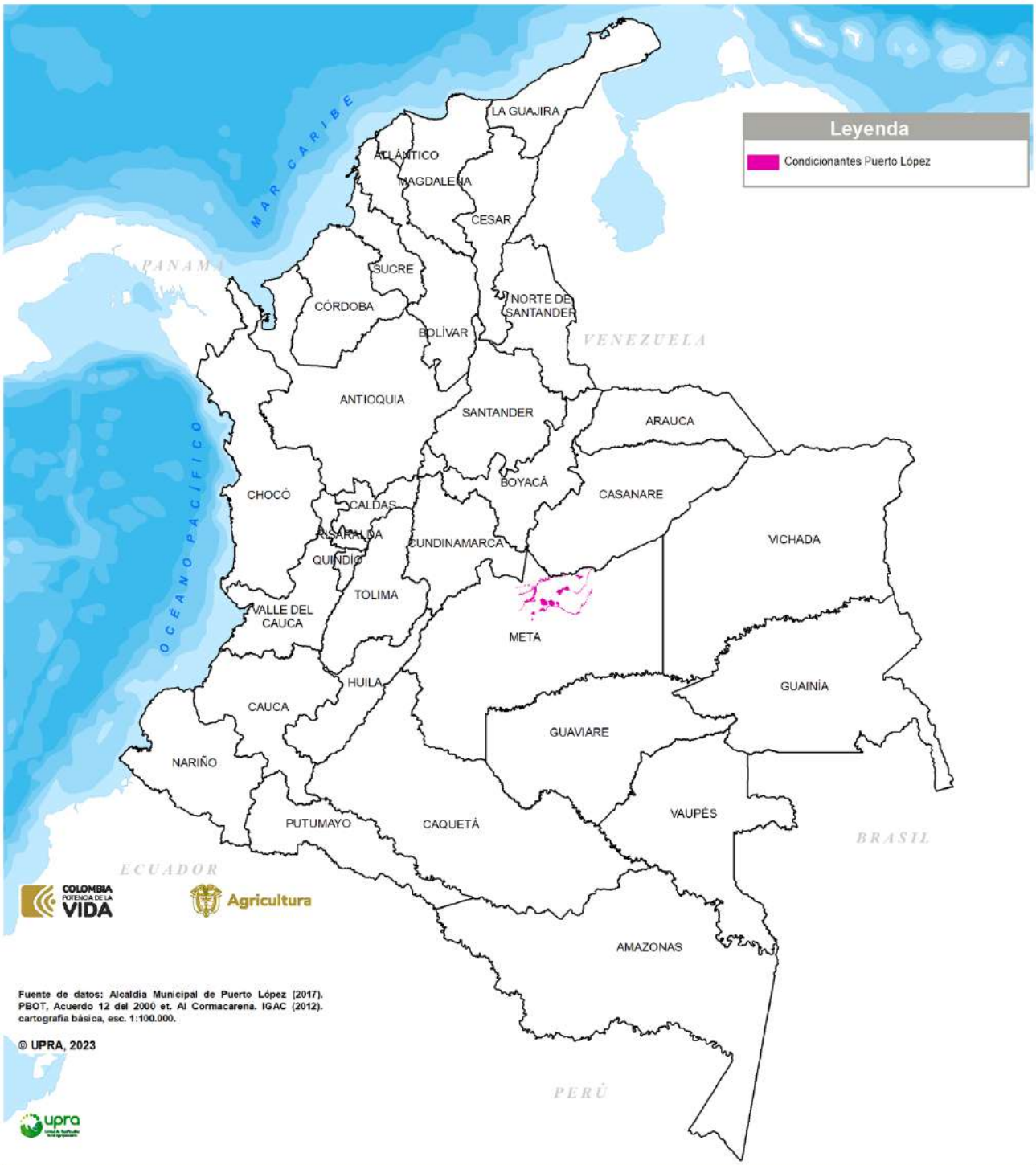
Fuentes de información

Alcaldía Municipal de Puerto López (2017). *PBOT, Acuerdo 12, Cormacarena*. Puerto López (Meta), Colombia: Alcaldía Municipal de Puerto López.

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)*. Villavicencio (Meta), Colombia. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena (Cormacarena).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

Representación cartográfica de la variable



Criterio *condicionantes legales*
Variable *tras áreas protegidas locales*

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)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización	
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, a saber: la ZRFN del Pacífico; la ZRFN central; la ZRFN del río Magdalena; la ZRFN de la Sierra Nevada de Santa Marta; la ZRFN de la serranía de los Motilones; la ZRFN del Cocuy; y la ZRFN de la Amazonia. Esta condicionante legal comprende las zonas B y C de la zonificación de las zonas de reserva forestal nacional. Las zonas son definidas de la siguiente manera:

Zonas tipo B

Son 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 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

Son 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 diferentes estados sucesionales (Resolución 1922 de 2013, MADS, que corresponde a la adopción de la zonificación de la zona de reserva forestal central).

Las zonificaciones se adoptaron de acuerdo con las siguientes resoluciones:

- 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, para los departamentos de Amazonas, Cauca, Guainía, Putumayo y Vaupés.
- 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.
- Resolución 1275 de 2014, que adopta la zonificación y el ordenamiento de la reserva forestal del Cocuy, establecida en la Ley 2 de 1959.
- Resolución 1926 de 2013, que adopta la zonificación y el ordenamiento de la reserva forestal del Pacífico, establecida en la Ley 2 de 1959.
- 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, para los departamentos de Caquetá, Guaviare y Huila.
- 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.
- 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.
- Resolución 1922 de 2013, que adopta la zonificación y el ordenamiento de la reserva forestal central, establecida en la Ley 2 de 1959.

En lo referente a las sustracciones de reserva forestal nacional, según el numeral 18, artículo 5 de la Ley 99 de 1993, en concordancia con el Decreto-Ley 3570 de 2011, se facultó al hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible a reservar, alinderar y sustraer las reservas forestales nacionales. La sustracción se evaluó y se otorgó exclusivamente para la actividad de sustracción que fue solicitada, por lo que las zonas sustraídas son sólo para tal fin. Se estableció como condicionante, dado que las sustracciones se realizan para una actividad determinada con la cual fueron solicitadas y no se puede realizar otro uso.

Importancia de la variable

Para los propósitos de los ejercicios de zonificación, las reservas forestales de la Ley 2 de 1959 permiten identificar las zonas que, independientemente de la categoría de aptitud, requieren de un análisis complementario de tipo legal, social, cultural o ambiental para el establecimiento del cultivo del maíz tradicional.

Valor de exclusión de la variable

No aplica, por tratarse de un condicionante legal (C1).

Limitantes de evaluación de la variable

En el año 2015, para las zonas de reserva forestal nacional se estableció 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, 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 la generación de la información cartográfica, se partió del mapa de reservas forestales nacionales de Ley 2 de 1959, con lo cual se identificaron las zonas tipo B y C del análisis cartográfico del mapa de sustracciones de reserva forestal nacional de la Ley 2 de 1959 oficial del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Unidad de análisis

Polígonos correspondientes a las ZRFN; sustracciones de reserva forestal nacional, tipos B y C.

Fuentes de información

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

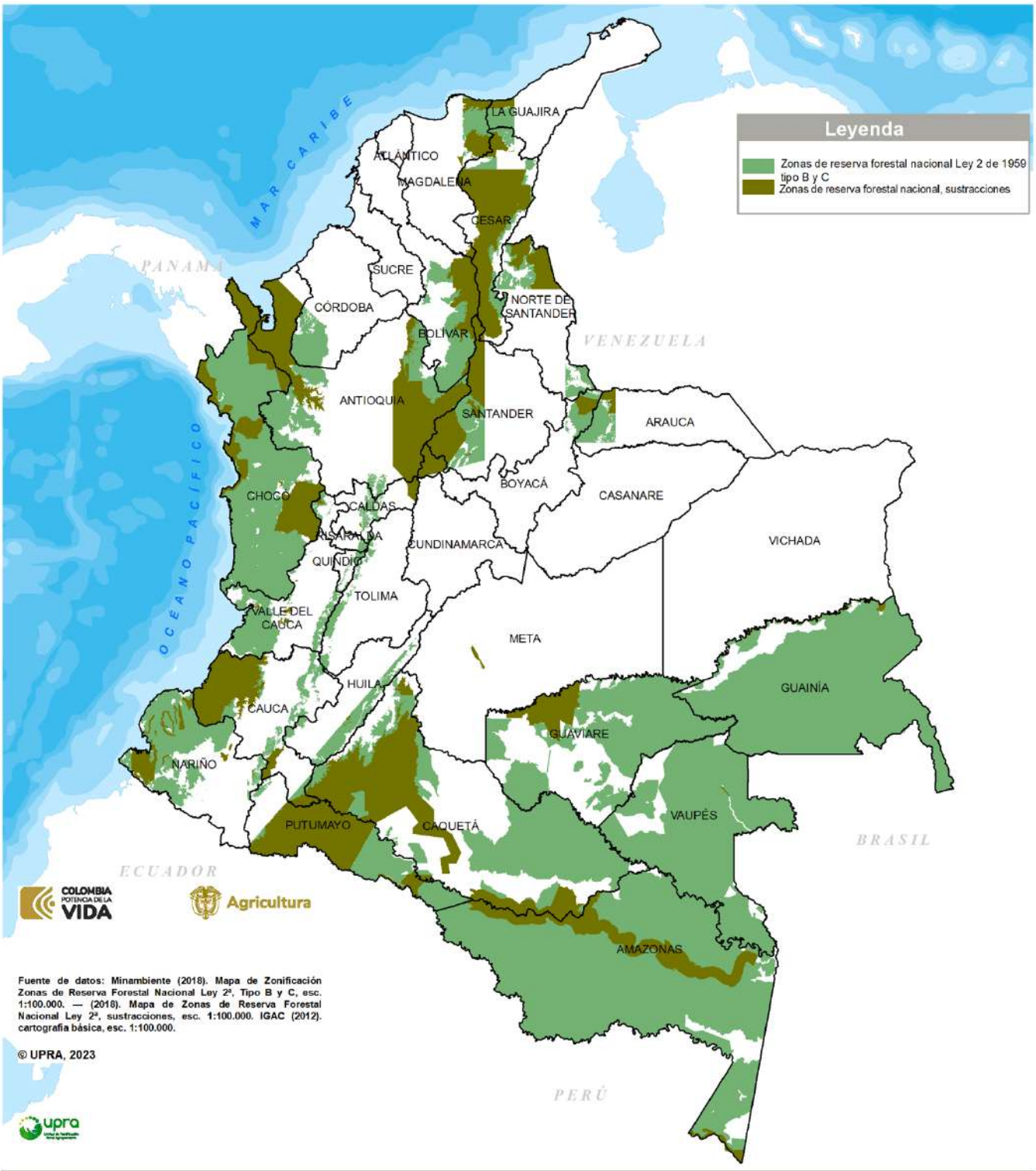
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018). *Mapa de zonificación de zonas de reserva forestal nacional Ley 2ª, tipo A, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Rural (2012). *Mapa de sustracciones de reservas forestales nacionales de la Ley 2ª, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Rural.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Rural (2018a). *Mapa de zonificación de zonas de reserva forestal nacional de la Ley 2ª, tipos B y C, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Rural.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Rural (2018b). *Mapa de zonas de reserva forestal nacional de la Ley 2ª: sustracciones, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Rural.

Representación cartográfica de la variable



Criterio *condicionantes legales*

Variable *zonas de reserva forestal nacional, Ley 2 de 1959, tipos B y C*

5.1.5. Variable *distinciones internacionales*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
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 el reconocimiento de su importancia a nivel internacional y que el país reconoce mediante la adscripción a tratados. El soporte legal de estas áreas 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, en concordancia con el compromiso internacional adquirido y ratificado por Colombia para la protección y conservación de la biodiversidad. En el ejercicio de zonificación de aptitud, se consideraron las siguientes distinciones internacionales:

Reservas de la biosfera

Son áreas geográficas representativas de la diversidad de hábitats del planeta. Ya sean ecosistemas terrestres, ya 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 lugar. Una vez designado el nombramiento, la reserva queda reconocida internacionalmente, pero bajo soberanía de los respectivos Estados, que deben cumplir y mantener 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 el concurso para identificar, proteger, conservar y revalorizar el patrimonio cultural y natural (artículo 6); y a no tomar medidas que le puedan causar daño, directa o indirectamente a la reserva (el cinturón andino, el parque natural El Tuparro, la Sierra Nevada de Santa Marta, la Ciénaga Grande de Santa Marta y el Seaflower).

Convenio Ramsar

La *Convención sobre los humedales de importancia internacional* o *Convención Ramsar* es un tratado intergubernamental creado para coordinar acciones de cooperación nacional e internacional para garantizar la conservación y el uso racional de los humedales, en el trayecto de rutas de aves migratorias, y sus recursos. El convenio, al tratar la protección de los humedales, define el *humedal* como «cualquier extensión de marisma, pantano o turbera, o superficie cubierta de aguas, sean éstas 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).

Mediante la Ley 357 de 1997, Colombia aprobó la *Convención relativa a los humedales de importancia internacional, especialmente como hábitat de aves acuáticas*, por lo que se ve obligado, como parte contratante de la convención, a elaborar y aplicar la planificación, de forma que favorezca la conservación de los humedales incluidos en la lista y el uso racional de los humedales del territorio (artículo 3), y a fomentar la conservación tanto de los humedales como de las aves acuáticas creando reservas naturales allí (artículo 4).

Cabe resaltar que la Ley 1450 de 2011 menciona, en el parágrafo 1 del artículo 2002, 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, con sustento en estudios técnicos, económicos, sociales y ambientales adoptados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible o el que haga sus veces. Además, la norma destaca 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 de estas áreas deben obedecer al plan de manejo, en el que se definen las respectivas zonas de conservación, preservación y uso.

Importancia de la variable

Permite identificar áreas donde tanto el establecimiento como el desarrollo del cultivo del maíz tradicional 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 biosfera no representa una identidad ecosistémica, sino los vértices de polígonos, por lo cual se incorporan áreas en diversos niveles de valores ecosistémicos. Teniendo en cuenta lo anterior, no toda el área tiene la misma importancia ecosistémica y la restricción ha de estudiarse con mayor detalle al interior. Por este motivo, se requiere de estudios adicionales que se deben analizar en conjunto con las autoridades ambientales. De esta forma, las áreas bajo distinción internacional podrán ser reclasificadas en la zonificación, dependiendo del nivel de conocimiento que se tenga en el futuro o de la aclaración de determinantes ambientales que puedan ser incluidos en la evaluación.

Tanto las áreas definidas por su importancia biológica como el compromiso internacional, adquirido y ratificado por Colombia, buscan proteger y conservar la biodiversidad y la preexistencia de comunidades humanas que representan un patrimonio étnico de interés para la región, 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 puede 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 del Convenio Ramsar y reservas de la biósfera, de acuerdo con las fuentes de información oficial.

Fuentes de información

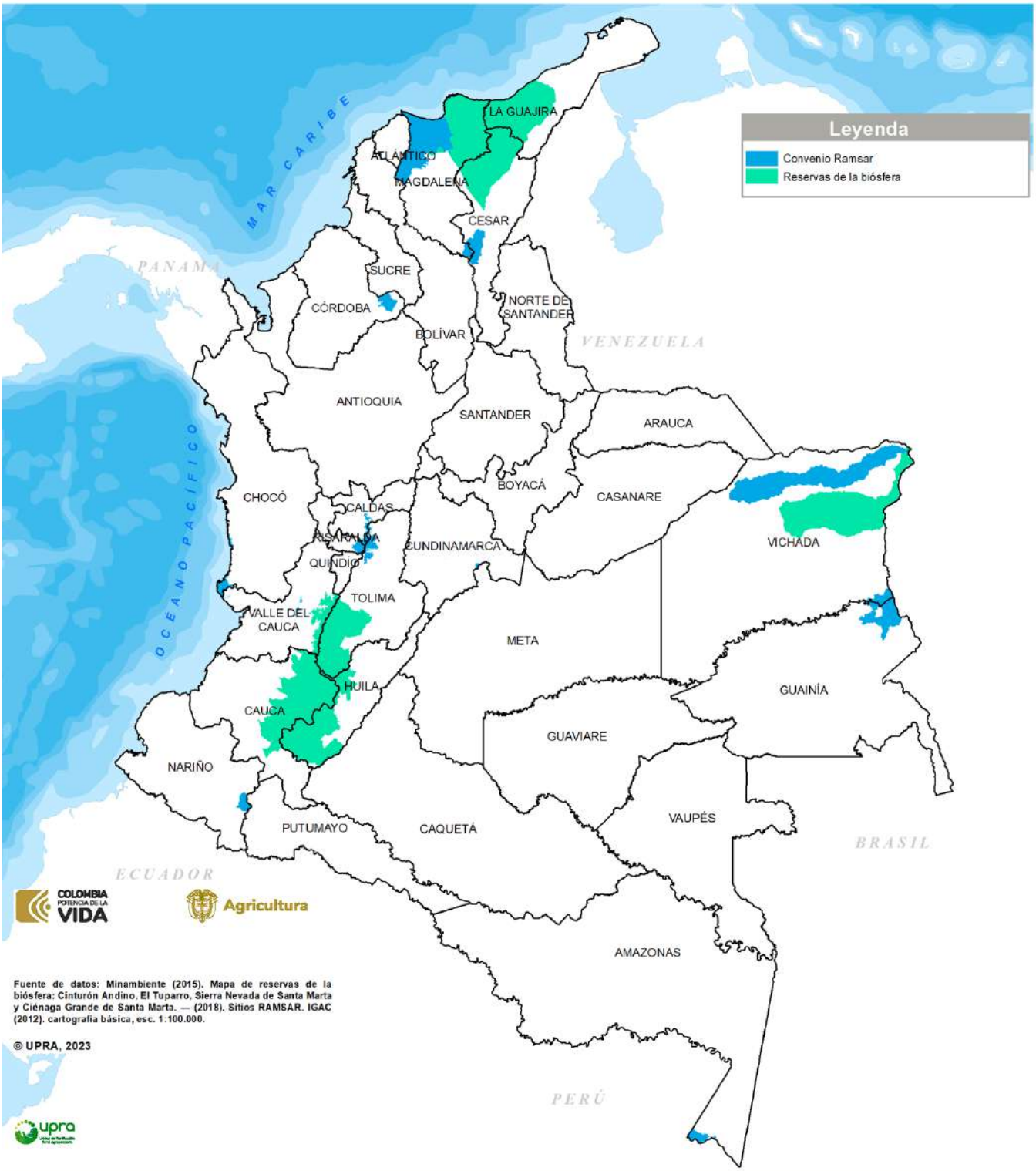
Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

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*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018c). *Sitios Ramsar*. Bogotá, Colombia: 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*. París, Francia: Organización de la Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco). Recuperado de: https://n9.cl/047nh

Representación cartográfica de la variable



Criterio *condicionantes legales*
Variable *distinciones internacionales*

5.1.6. Variable *áreas de interés cultural y social*

Ficha metodológica de la variable		
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	Cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional con prácticas mínimas de manejo dirigido, principalmente, tanto al consumo humano como al animal y a los circuitos cortos de comercialización.	
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 ya sea para el reconocimiento, protección y desarrollo de la diversidad étnica y la identidad cultural de las comunidades que las habitan, ya 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. Las figuras legales que conforman esta variable se describen a continuación:

Tierras de las comunidades negras

Son terrenos en los que tiene el asentamiento histórico y ancestral las comunidades negras para uso colectivo, que constituye su hábitat, y sobre los cuales desarrollan las prácticas tradicionales de producción en relación con las que 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 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. El propósito consiste no sólo en proteger la identidad cultural y los derechos de las comunidades negras de Colombia como grupo étnico, sino también 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 colombiana, 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 manejarlo en sociedad por una organización autónoma amparada por el fuero indígena y su sistema normativo (Decreto 2164 de 1995, MinAgricultura). Conforme 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.

Zonas de reserva campesina

Son tierras baldías de la Nación, adjudicadas a los campesinos de escasos recursos con el objeto de fomentar la pequeña propiedad rural. Están sujetas tanto a las políticas de conservación del área, del medio ambiente y de los 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 tendrá en cuenta, además de los anteriores principios, las reglas y criterios sobre el ordenamiento ambiental territorial; la efectividad de los derechos sociales, económicos y culturales de los campesinos; la participación de ellos en las instancias de planificación y decisión regionales; y las características de las modalidades de producción.

Paisaje cultural cafetero (PCC)

Es una 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, MinAgricultura).

Áreas arqueológicas protegidas

Es un polígono o zona delimitada en el territorio de Colombia que, por las características únicas de sus evidencias arqueológicas, requiere de una especial protección y conservación, con el fin de abrir las posibilidades para la investigación, la divulgación y, en algunos casos, el turismo responsable. Estas áreas contienen un plan de manejo arqueológico definido por el Instituto Colombiano de Antropología e Historia (Icanh), en el cual se permite la realización de labores de agricultura tradicional, pero restringe el desarrollo de agricultura mecanizada en las áreas de potencial muy alto.

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 en esas áreas. En las zonas aptas para el cultivo, previo a la formulación de proyectos de inversión, se deberán considerar los siguientes aspectos:

En áreas donde existan resguardos indígenas y tierras de las comunidades negras, se deberán surtir procesos de consulta previa de acuerdo con 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 de la zona y ser socializados con la comunidad y demás entidades territoriales competentes en el marco de una audiencia pública, según lo establece el Acuerdo 021 de 1996 del 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 (CAR), la Federación Nacional de Cafeteros (FNC) y las entidades del orden local, con lo cual 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, con el fin de garantizar la sostenibilidad económica, cultural, social y ambiental del paisaje cultural.

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 para estos bienes. Estas zonas de influencia arqueológica y los planes de manejo deberán ser aprobados por el Icanh, de acuerdo con el artículo 54 del Decreto 763 de 2009 (compendiado en el Decreto único 1080 de 2015 del sector cultura).

En lo que respecta a las áreas de influencia arqueológica, de acuerdo con el artículo 4 del 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».

Valor de exclusión de la variable

No aplica por tratarse de un criterio condicionante (C1).

Limitantes de evaluación de la variable

La información espacializada sólo contempló las tierras de las comunidades negras, los resguardos indígenas y las zonas de reserva campesina constituidos mediante un acto administrativo de la entidad competente (ANT). Las áreas del régimen especial 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 y los reclasifique en las categorías incluidas en esta variable. Prescindir de esta información en la zonificación de aptitud no desconoció la posibilidad de requerir adelantar procesos de consultas previas, audiencias públicas, estudios de impacto o verificaciones *in situ* al implementar desarrollos productivos en áreas con 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 fue suministrada a la UPRA. Por lo tanto, 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 la 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 encuentran en el Chocó, cifra que equivale 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 departamentos como 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. A su vez, 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 cerca de 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. En las subregiones del Urabá, occidente y suroeste antioqueño existen municipios donde más del 97 % del área total ha sido reservado para comunidades negras. Este 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. Un ejemplo de ello son 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 cifra 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 un sistema normativo (artículo 21, Decreto MinAgricultura 2164 de 1995).

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 datan 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 Guaviare, que abarca parte de los municipios de Calamar, El Retorno y San José del Guaviare. Esta última 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 la región del 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 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 existe un paisaje cultural cafetero, el cual representa el 35 % del total del área la figura, equivalente a 124.250 hehtáreas aproximadamente. 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, el paisaje cultural cafetero no supera las 50 hectáeas. En 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, que suman poco más de 30 hectáreas.

Áreas arqueológicas protegidas. Se identificaron 16 áreas arqueológicas protegidas, que incluyen zonas directas e indirectas, como se registra en la siguiente tabla:

Áreas arqueológicas protegidas	Zona
Santa María la Antigua del Darién	Directa
El Salado	Directa
Pueblito	Directa
La Lindosa	Raudal
	Pizarra
	Nuevo Tolima
	Los Túneles
	Los Alpes

Áreas arqueológicas protegidas	Zona
Piedras del Tunjo	Directa
UPTC Tunja	Directa
Pupiales	Directa
	Área de influencia
Tequendama	Directa
La Mojana	Directa
El Abra	Directa
El Infiernito	Directa

Áreas arqueológicas protegidas	Zona
	Limoncillo
	Campanilla
	Cerro Azul
Las Salinas	Directa
	Área de influencia
Piedras Blancas	Directa

Áreas arqueológicas protegidas	Zona
Arboleda	Directa
	Área de influencia
Mogua	Directa
	Área de influencia
Valle alto del río Checua	Directa
	Área de influencia

Unidad de análisis

De acuerdo con las fuentes de información oficial, polígonos que comprenden 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,

Fuentes de información

Agencia Nacional de Tierras (2016). *Áreas reservadas para comunidades negras, Ley 70 de 1993*. Bogotá, Colombia: Agencia Nacional de Tierras (ANT).

Agencia Nacional de Tierras (2018a). *Resguardos indígenas legalmente constituidos*. Bogotá, Colombia: Agencia Nacional de Tierras (ANT).

Agencia Nacional de Tierras (2018b). *Consejos comunitarios de comunidades negras legalmente constituidos*. Bogotá, Colombia: Agencia Nacional de Tierras (ANT).

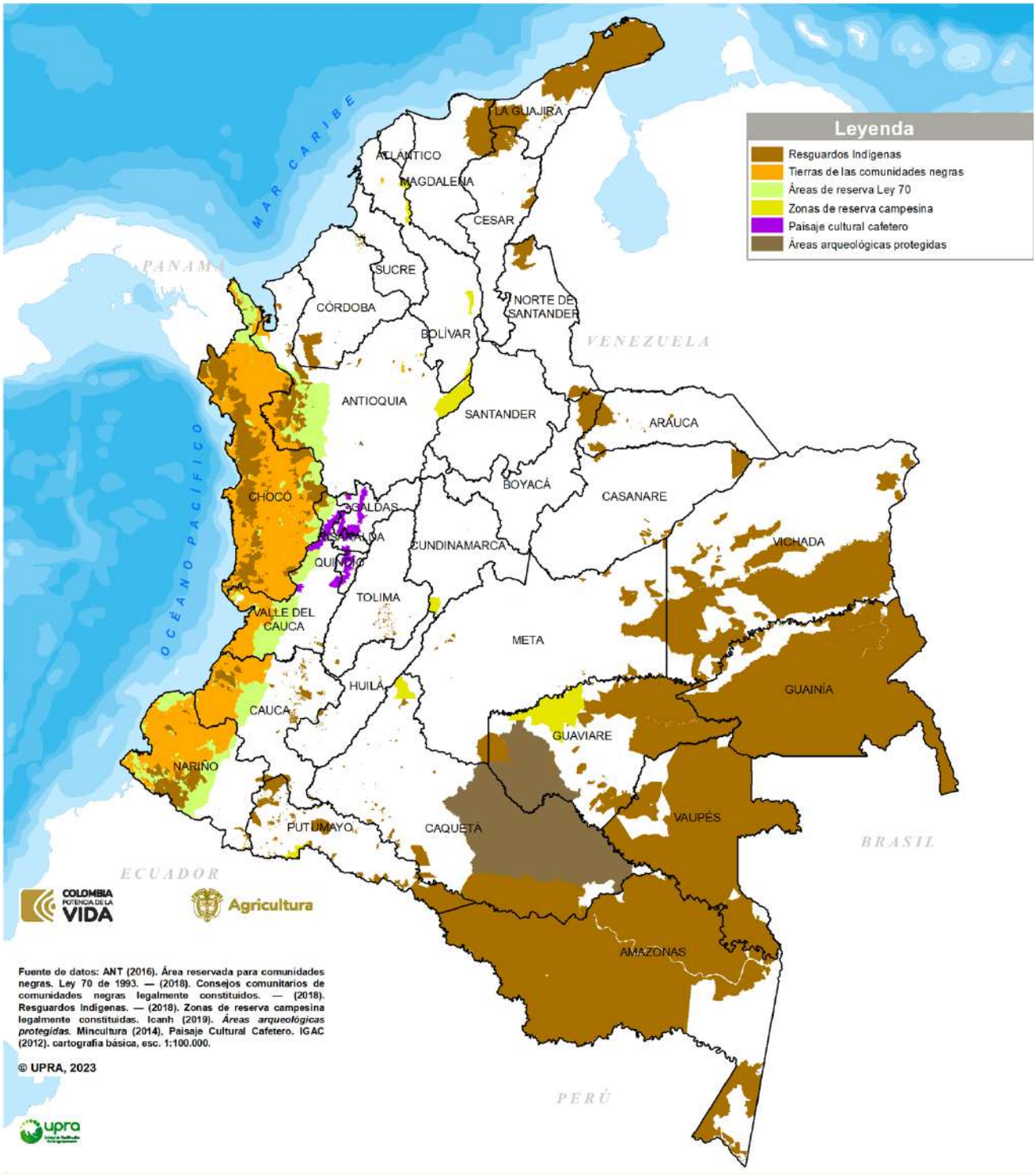
Agencia Nacional de Tierras (2018c). *Zonas de reserva campesina legalmente constituidas*. Bogotá, Colombia: Agencia Nacional de Tierras (ANT).

Instituto Colombiano de Antropología e Historia (2019). *Áreas arqueológicas protegidas*. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Antropología e Historia (Icanh).

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*. Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

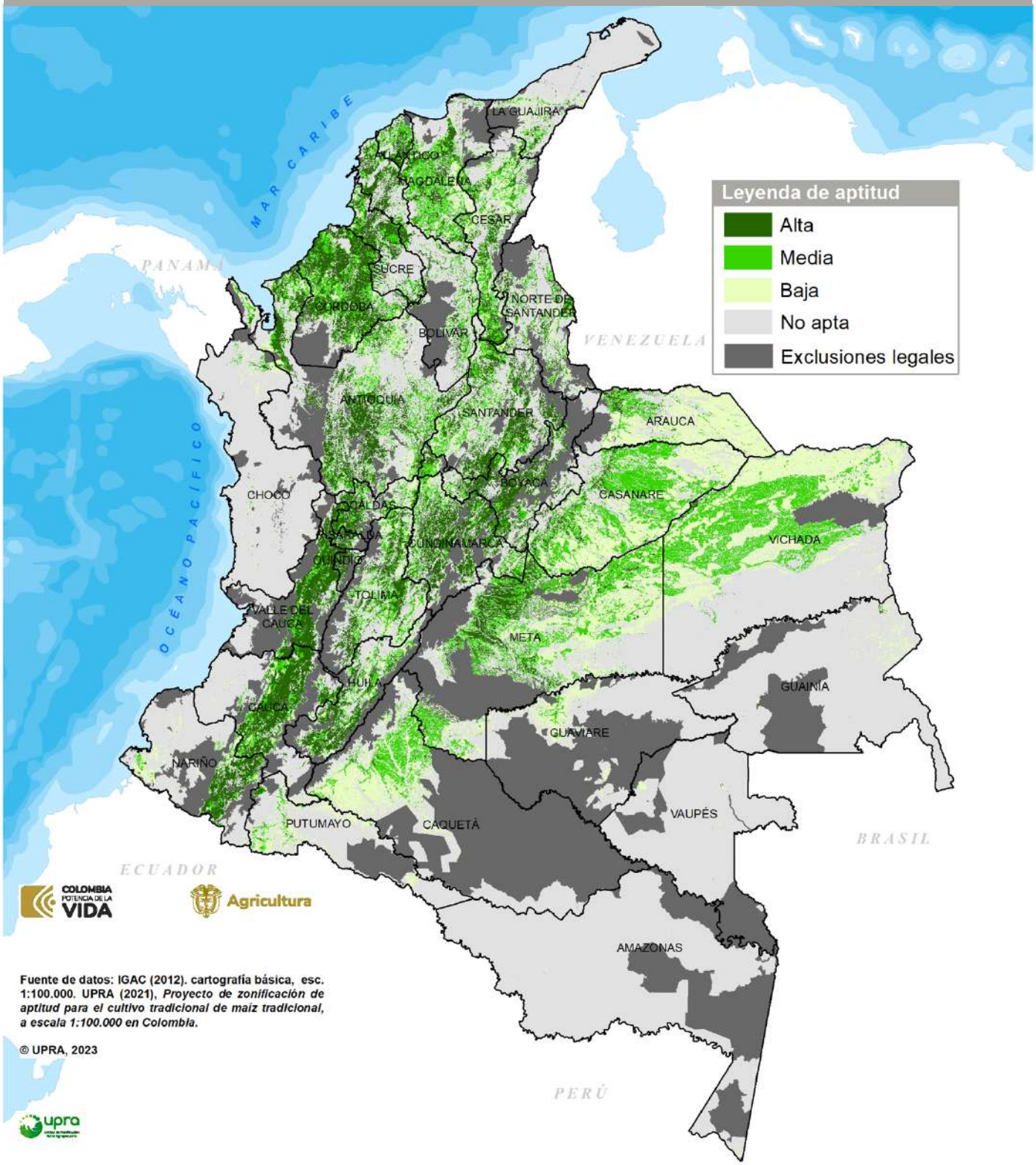
Ministerio de Cultura (2014). *Paisaje cultural cafetero*. Bogotá, Colombia: Ministerio de Cultura.

Representación cartográfica de la variable



Criterio *condicionantes legales*
Variable *áreas de interés cultural y social*

Mapa integrado de la zonificación de aptitud para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) tradicional en Colombia a escala 1:100.000



Fuente de datos: IGAC (2012). cartografía básica, esc. 1:100.000. UPRA (2021), *Proyecto de zonificación de aptitud para el cultivo tradicional de maíz tradicional, a escala 1:100.000 en Colombia.*

© UPRA, 2023

COLOMBIA POTENCIA DE LA VIDA

Agricultura

Cultivo de maíz tradicional

Identificación de zonas aptas en Colombia

Escala 1:100.000



Se presentó la memoria técnica de la zonificación de aptitud para el cultivo del maíz (*Zea mays* L.) tradicional en Colombia a escala 1:100.000. La memoria se desarrolló de acuerdo con la función misional de planificación del uso eficiente del suelo rural y la adecuación de tierras que lleva a cabo la UPRA, cuyo fin consiste en direccionar la inversión del sector agropecuario.

upra
Unidad de Planificación Rural Agropecuaria