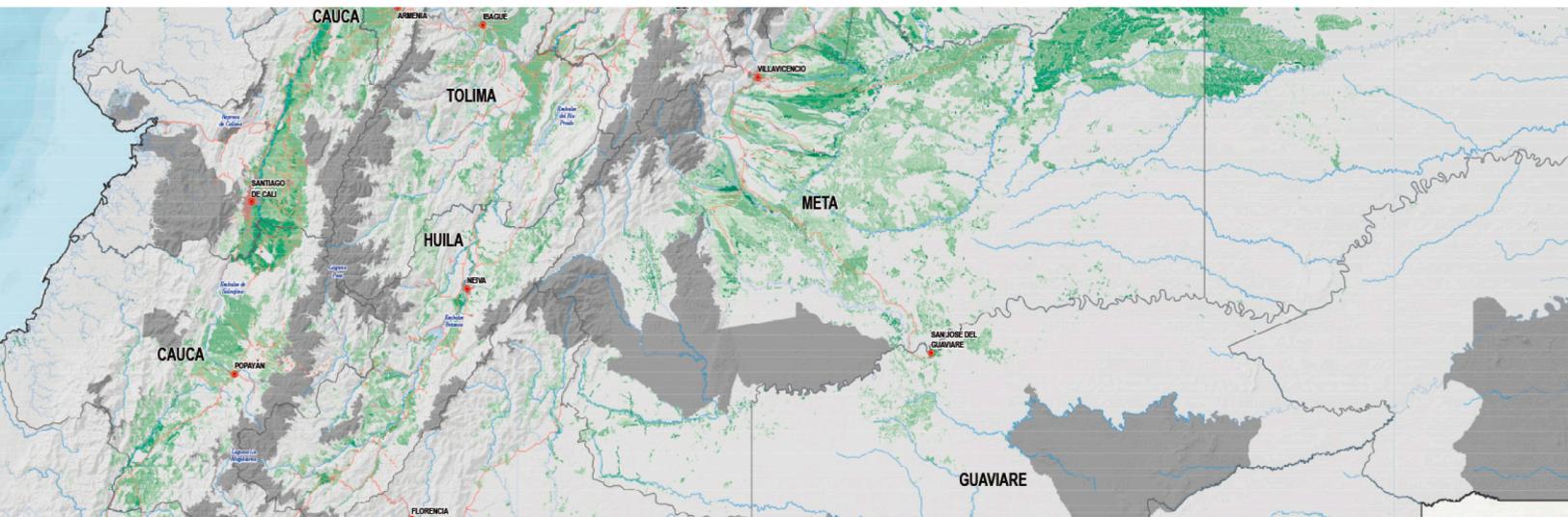


# Zonificación general de tierras con fines de irrigación para Colombia, a escala 1:100.000





MINAGRICULTURA



GOBIERNO DE COLOMBIA

Juan Manuel Santos Calderón  
Presidente de la República de Colombia

**MINISTERIO DE AGRICULTURA  
Y DESARROLLO RURAL**

Juan Guillermo Zuluaga Cardona  
Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural

Juan Pablo Díaz Granados Pinedo  
Viceministro de Desarrollo Rural

Samuel Zambrano Canizalez  
Viceministro (e) de Asuntos Agropecuarios

**UNIDAD DE PLANIFICACIÓN RURAL  
AGROPECUARIA**

Felipe Fonseca Fino  
Director general

Dennis William Bermúdez  
Secretario general

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

Daniel Alberto Aguilar Corrales  
Director técnico de Uso Eficiente del Suelo Rural  
y Adecuación de Tierras

Daniel Mauricio Rozo Garzón  
Jefe de la Oficina de Tecnologías  
de la Información y las Comunicaciones

Luz Marina Arévalo Sánchez  
Asesora técnica

Emiro José Díaz Leal  
Asesor de Planeación

Camilo Andrés Pulido Laverde  
Asesor de Control Interno

Mercedes Vásquez de Gómez  
Asesora jurídica

Johana Trujillo Moya  
Asesora de Comunicaciones

**Editores:**

Felipe Fonseca Fino  
Director general

Daniel Alberto Aguilar Corrales  
Director técnico de Uso Eficiente del Suelo Rural  
y Adecuación de Tierras

**Coordinador del proyecto:**

M.Sc. Andrés Felipe Rodríguez Vásquez  
Profesional especializado de la UPRA  
Docente de la Universidad Nacional de Colombia

**Coordinador técnico:**

Ph.D. José Antonio Forero Saavedra  
Contratista de la UPRA  
Docente de la Universidad Nacional de Colombia

**Capítulo 1:**

Ph.D. José Antonio Forero Saavedra  
M.Sc. Fabián Darío Cote Navarro  
Ing. Agríc. Wilson David Gamboa  
Esp. Wálter Jeyson León Vanegas

**Capítulo 2:**

Ph.D. José Antonio Forero Saavedra  
M.Sc. Andrés Felipe Rodríguez Vásquez  
Ing. Agríc. Juan Camilo Rodríguez Chaparro

**Capítulo 3:**

Ph.D. José Antonio Forero Saavedra  
M.Sc. Andrés Felipe Rodríguez Vásquez  
Ing. Agríc. Juan Camilo Rodríguez Chaparro  
M.Sc. Fabián Darío Cote Navarro  
Esp. Wálter Jeyson León Vanegas

**Capítulo 4:**

Ph.D. José Antonio Forero Saavedra  
M.Sc. Andrés Felipe Rodríguez Vásquez  
Ing. Agríc. Juan Camilo Rodríguez Chaparro

M.Sc. Fabián Darío Cote Navarro  
Esp. Wálter Jeyson León Vanegas  
Esp. Edward Alejandro Moreno Bojacá  
Esp. Fernando Antonio Castillo Jiménez

**Capítulo 5:**

M.Sc. Andrés Felipe Rodríguez Vásquez

Coordinación de Comunicaciones  
Johana Trujillo Moya

Coordinación del Área de Diseño  
Felipe Alejandro García Barbosa

Revisión de texto y estilo  
Liliana Constanza Sepúlveda Ortega

Diseño y diagramación  
Sonia Montañó Bermúdez

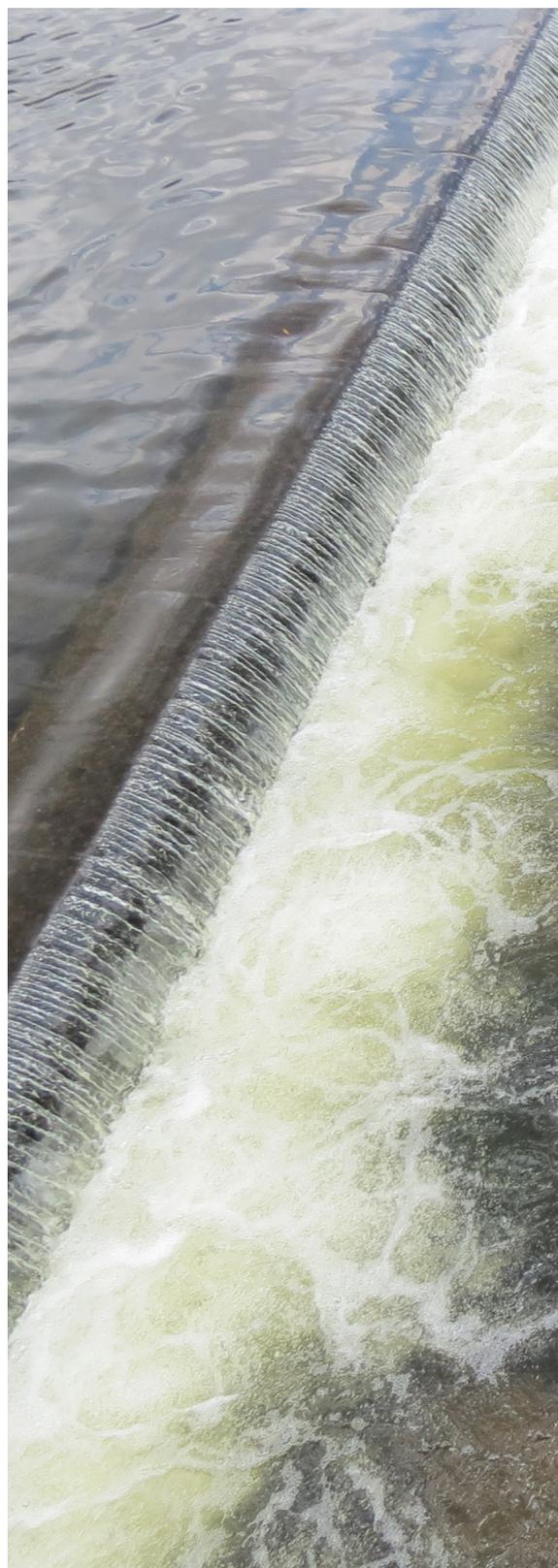
Fotografías  
Banco de imágenes de la UPRA

ISBN: 978-958-5552-10-4.

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, citándolo así: Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). (2017). *Zonificación general de tierras con fines de irrigación para Colombia, a escala 1:100.000*. Bogotá (Colombia): UPRA. Recuperado de <dirección URL de ubicación del documento>.

# Tabla de contenido

<b>LISTA DE ABREVIATURAS</b>	<b>8</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS</b>	<b>10</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>12</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>13</b>
<b>I. ANTECEDENTES</b>	<b>15</b>
<b>I.1. Contexto general</b>	<b>16</b>
<b>I.2. El concepto de distrito de adecuación de tierras</b>	<b>18</b>
<b>I.3. Actividades en los distritos de adecuación de tierras</b>	<b>18</b>
<b>I.4. El agua en la producción agropecuaria</b>	<b>19</b>
I.4.1. Estacionalidad de la producción agropecuaria	21
I.4.2. Educación y transferencia de tecnología	21
I.4.3. Operación de los distritos de riego y drenaje	22
I.4.4. El cultivo de arroz en los distritos de riego de clima cálido	23
<b>I.5. La normatividad en la adecuación de tierras</b>	<b>23</b>
I.5.1. Marco jurídico ambiental	28
I.5.1.1. Constitución Política de Colombia	28
I.5.1.2. Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente	28
I.5.1.3. Ley 99 de 1993	29
I.5.1.4. Ley 165 de 1994	29
I.5.1.5. Ley 357 de 1997	29
I.5.1.6. Ley 388 de 1997	30
I.5.1.7. Decreto 3600 de 2007	31
I.5.1.8. Ley 1523 de 2012	32
I.5.1.9. Decreto 1729 de 2002	32
I.5.1.10. Decreto 1640 de 2012	32
I.5.1.11. Decretos 622 de 1977 y 1996 de 1999	33
I.5.1.12. Decreto 2372 de 2010	33
I.5.2. Marco jurídico de la adecuación de tierras en relación con lo ambiental	34
I.5.3. Políticas ambientales	34





1.5.3.1. Ley 99 de 1993	34
1.5.3.2. Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos	35
1.5.3.3. Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico	36
1.5.3.4. Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible	38
1.5.3.5. Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2014-2018	39
1.5.4. Principios, lineamientos y criterios ambientales de la UPRA	39

## **2. MARCO DE REFERENCIA PARA LA ZONIFICACIÓN** 41

### **2.1. Factores edafológicos en la zonificación** 42

### **2.2. Factores topográficos en la zonificación** 56

### **2.3. Clasificación de tierras con fines de irrigación** 67

## **3. ZONIFICACIÓN GENERAL DE TIERRAS CON FINES DE IRRIGACIÓN (ZTI): PROCEDIMIENTO** 80

### **3.1. Conceptualización cartográfica de la ZTI** 82

#### 3.1.1. La información delimitadora 82

#### 3.1.2. La información caracterizadora 82

### **3.2. Conceptualización temática de la ZTI** 83

### **3.3. Definición de los componentes, los criterios y las variables de la ZTI** 84

#### 3.3.1. Componente físico 84

##### 3.3.1.1. Criterio edafológico 84

###### 3.3.1.1.1. Textura del suelo 85

###### 3.3.1.1.2. Estructura del suelo 86

###### 3.3.1.1.3. Profundidad del horizonte superficial 86

###### 3.3.1.1.4. Paisaje 86

###### 3.3.1.1.5. Fertilidad del suelo 87

###### 3.3.1.1.6. Salinidad del suelo 88

###### 3.3.1.1.7. Reacción del suelo (pH) 89

###### 3.3.1.1.8. Grado de erosión actual del suelo 89

##### 3.3.1.2. Criterio topográfico 90

###### 3.3.1.2.1. Pendiente del terreno 91

###### 3.3.1.2.2. Tamaño del predio 92

###### 3.3.1.2.3. Longitud del recorrido para riego superficial 92

#### 3.3.2. Componente recurso hídrico superficial 92

##### 3.3.2.1. Necesidad del recurso hídrico superficial 93

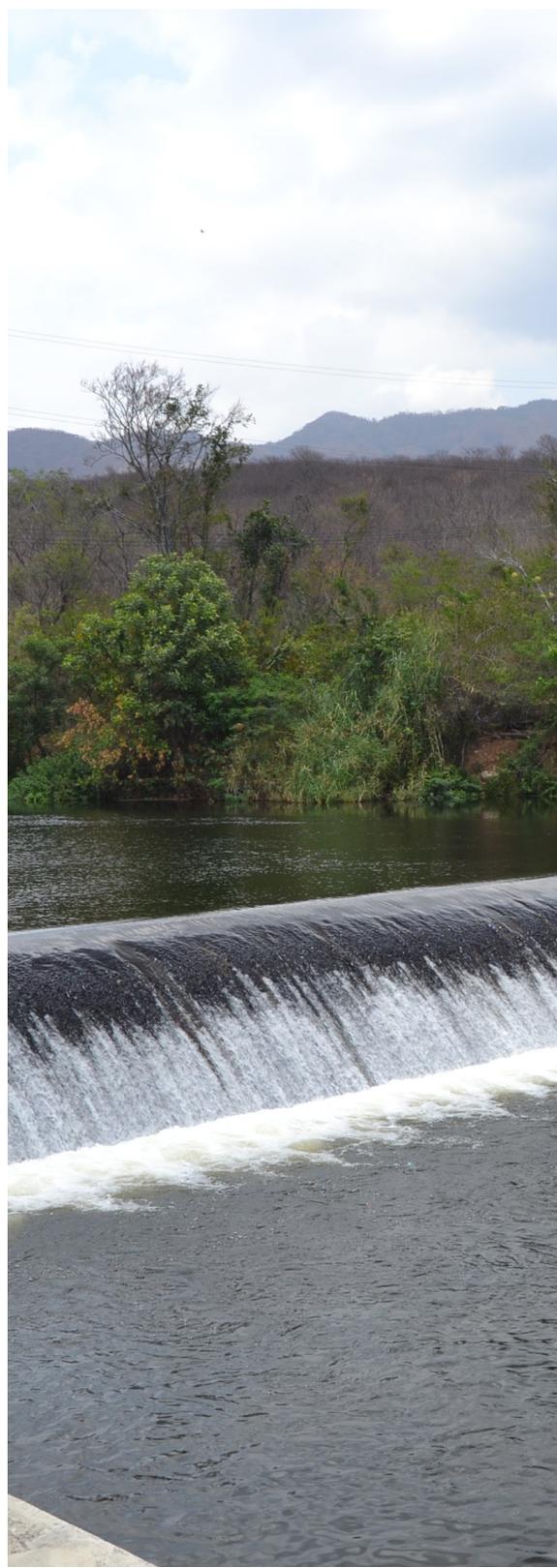
##### 3.3.2.2. Disponibilidad del recurso hídrico superficial 93

3.3.2.3. <i>Regulación del recurso hídrico superficial</i>	94
<b>3.3.3. Componente ecosistémico</b>	<b>94</b>
3.3.3.1. <i>Uso sostenible del suelo rural</i>	95
3.3.3.1.1. <i>Uso sostenible del agua superficial</i>	97
3.3.3.1.2. <i>Calidad del recurso hídrico</i>	99
3.3.3.2. <i>Conservación de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos</i>	100
3.3.3.2.1. <i>Conservación de especies</i>	102
3.3.3.2.2. <i>Conservación de ecosistemas</i>	104
3.3.3.2.3. <i>Conservación de la funcionalidad del paisaje</i>	107
<b>3.3.4. Componente socioeconómico</b>	<b>110</b>
3.3.4.1. <i>Criterio económico</i>	112
3.3.4.1.1. <i>Importancia de la actividad agropecuaria</i>	112
3.3.4.1.2. <i>ICR municipal en adecuación de tierras 2013-2014</i>	113
3.3.4.2. <i>Criterio de infraestructura</i>	114
3.3.4.2.1. <i>Isócronas viales a centros poblados</i>	114
3.3.4.2.2. <i>Isócronas de puertos marítimos</i>	114
3.3.4.2.3. <i>Isócronas de puertos fluviales</i>	115
3.3.4.2.4. <i>Cobertura del acueducto rural, recálculo 2012</i>	115
3.3.4.2.5. <i>Índice de cobertura de energía eléctrica (ICEE) rural 2014</i>	115
3.3.4.3. <i>Criterio mano de obra</i>	116
3.3.4.4. <i>Criterio tamaño de los predios rurales y formalidad de la propiedad</i>	116
3.3.4.4.1. <i>Área de predios de mayor tamaño, porcentaje de área de predios grandes</i>	116
3.3.4.4.2. <i>Área de predios de menor tamaño, porcentaje de área de predios microfundio</i>	116
3.3.4.4.3. <i>Porcentaje de informalidad de la propiedad rural</i>	117
3.3.4.5. <i>Criterio institucionalidad</i>	117
3.3.4.5.1. <i>Índice de desempeño integral municipal</i>	117
3.3.4.5.2. <i>Porcentaje de inversión en el sector agropecuario 2013-2014</i>	117
3.3.4.6. <i>Criterio asociativas</i>	118
3.3.4.7. <i>Criterio seguridad</i>	118
3.3.4.7.1. <i>Promedio de accidentes e incidentes por minas antipersonas 2010-2014</i>	118
3.3.4.7.2. <i>Promedio de acciones armadas 2010-2014</i>	118
3.3.4.7.3. <i>Tasa de desplazamiento forzado 2010-2014</i>	119

3.3.4.7.4. Tasa de homicidios 2010-2014	119
3.3.5. Excluyentes y condicionantes	119
3.3.5.1. Los excluyentes para la zonificación	119
3.3.5.1.1. Excluyentes legales	119
3.3.5.1.2. Excluyentes técnicos	121
3.3.5.2. Condicionantes legales para la zonificación	123
<b>3.4. Integración de componentes y criterios para la ZTI</b>	<b>125</b>
3.4.1. Integración para el componente físico	126
3.4.1.1. Tipos de tierras con fines de riego	127
3.4.2. Integración del componente recurso hídrico	129
3.4.3. Integración del componente ecosistémico	129
3.4.3.1. Estandarización	129
3.4.3.2. Evaluación multicriterio (EMC)	130
3.4.4. Integración del componente socioeconómico	132
<b>4. ZONIFICACIÓN GENERAL DE TIERRAS CON FINES DE IRRIGACIÓN (ZTI): RESULTADOS</b>	<b>135</b>
<b>4.1. Componente físico</b>	<b>138</b>
<b>4.2. Componente recurso hídrico superficial</b>	<b>139</b>
4.2.1. Necesidad del recurso hídrico superficial	139
4.2.2. Disponibilidad del recurso hídrico superficial	140
4.2.3. Regulación del recurso hídrico superficial	141
<b>4.3. Componente ecosistémico</b>	<b>142</b>
<b>4.4. Componente socioeconómico</b>	<b>143</b>
<b>4.5. Excluyentes y condicionantes de la ZTI</b>	<b>144</b>
4.5.1. Excluyentes legales	144
4.5.2. Excluyentes técnicos	145
4.5.3. Condicionantes legales	146
<b>5. ÁREAS POTENCIALES CON FINES DE IRRIGACIÓN PARA PRIORIZACIÓN DE PROYECTOS DE ADECUACIÓN DE TIERRAS</b>	<b>147</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>150</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>153</b>
<b>ANEXO: FICHAS METODOLÓGICAS</b>	<b>159</b>

## Lista de abreviaturas

AICA	Áreas importantes para la conservación de las aves
APAT	Área potencial para la adecuación de tierras
CAR	Corporación Autónoma Regional
Embrapa	Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria
EMC	Evaluación multicriterio
EOT	Esquema de ordenamiento territorial
GIBSE	Gestión integral de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos
GIRH	Gestión integral del recurso hídrico
Iacal	Índice de alteración potencial de la calidad del agua
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
ICSM	Indicador de condiciones socioeconómicas municipales
Ideam	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IDH	Informe sobre el desarrollo humano
MADS	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (desde 2011)
MMA	Ministerio del Medio Ambiente
NRCS	Servicio de Conservación de los Recursos Naturales
PBOT	Plan básico de ordenamiento territorial
PNGIBSE	Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos
PNGIRH	Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico
PNNC	Parques Nacionales Naturales de Colombia
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
Pomca	Plan de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas





POT	Plan de ordenamiento territorial
RNSC	Reservas naturales de la sociedad civil
SINA	Sistema Nacional Ambiental
Sinap	Sistema Nacional de Áreas Protegidas
SPNN	Sistema de Parques Nacionales Naturales
SZH	Subzona hidrográfica
UPRA	Unidad de Planificación Rural Agropecuaria
USDA	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos

# Índice de cuadros y figuras

Cuadro 1. Inventario de información de suelos	43
Cuadro 2. Clasificación de parámetros del suelo para clasificación de tierras para riego en Alberta	46
Cuadro 3. Guía para la selección de métodos de riego	58
Cuadro 4. Estimativos de nivelación de tierras en términos de cortes y rellenos	60
Cuadro 5. Valores máximos de lámina de riego aplicada y de longitud del recorrido en relación con la textura del suelo y la pendiente para cultivos densos	65
Cuadro 6. Especificaciones para la valoración de los factores topográficos	66
Cuadro 7. Clases de tierra para irrigación	75
Cuadro 8. Impactos ambientales de la adecuación de tierras	96
Cuadro 9. Variables para el criterio de usos sostenibles del suelo rural	97
Cuadro 10. Rangos y categorías del índice de uso del agua	99
Cuadro 11. Rangos y categorías del local	100
Cuadro 12. Conceptos claves en el criterio de conservación de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos	101
Cuadro 13. Resumen de subcriterios e indicadores del criterio de conservación de la biodiversidad	102
Cuadro 14. Criterios seleccionados en la ZTI para generar el ICSM en el componente socioeconómico	111
Cuadro 15. Excluyentes legales para la ZTI	120
Cuadro 16. Excluyentes técnicos para la ZTI	121
Cuadro 17. Condicionantes legales para la ZTI	123
Cuadro 18. Tipos de tierra con fines de riego	128





Cuadro 19. Estandarización de valores aplicados en la EMC del componente ecosistémico	130
Cuadro 20. Pesos asignados a indicadores y subcriterios para la EMC	132
Figura 1. Delimitadores y caracterizadores de la ZTI	83
Figura 2. Jerarquías temáticas para la ZTI	84
Figura 3. Proceso para la obtención del mapa ecosistémico de la ZTI	129
Figura 4. Esquema de integración de indicadores y subcriterios en la EMC	131
Figura 5. Esquema interpretativo del resultado de la ZTI	136
Figura 6. Esquema de la nomenclatura integral para la ZTI	137
Figura 7. Ejemplo de interpretación del código del mapa de ZTI	137
Figura 8. Intersección de mapas para la generación de APADT	148

# Resumen

La zonificación general de tierras con fines de irrigación para Colombia es una iniciativa promovida por la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA), entidad adscrita al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, con el propósito de proveer al sector agropecuario y al Gobierno nacional de un instrumento eficaz para la planificación de la agricultura bajo riego en Colombia, cuya finalidad es mejorar sustancialmente la competitividad de la producción agropecuaria en los mercados internacionales, nacionales y locales, dentro de un marco de sostenibilidad biofísica, socioeconómica y ambiental del territorio.

El objetivo del proyecto es zonificar las tierras para riego en función de su potencial físico, para la focalización eficiente de sistemas de irrigación, caracterizándolas desde los componentes ecosistémicos, socioeconómicos y del recurso hídrico superficial, en un contexto generalizado. La zonificación se ha dividido en tres componentes: 1. el biofísico, que contempla los factores edafológicos, los factores topográficos y los factores hidrológicos superficiales; 2. el componente socioeconómico, conformado por información social y económica del ámbito municipal, y 3. el componente ecosistémico, que contempla variables y criterios del sector ambiental y ecosistémico.

La metodología empleada para el desarrollo del modelo de zonificación se caracteriza por la conformación e integración de componentes, criterios y variables de múltiples temáticas, para la adecuada agrupación de tierras con características homogéneas para irrigación.

Como resultado, a nivel espacial se delimitó el territorio colombiano desde el componente físico de acuerdo con los criterios edafológicos y topográficos, con un modelo multiplicativo de variables, dando lugar a seis tipos de tierras para irrigación, en donde de la 1 a la 5 corresponden a zonificaciones para irrigación, con un total de 27.891.173 ha, y la tipo 6, con 15.808.349 ha, corresponde aquellas zonas donde por el grado de detalle de la información utilizada no se puede dar una tipología y por lo tanto se requerirá información más detallada, que permita conocer específicamente el tipo de tierras para irrigación.

Como complemento descriptivo para la tipificación biofísica del territorio, los componentes recurso hídrico, ecosistémico y socioeconómico presentan diferentes escalas de información, por lo cual no se realizaron operaciones espaciales de integración, donde caracterizan la unidad cartográfica de la tipología de tierras con fines de irrigación.

Palabras clave: SIG, irrigación, zonificación de tierras, riego, ecosistémico, físico, socioeconómico.



# Introducción



La Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA) tiene entre sus funciones definir los criterios y diseñar los instrumentos necesarios para planificar el uso eficiente del suelo rural dentro de un marco de su ordenamiento, con el fin de mejorar la competitividad de la producción agropecuaria y contar con bases sólidas para la definición de políticas para el sector agropecuario.

Específicamente, una de las funciones de la Dirección de Uso Eficiente del Suelo y Adecuación de Tierras de la UPRA es generar iniciativas de carácter técnico relacionadas con la adecuación de tierras para riego y drenaje, y con el uso eficiente del suelo rural. Esta función enmarcó la necesidad de estructurar un instrumento que permita la adecuada identificación y zonificación de las tierras con fines de irrigación para todo el territorio colombiano, con el fin de que el país cuente con un instrumento que le permita canalizar, focalizar y planificar los recursos fiscales y naturales del sector agropecuario en forma ordenada. De esta manera, la zonificación se estableció con el propósito de que, en el futuro, las explotaciones agropecuarias estén en armonía con un uso eficiente del suelo y del agua, y puedan lograrse cambios sustanciales no solo en cantidad, sino en calidad de la producción agrícola, para que así Colombia pueda penetrar competitivamente en los mercados nacionales e internacionales, dentro de un marco de sostenibilidad en términos de conservación de los recursos de tierra y agua en el tiempo y el espacio.

Es importante señalar que Colombia carecía de un instrumento de esta índole para la planificación de los distritos de riego y drenaje; en el pasado, distintas zonas fueron identificadas a nivel local como aptas para proyectos de adecuación de tierras y hoy están siendo explotadas en cultivos que no son armónicos con el potencial agroecológico característico de la región, obedeciendo a la defensa de la tradición de los agricultores locales. De igual manera, no son pocos los casos en que se han establecido sistemas de producción con métodos de riego que no corresponden a las características biofísicas de las tierras y que, por tal razón, sumado al inadecuado manejo del agua para riego, han resultado en degradación irreversible de las propiedades físicas de los suelos, en pérdidas de suelo por erosión hídrica, en contaminación de aguas subterráneas y de corrientes superficiales, y en procesos acelerados de salinización de los suelos.

Si bien es cierto que con base en la agricultura bajo riego el país podría adquirir compromisos masivos en los mercados internacionales, también lo es que estos mercados solo se alcanzarían si a la oferta la precedieran estudios específicos de demanda de productos agropecuarios. Debido a esto, los estudios de mercado agropecuarios

deben ser un complemento de importancia para la zonificación de tierras con fines de irrigación.

Asimismo, los productos que hoy tienen una alta demanda local, nacional e internacional, mañana pueden no tenerla, y puede en cambio haber gran demanda por productos anteriormente no cultivados. Estas fluctuaciones siempre se presentarán como efecto de la dinámica de los mercados; por esta razón, así como por el hecho de que con el correr del tiempo nueva información de carácter espacial surge, la zonificación propuesta debe ser dinámica y debe permitir que toda variación paramétrica sea tenida en cuenta.

De acuerdo con lo descrito, el proyecto tiene como objetivo general desarrollar y aplicar un modelo de zonificación general de tierras con fines de irrigación, con información a escala espacial 1:100.000, para el territorio colombiano, teniendo en cuenta el componente físico, ecosistémico y socioeconómico, de tal manera que permita establecer la interrelación agua-suelo-paisaje en una escala espacial.

La zonificación no pretende reglamentar el uso del suelo y del agua para proyectos de inversión de adecuación de tierras de manera detallada; ilustra una focalización espacial de donde se pueden definir áreas de alcance regional, de acuerdo con los requerimientos generales para implementación de sistemas de riego.

# I. ANTECEDENTES



## 1.1. Contexto general

La inversión que el Estado realiza como política de gobierno para el sector social rural se enfoca en mejorar las condiciones de vida de dicho sector, donde estudios recientes muestran que Colombia cuenta con un área neta aproximadamente de veintiséis millones de hectáreas para la producción agropecuaria y forestal (23 % del territorio colombiano), en el que 22 millones poseen vocación agrícola, de la cual solo se encuentran en el mismo uso 5,3 millones de hectáreas (IGAC, 2012).

Las áreas con vocación agrícola son las principales zonas que pueden ser aptas para distintos tipos de adecuación de tierras. El artículo 3.º de la Ley 41 de 1993 establece el concepto de adecuación de tierras como «[...] la construcción de obras de infraestructura destinadas a dotar un área determinada con riego, drenaje o protección contra inundaciones, con el propósito de aumentar la productividad del sector agropecuario»; este concepto hace referencia a las obras de infraestructura física u obras civiles hidráulicas y complementarias necesarias para suministrar agua para riego y drenar los excesos, en un área determinada, que hace parte de un territorio y a su vez, de una cuenca hidrográfica. La construcción de este tipo de infraestructura tiene como propósito incrementar la productividad, lo que significa generar una mayor producción en un área específica. El término «productividad» incorpora la optimización de los recursos, la eficiencia, el fomento de la producción sostenible, la producción con estándares de calidad e inocuidad, innovación tecnológica, transferencia de tecnología y necesariamente tiene que ir de la mano con la sostenibilidad ambiental, social y económica. A su vez, el incremento de la productividad debe traducirse en rentabilidad de la producción, que se garantiza con una comercialización adecuada, es decir, la competitividad de la producción de una zona.

La competitividad se puede lograr con una acción integral en el área del distrito donde confluyen diferentes actores de las cadenas para minimizar efectos de la variabilidad climática, el mercado y la comercialización, mediante acciones que minimicen los costos de producción con innovación, asistencia técnica y transferencia de tecnología, y que permitan la sostenibilidad de los recursos suelo y agua, el acceso a la propiedad rural, la optimización del uso de la tierra, infraestructura para la producción y el manejo poscosecha, entre otros.

Por otro lado, la Constitución Política de Colombia establece, en los artículos 64 y 65, que «Es deber del Estado promover el acceso progresivo a la propiedad de la tierra de los trabajadores agrarios, en forma individual o asociativa, y a los servicios de educación, salud, vivienda, seguridad social, recreación, crédito, comunicaciones, comercialización de los productos, asistencia técnica y empresarial, con el fin de mejorar el ingreso y la calidad de vida de los campesinos» y que «La producción de alimentos gozará de la especial protección del Estado. Para tal efecto, se otorgará prioridad al desarrollo integral de las actividades agrícolas, pecuarias, pesqueras, forestales y agroindustriales, así como también a la construcción de obras de infraestructura física y adecuación de tierras».

Por lo tanto, la adecuación de tierras es una prioridad del Estado para el desarrollo integral de actividades agropecuarias que conduzcan al incremento de la productividad, lo que implica mejorar el ingreso y conlleva calidad de vida de los campesinos; por otro lado, la adecuación de tierras conduce a crear condiciones para la seguridad alimentaria del país.

La Ley 41 de 1993, en el artículo 3.º, indica que «La adecuación de tierras es un servicio público»; por lo tanto, implica actividades de las entidades públicas o privadas con personería jurídica, creadas por Constitución o por ley, para prestarlo en forma regular y continua a un grupo de productores asentados en un territorio, razón por la cual es de interés general y se puede prestar por parte del Estado en forma directa, a través de una asociación de usuarios, mediante concesionario, o a través del sector privado, mediante asociaciones público-privadas (APP), para lo cual existirá una reglamentación específica. De acuerdo con lo anterior, la adecuación de tierras, definida como servicio público, implica la construcción de infraestructura física para riego, drenaje, control de inundaciones, con un manejo eficiente y sostenible, con acciones integrales complementarias como lo son asistencia técnica, transferencia de tecnología, buenas prácticas agronómicas, innovación, investigación y servicios complementarios, para garantizar en un territorio la productividad, mejores ingresos para los productores y mejores condiciones de vida, promoviendo así el desarrollo rural integral.



## 1.2. El concepto de distrito de adecuación de tierras

El artículo 4.º de la Ley 41 de 1993 establece el concepto de distrito de adecuación de tierras como «La delimitación del área de influencia de obras de infraestructura destinadas a dotar un área determinada con riego, drenaje o protección contra inundaciones; para los fines de gestión y manejo, se organizará en unidades de explotación agropecuaria, bajo el nombre de distritos de adecuación de tierras».

Tal concepto hace referencia a la delimitación espacial de una extensión o superficie geográficamente definida en un territorio, límites que se dan por el beneficio común de una infraestructura de riego o drenaje, o control de inundaciones para un sistema productivo agropecuario.

Esta porción de territorio tiene particulares condiciones agroclimáticas, geológicas, agrológicas, hidrológicas, topográficas, donde está asentada una población rural, organizada para la producción, con unas características particulares de orden social, ambiental y económico.

De conformidad con la legislación colombiana, el área de un distrito de adecuación de tierras hace parte de una regulación del territorio y por ende debe estar plenamente establecido y caracterizado respecto al uso eficiente del suelo, materializado en el plan de ordenamiento territorial de los municipios.

## 1.3. Actividades en los distritos de adecuación de tierras

En el distrito de adecuación de tierras, aunque la actividad económica principal es agropecuaria, esta se interrelaciona con otras tales como la industria, la agroindustria, el turismo, los servicios, el comercio y las instituciones; debido a esto, es relevante identificar el tipo de interacción y cómo están asentadas en el distrito, para optimizarlas en beneficio de los productores, que utilizan los servicios prestados para su actividad productiva.

Cuando la ley hace mención a un distrito de adecuación de tierras como unidad de explotación agropecuaria, se refiere a la concentración de producción agropecuaria, lo que conlleva la planificación de la producción; por lo tanto, deben existir reglamentos para el ordenamiento de la producción, que conduzcan a la optimización y sostenibilidad de los recursos suelo, agua y ambiente, que apunten a la comercialización en mercados específicos, de manera que se promueva la innovación y transferencia de tecnología, soportada en la asociatividad.

Teniendo en cuenta lo anterior, un distrito de adecuación de tierras, como un área delimitada por una infraestructura de riego, drenaje, control de inundaciones, hace parte integral del plan de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas (Pomca) y tiene una planificación de la actividad agropecuaria como respuesta a unas necesidades del mercado y de seguridad alimentaria, acorde con las políticas estatales.

#### 1.4. El agua en la producción agropecuaria

La economía colombiana debe sustentarse en el desarrollo de sus procesos productivos y dentro de ellos, el uso y el manejo adecuado de los recursos hídricos está llamado a ocupar un lugar de gran importancia. El hombre, como administrador de tales procesos, encuentra en el agua el recurso natural renovable más importante como elemento de consumo y, por consiguiente, como fuente de su salud y bienestar. Gracias al ciclo hidrológico se puede contar con disponibilidad del recurso para múltiples usos a través de fuentes diversas como la precipitación, almacenamientos naturales como lagos y lagunas, corrientes superficiales como ríos y quebradas, así como también almacenada en formaciones acuíferas subterráneas, cuya recarga se origina en las fuentes mencionadas. La disponibilidad del agua, no obstante, presenta gran variabilidad en el tiempo y el espacio, debido a los fenómenos meteorológicos que enmarcan el clima de una región; es por esta razón que para establecer un equilibrio adecuado entre la oferta y la demanda del recurso, el hombre debe proyectar y construir obras de ingeniería de índole diversa, como las presas de almacenamiento, que permitan regulación de caudales durante periodos de elevada pluviosidad y disponibilidad durante las épocas de estiaje, obras de trasvase para suplir deficiencias a nivel de cuencas y obras de derivación y conducción en general, que permitan distribuir el agua a los sitios en donde es requerida.

Colombia es un país caracterizado por un desarrollo apenas incipiente en materia de aprovechamiento de sus recursos hídricos. Los problemas que se afrontan en este sentido, ciertamente no pueden ser adjudicados en su totalidad a escasez del recurso o a la competencia entre las demandas propias de los diferentes usos; un examen no muy exhaustivo sobre los planes de desarrollo regional a lo largo de nuestra historia, muy probablemente nos conduciría a concluir que son de mayor significancia los problemas que guardan relación con la priorización de las inversiones realizadas en los diferentes sectores de desarrollo, la cultura del agua y, paralelamente, la transferencia de tecnología sobre manejo adecuado de los recursos hídricos. No menos importante es la falta de información básica que permita establecer inventarios reales sobre disponibilidad de agua y sobre requerimientos para distintos usos, así como también la ejecución eficiente de planes de operación y conservación de las obras hidráulicas existentes.

En cuanto al aprovechamiento de recursos hídricos para agricultura bajo riego, Colombia es uno de los países del mundo de menor desarrollo. A pesar de que el área potencial irrigable en tierras planas asciende a 6,59 millones de hectáreas y considerando además que el potencial total irrigable, incluidas zonas de laderas productivas en forma sostenible, sobrepasa ampliamente la cifra de diez millones de hectáreas, en la actualidad existe un área bruta bajo riego que tan solo alcanza la cifra de 526.199 hectáreas. De esta área, el 70,39 % (370.415 ha) corresponde al esfuerzo de la empresa privada y de agricultores progresistas, y solo un 29,61 % (155.784 ha) está representado por las inversiones del Estado en distritos de riego. En obras exclusivamente de drenaje agrícola, el sector público ha adecuado 132.000 hectáreas de área bruta (58,77 %) y el sector privado, 92.604 hectáreas de área bruta (41,23 %). Las cifras mencionadas hacen parte de lo que en nuestro medio suele llamarse mediana y gran

irrigación y drenaje, y si se tienen en cuenta además 22.652 hectáreas de área bruta que el sector público ha adecuado con obras de pequeña irrigación, se obtiene un gran total de solamente 773.455 hectáreas de área bruta con infraestructura para riego. El balance anterior indica que la agricultura colombiana bajo riego o drenaje cubre únicamente un área bruta equivalente al 0,68 % del territorio nacional. Puede entonces afirmarse que Colombia es un país de agricultura tradicional de secano y que por esta razón su producción agrícola no es competitiva en los mercados internacionales.

En la actualidad, la problemática del agua en la agricultura colombiana puede ser resumida en los siguientes puntos:

- La estacionalidad de la producción agropecuaria.
- La educación y la transferencia de tecnología.
- La operación deficiente de los distritos de riego y drenaje.

Fotografía: Juan Camilo Rodríguez.



- El monocultivo de arroz en los distritos de riego de clima cálido.
- La falta de una política agresiva y coherente de adecuación de tierras.

#### I.4.1. Estacionalidad de la producción agropecuaria

La agricultura de Colombia es en esencia de tipo estacional, por cuanto depende casi exclusivamente de las lluvias. La distribución de la precipitación, caracterizada por un solo pico en algunas partes del territorio nacional, y por dos picos en otras, conduce a una fluctuación considerable en los precios de mercado de productos agropecuarios, como efecto del gran desequilibrio entre la oferta y la demanda, desequilibrio que se presenta con la periodicidad propia de la agricultura de secano. Son características del mercado colombiano las subidas verticales de precios de productos agropecuarios a causa directa de las sequías, cuya consecuencia es un duro golpe a la economía del consumidor. Por otra parte, es usual que la producción durante los periodos lluviosos conduzca a que la oferta supere ampliamente la demanda; en este caso, son las economías de los productores las que deben soportar el impacto, hasta el punto de llevar a la ruina a muchas familias y provocar la migración de campesinos hacia los centros urbanos. Son igualmente dignas de examen las situaciones en las cuales se presentan lluvias de gran intensidad que ocasionan, por inundación, la pérdida parcial o total de las cosechas.

Es importante señalar que la dependencia casi absoluta de la agricultura de secano es la causa principal de la falta de competitividad de la producción agropecuaria del país en los mercados internacionales. Adquirir compromisos en el comercio internacional no solamente resulta casi imposible, sino que puede ser altamente riesgoso, ya que jamás podrán predecirse con exactitud las irregularidades de la precipitación y su efecto sobre los niveles de calidad y cantidad de la producción agropecuaria.

#### I.4.2. Educación y transferencia de tecnología

Frente al panorama descrito no puede dudarse que la cultura del agua debe convertirse en el ingrediente fundamental para el desarrollo de una agricultura bajo riego y drenaje en Colombia. La historia del país ha demostrado que la tradición de una agricultura de secano y la falta de una cultura del agua han ido transcurriendo en forma paralela a través del tiempo; más aún, pareciera que la segunda se apoyara en la primera para no encontrar justificación alguna para el cambio. Existe un desconocimiento casi total de las prácticas de manejo sostenible del agua en general y, específicamente, del manejo adecuado del agua de riego y drenaje en la agricultura. Esta es una situación que caracteriza a todos los niveles educacionales en mayor o menor grado; es así como se observa que hace falta crear más conciencia en nuestra educación primaria y secundaria sobre el papel que debe desempeñar el agua en la agricultura y, en algunas carreras universitarias de orientación agrícola, puede verse la necesidad de establecer reformas que propicien una formación profesional sobre manejo integral y sostenible de los recursos naturales.

Como consecuencia de lo anterior, es baja la capacidad de aceptación de tecnología en materia de uso y manejo de recursos hídricos por parte de la población en general y de los agricultores en particular y, por otra parte, la asistencia técnica agrícola colombiana ha tenido y continúa teniendo un enfoque netamente fitosanitario y se ha olvidado por completo, entre otros, el factor de producción más importante: el manejo adecuado del agua en la producción agropecuaria.

#### 1.4.3. Operación de los distritos de riego y drenaje

La operación de los distritos de riego o drenaje se ve afectada por cuatro factores principales:

1. El desconocimiento de los requerimientos de agua para los cultivos y de sus coeficientes de drenaje.
2. El uso generalizado de métodos de riego no apropiados para las condiciones prediales, para la disponibilidad de agua y para el tipo de cultivo.
3. La falta de controles adecuados para la entrega de agua a los usuarios.
4. La Ausencia de una política de definición y de actualización de tarifas de agua.

Estas situaciones se han identificado en las diferentes salidas técnicas de verificación y estado del arte de algunos distritos de adecuación de tierras visitados por la UPRA.

El manejo inadecuado del agua descrito no solamente ha traído consecuencias negativas a corto plazo, como el riego de áreas muy pequeñas, equivalentes hasta el 50 % o menos de las potencialmente irrigables con el caudal disponible, sino también a largo plazo, como son los casos de degradación de los suelos por erosión hídrica y por procesos de salinización.

Las tarifas tanto fijas como volumétricas que deben cobrar los distritos de riego están desactualizadas y, por consiguiente, muy por debajo de los costos reales. Por esta razón, los presupuestos de conservación de las obras de infraestructura son insuficientes y han repercutido en bajas eficiencias de conducción y en disminución tanto de la capacidad de las obras como de su vida útil.

A los problemas anteriores se suma el manejo deficiente de las cuencas hidrográficas en donde se encuentran localizados los distritos de riego o drenaje. Por causa de esta circunstancia, los caudales en las bocatomas se han venido disminuyendo significativamente, lo que por ende afecta las áreas potenciales irrigables; en la actualidad, en algunos de los distritos de riego más antiguos solamente sigue funcionando entre el 60 % y el 80 % del área para la cual fueron diseñados.

#### 1.4.4. El cultivo de arroz en los distritos de riego de clima cálido

En la mayoría de los distritos de riego de clima cálido construidos por el Estado puede hablarse sin lugar a duda del arroz como monocultivo bajo riego. Algunas circunstancias favorecen este hecho; tal es el caso de la rusticidad característica de la especie vegetal, por cuanto su producción no se ve afectada significativamente como respuesta a variaciones en láminas o caudales de humedecimiento, inundación y mantenimiento del embalse en las melgas. Favorecen también el monocultivo las bajas tarifas volumétricas, la falta de controles adecuados para entrega de agua a los predios y la localización de los distritos de riego en cercanía a grandes centros urbanos, con lo cual se facilitan tanto la cosecha y la localización de molinos para su beneficio y empaque como la comercialización de la producción.

Investigaciones adelantadas por el programa de manejo de aguas del ICA en los distritos de riego de Montería-Mocarí (en el departamento de Córdoba), Usocoello (en el departamento del Tolima) y El Juncal (en el departamento del Huila) indican que con la misma cantidad de agua disponible podría incrementarse entre el 50 % y el 100 % el área arrocera bajo riego y hasta triplicarse en términos promedio el área total bajo riego, si se adelantara un plan de diversificación de cultivos. Por otra parte, los mismos estudios indican que a pesar de que el costo volumétrico del agua está muy por debajo de la realidad, las tasas internas de retorno para el cultivo del arroz en predios arrendados han sido muy inferiores a las tasas de interés de crédito agrícola, como efecto de los excesivos costos del arrendamiento de las tierras.

Muy conocidas son las áreas potenciales con que cuenta el país en zonas inundables para la producción, entre otros, del cultivo de arroz de secano. Estas áreas sobrepasan 1,5 millones de hectáreas y están localizadas en regiones como la depresión momposina, en el departamento de Bolívar, y en las vegas inundables de los ríos Sinú, San Jorge, Magdalena, Cauca y Meta, entre las más importantes. Sería conveniente que estas áreas, en general aún no explotadas o inadecuadamente explotadas, fueran las que absorbieran totalmente el cultivo del arroz cuando los actuales productores analizaran a fondo los bajos niveles de rentabilidad del cultivo bajo riego y el Gobierno nacional pusiera en ejecución un plan agresivo de diversificación de cultivos en los distritos de riego con respaldo de políticas eficientes de crédito y mercado, además de incentivos por medio de tarifas de agua diferenciales que favorecieran los cultivos de dicha diversificación, o que, de otra manera, penalizaran con tarifas volumétricas de agua más costosas las áreas de arroz de aquellos usuarios que insistieran en continuar con el cultivo en los distritos de riego.

#### 1.5. La normatividad en la adecuación de tierras

Frente al panorama mundial, Colombia es uno de los países menos desarrollados en materia de agricultura bajo riego. Las primeras inversiones fueron hechas por la United Fruit Company en las postrimerías del siglo XVIII, en el distrito de riego Prado de Sevilla, hoy Zona Bananera, departamento del Magdalena. La capacidad

de este distrito fue del orden de 28.000 hectáreas. Solo hasta 1926, el Ministerio de Minas y Economía construyó el distrito de riego La Ramada, en la Sabana de Bogotá, cuyas obras fueron complementadas posteriormente por la Caja Agraria hasta beneficiar un área neta de riego de 5508 hectáreas (bruta de 6500 hectáreas). Este distrito pasó a ser administrado posteriormente por Electraguas, y desde 1968, con la creación de la CAR, su administración pasó a esta entidad regional. En 1944 se hicieron algunas nuevas inversiones por parte de Electraguas en un proyecto de drenaje de 16.000 hectáreas en los valles del Alto Chicamocha y Firavitoba, en el departamento de Boyacá. En 1949, el Ministerio de Economía Nacional construyó una pequeña represa para derivar agua del río Recio con fines de generación de energía eléctrica y riego en la zona de Lérida, en el departamento del Tolima. Esta zona, de 3700 hectáreas, solo pudo regarse a partir del año 1951, cuando se ejecutaron las obras de adecuación de tierras. Hacia el mismo año, la Caja de Crédito Agrario Industrial y Minero concluyó la ampliación del distrito de Lérida en una extensión de 2700 hectáreas, correspondiente a la zona de Ambalema. Entre los años 1949 y 1953, la misma entidad construyó los distritos de riego de Coello y Saldaña, en el departamento del Tolima, para beneficiar 28.000 hectáreas. La Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) construyó el distrito de riego y drenaje Roldanillo-La Unión-Toro, con un área de 9700 hectáreas, entre los años 1959 y 1962.

La Ley 135 de 1961 creó el Instituto Colombiano de la Reforma Agraria (Incora) y se le asignaron, entre otras, funciones de adecuación de tierras para nuevas obras de riego y drenaje y para la administración de los distritos de riego existentes. Esta entidad adelantó, a partir de 1963, la construcción de los siguientes distritos de riego y drenaje:

Fotografía: Juan Camilo Rodríguez.



Repelón, Santa Lucía y Manatí, en el departamento del Atlántico; María La Baja, en el departamento de Bolívar; Montería-Mocarí y La Doctrina, en el departamento de Córdoba; El Juncal, El Porvenir y San Alfonso, en el departamento del Huila; Zulia y Ábrego, en el departamento de Norte de Santander; Sibundoy, en el departamento de Putumayo, y Lebrija, en el departamento de Santander. Estos nuevos distritos de riego y drenaje construidos por el Incora ascendieron solamente a un total de 88.400 hectáreas. Teniendo en cuenta los distritos de riego y drenaje más antiguos, el área total bajo la administración del Incora alcanzó escasamente la cifra de 182.008 hectáreas de área neta.

Las funciones relativas a la adecuación de tierras para riego, así como también la administración de los distritos de riego y drenaje, fueron suspendidas al Incora y asignadas al Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras (Himat), por medio del Decreto 132 de 1976. La Ley 99 de 1993 divide el Himat en dos nuevos institutos: el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam) y el Instituto Nacional de Adecuación de Tierras (INAT).

De acuerdo con las cifras anteriores, puede resumirse que la participación del Estado en obras de riego y drenaje ha tenido dos ciclos de inversión: el primero, antes de la creación del Incora, para un área de 93.608 hectáreas, y el segundo, con la creación del mismo instituto, para un área de 88.400 hectáreas. Las cifras anteriores corresponden a áreas netas. Si bien es cierto que se han acometido algunas obras de adecuación de tierras por parte del Himat y el INAT, las áreas son mínimas, comparadas con las de los ciclos mencionados, como quiera que después del Incora el incremento en área bruta ha sido tan solo del orden de 22.982 hectáreas, hasta el año 2002, situación debido a que, muy probablemente, el Estado no consideró prioritario invertir en nuevas obras para riego y drenaje, a pesar de que las entidades adelantaron varios estudios de factibilidad y de diseño de proyectos, los cuales bien hubieran podido entrar en su fase de construcción.

Por otra parte, como ya se señaló, las obras de riego o drenaje ejecutadas por el sector privado alcanzan la cifra de 463.019 hectáreas, lo cual indica que ha sido más notorio el esfuerzo realizado por este sector en materia de adecuación de tierras. Las ejecutorias del sector privado, sumadas a las del sector público, alcanzan escasamente la cifra de 773.455 hectáreas de área bruta con obras de riego o drenaje. Ante esta circunstancia, puede observarse con claridad que la agricultura en Colombia es fundamentalmente de secano y puede también afirmarse que es imperativo para el país acometer un plan serio de ampliación de la frontera agrícola bajo riego y drenaje, si existe un verdadero propósito de penetrar competitivamente en los mercados externos.

Frente a los retos impuestos por la apertura económica, la Presidencia de la República del periodo 1990-1994, a través del Departamento Nacional de Planeación, gestó el Plan de Desarrollo Económico y Social como fundamento de la denominada «Revolución pacífica». Componente importante de esta política sectorial fue el Programa Decenal de Adecuación de Tierras 1991-2000, cuyo costo fue estimado en USD 1061 millones para la adecuación de cerca de 535.500 hectáreas nuevas de área neta con obras de riego o drenaje, con el fin de beneficiar un área bruta

total de 1.372.000 hectáreas. El Programa Decenal de Adecuación de Tierras mencionado no fue llevado a la realidad, debido principalmente a dificultades de orden financiero.

Como soporte a las políticas de adecuación de tierras, se sancionó la ley de adecuación de tierras en enero de 1993, cuyo artículo 9.º crea el Consejo Superior de Adecuación de Tierras (Consuat), como organismo consultivo y coordinador del Ministerio de Agricultura, encargado de asesorar y recomendar la aplicación de las políticas del subsector de adecuación de tierras.

La CAR ha proyectado la ampliación del distrito de riego La Ramada en cinco etapas, a saber: 1) 580 hectáreas, actualmente en ejecución; 2) 1735 hectáreas; 3) 2427 hectáreas; 4) 4894 hectáreas, y 5) 1655 hectáreas, cuyo total es de 11.291 hectáreas adicionales. Recientemente, la misma entidad ha iniciado los estudios correspondientes para una nueva ampliación del mismo distrito en el sector denominado Bojacá-La Herrera, en un área neta de 2200 hectáreas (bruta, de 2800 hectáreas). Si los proyectos de ampliación del distrito de riego La Ramada se llevaran todos a feliz término, alcanzaría un gran total de 18.999 hectáreas netas, incluyendo las 5508 hectáreas netas actuales.

La Presidencia de la República, al considerar la supresión del Incora, del INAT, del Fondo de Cofinanciación para la Inversión Rural (DRI) y del Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INPA), creó, por medio del Decreto 1300 de 2003, el Instituto Colombiano de Desarrollo Rural (Incoder) y le asigna, entre otras, las funciones relacionadas con la adecuación de tierras para riego y drenaje, las cuales anteriormente fueron responsabilidad del INAT. Por medio del Decreto 3759 de 2009, se modifica la estructura del Incoder, aunque las funciones de adecuación de tierras siguen siendo parte de sus responsabilidades.

Entre las ejecutorias del Incoder están las siguientes:

Según el «Informe de gestión 2012», se rehabilitaron 1712 hectáreas en distritos de pequeña escala y se avanzó positivamente en la reactivación y capitalización de los proyectos de distritos de riego de gran escala de Tesalia-Paicol, en el Huila, del Triángulo del Tolima y de Ranchería, en La Guajira.

En la vigencia 2013, el informe de gestión mostró que el proyecto de distrito de riego Tesalia-Paicol tuvo un avance del 68 %, con una inversión de \$ 119.116 millones; el avance del Triángulo del Tolima registró un avance del 48 %, con una inversión de \$ 484.167 millones; y en el proyecto Ranchería, en fase I, el avance fue del 100 %, con una inversión de \$ 650.000 millones.

El proyecto Tesalia-Paicol (3823 ha de área neta), de acuerdo con el «Informe de gestión 2014», tuvo un avance de obra acumulado del 42 %, con una inversión de \$ 89.410 millones; el Triángulo del Tolima (20.402 ha netas de riego) registró un avance del 100 % en construcción, fases I y II, y un avance de obra acumulado del 50 %, con una inversión de \$ 495.167 millones; y el proyecto Ranchería (18.536 ha entre Ranchería y San Juan del Cesar) tuvo un avance

del 97 % en actualización de estudios y diseños de la fase II, con una inversión de \$ 8628 millones.

La anterior historia de la irrigación en Colombia permite concluir que, efectivamente como ya se había anotado, la economía agrícola del país está cifrada en una agricultura de secano y, por consiguiente, no competitiva en cuanto a calidad y cantidad de su producción en los mercados internacionales. En consecuencia, es indispensable y urgente que el país acometa un plan serio y coherente de adecuación de tierras para riego y drenaje, que sea sostenible en el tiempo y el espacio, que sea costo-efectivo y que mejore sustancialmente la competitividad del país. Es precisamente con el propósito de contribuir en forma eficaz a que se genere un cambio en los sistemas de producción en favor de la agricultura que la UPRA, a través de la Dirección de Uso Eficiente del Suelo y Adecuación de Tierras, presenta al país el proyecto de



zonificación de las áreas potenciales de adecuación de tierras con fines de riego y drenaje.

### 1.5.1. Marco jurídico ambiental

La normatividad ambiental colombiana está constituida por un conjunto de leyes, decretos y resoluciones establecidas para prevenir, controlar, mitigar y compensar el deterioro del medioambiente y conservar y preservar los recursos naturales bajo la filosofía del desarrollo sostenible (MAVDT-INAT, 2003). En esta sección se relacionan las principales normas que regulan la protección del medioambiente y los recursos naturales, con énfasis en aquellas que orientan la actuación del Estado en materia de planificación territorial.

#### 1.5.1.1. Constitución Política de Colombia

En primer lugar, hay que señalar los artículos de la Constitución Política relacionados con la protección del medioambiente y los recursos naturales (Consejo Superior de la Judicatura, 2010):

- Artículo 8. Es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas naturales de la nación.
- Artículo 79. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.
- Artículo 80. El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados.

#### 1.5.1.2. Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente

En segunda instancia, el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente (Decreto Ley 2811 de 1974), tiene por objeto lograr la preservación y restauración del ambiente y la conservación, el mejoramiento y la utilización racional de los recursos naturales renovables, prevenir y controlar los efectos nocivos de su explotación, y regular la conducta humana, individual o colectiva y la actividad de la administración pública, respecto de estos y del ambiente en general. Entre otras normas generales, este código estableció la obligación del Estado de implementar políticas y normas sobre zonificación para la adecuada protección del ambiente y los recursos naturales, así como el principio según el cual los suelos del territorio nacional deberán usarse de acuerdo con sus condiciones y factores constitutivos, determinando su uso potencial según los factores físicos, ecológicos y socioeconómicos de la región.

Asimismo, estableció los tipos de áreas de manejo especial creadas para la administración, el manejo y la protección del ambiente y de los

recursos naturales renovables: los distritos de manejo integrado, las áreas de recreación, las cuencas hidrográficas, los distritos de conservación de suelos y el Sistema de Parques Nacionales Naturales (SPNN).

#### *1.5.1.3. Ley 99 de 1993*

Por su parte, la Ley 99 de 1993 estableció los fundamentos o principios generales de la política ambiental nacional, tales como el desarrollo sostenible, la protección de la biodiversidad, la protección especial de zonas de páramos, subpáramos, nacimientos de agua y recarga de acuíferos, el principio de precaución y la protección del paisaje. Además, organizó el Sistema Nacional Ambiental (SINA), en cabeza del Ministerio del Medio Ambiente, definió el ordenamiento ambiental del territorio, las reservas naturales de la sociedad civil (RNSC) y el interés de carácter público de las áreas de importancia estratégica para la conservación de recursos hídricos que surten de agua los acueductos municipales y distritales.

#### *1.5.1.4. Ley 165 de 1994*

Mediante la Ley 165 de 1994, el país adoptó el Convenio sobre la Diversidad Biológica de Río de Janeiro (ONU, 1992), el cual tiene como objetivos la conservación de la diversidad biológica, la utilización sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos. Según este convenio, entre otros, cada parte contratante:

- Integrará, en la medida de lo posible y según proceda, la conservación y la utilización sostenible de la diversidad biológica en los planes, los programas y las políticas sectoriales o intersectoriales.
- Identificará los procesos y las categorías de actividades que tengan o sea probable que tengan efectos perjudiciales importantes en la conservación y utilización sostenible de la diversidad biológica y procederá, mediante muestreo y otras técnicas, al seguimiento de esos efectos.
- Promoverá la protección de ecosistemas y hábitats naturales y el mantenimiento de poblaciones viables de especies en entornos naturales.
- Establecerá arreglos apropiados para asegurarse de que se tengan debidamente en cuenta las consecuencias ambientales de sus programas y políticas que puedan tener efectos adversos importantes para la diversidad biológica.

#### *1.5.1.5. Ley 357 de 1997*

Por medio de esta ley se aprobó en Colombia la «Convención relativa a los humedales de importancia internacional especialmente como hábitat de aves acuáticas», suscrita en Ramsar, en 1971. Esta convención es un tratado intergubernamental marco para la cooperación internacional para la conservación de humedales. Su objeto primordial

es la conservación y protección de los humedales de importancia internacional y, en especial, de los que albergan aves que dependen ecológicamente de los humedales (aves acuáticas).

A partir del reconocimiento de la importancia de los humedales como reguladores de los regímenes hidrológicos y como hábitat de una fauna y flora características, especialmente aves acuáticas, así como de su valor económico, cultural, científico y recreativo, esta convención define las acciones que los países suscritos adelantarán en pro de la conservación de estos ecosistemas, que incluye, entre otras, las siguientes:

- Designar humedales idóneos de su territorio para ser incluidos en la lista de humedales de importancia internacional.
- Elaborar y aplicar su planificación, de forma que favorezca la conservación de los humedales incluidos en la lista, y en la medida de lo posible, el uso racional de los humedales de su territorio.
- Fomentar la conservación de los humedales y de las aves acuáticas, creando reservas naturales en aquellos, estén o no incluidos en la lista, y tomar las medidas adecuadas para su custodia.

#### *1.5.1.6. Ley 388 de 1997*

La Ley 388 de 1997, en su artículo 10, definió las determinantes de ordenamiento territorial como las normas de superior jerarquía que los municipios y distritos deben tener en cuenta en la elaboración y adopción de sus planes de ordenamiento territorial (POT), planes básicos de ordenamiento territorial (PBOT) o esquemas de ordenamiento territorial (EOT), según sea el caso. Específicamente, y en términos generales, se entiende que son determinantes ambientales todas las disposiciones ambientales que tengan un nivel jerárquico superior y que son obligatorias, razón por la cual no pueden ser desconocidas por los municipios cuando elaboren, revisen o ajusten sus POT, PBOT o EOT (UPRA, 2013).

De acuerdo con la Ley 388 de 1997, estas determinantes comprenden las relacionadas con la conservación y protección del medioambiente y los recursos naturales, así como la prevención de amenazas y riesgos naturales:

- Las directrices, las normas y los reglamentos expedidos en ejercicio de sus respectivas facultades legales, por las entidades del SINA, en los aspectos relacionados con el ordenamiento espacial del territorio.
- Las regulaciones sobre conservación, preservación, uso y manejo del medioambiente y de los recursos naturales renovables, en las zonas marinas y costeras.
- Las disposiciones producidas por la CAR o la autoridad ambiental de la respectiva jurisdicción, en cuanto a la reserva,

el alindamiento, la administración o sustracción de los distritos de manejo integrado, los distritos de conservación de suelos, las reservas forestales y los parques naturales de carácter regional.

- Las normas y directrices para el manejo de las cuencas hidrográficas expedidas por la CAR o la autoridad ambiental de la respectiva jurisdicción.
- Las directrices y normas expedidas por las autoridades ambientales para la conservación de las áreas de especial importancia ecosistémica.
- Las disposiciones que reglamentan el uso y funcionamiento de las áreas que integran el Sistema de Parques Nacionales Naturales y las reservas forestales nacionales.
- Las políticas, directrices y regulaciones sobre prevención de amenazas y riesgos naturales.

#### *1.5.1.7. Decreto 3600 de 2007*

El Decreto 3600 de 2007 reglamentó las determinantes de ordenamiento del suelo rural, las cuales constituyen suelo de protección que, de acuerdo con la Ley 388 de 1997, son suelos que tienen restringida la posibilidad de urbanizarse. Estas determinantes incluyen:

- Las áreas de conservación y protección ambiental, que incluyen las áreas que deben ser objeto de especial protección ambiental de acuerdo con la legislación vigente: las áreas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (Sinap), las áreas de reserva forestal, las áreas de manejo especial y las áreas de especial importancia ecosistémica (páramos y subpáramos, nacimientos de agua, zonas de recarga de acuíferos, rondas hidráulicas de los cuerpos de agua, humedales, pantanos, lagos, lagunas, ciénagas, manglares y reservas de flora y fauna).
- Las áreas que hacen parte de la estructura ecológica principal (EEP), definida como el conjunto de elementos bióticos y abióticos que dan sustento a los procesos ecológicos esenciales del territorio, cuya finalidad principal es la preservación, la conservación, la restauración, el uso y el manejo sostenible de los recursos naturales renovables, los cuales brindan la capacidad de soporte para el desarrollo socioeconómico de las poblaciones.
- Las áreas de amenaza y riesgo, que incluyen las zonas que presentan alto riesgo para la localización de asentamientos humanos por amenazas o riesgos naturales, o por condiciones de insalubridad.

Son también categorías de protección del suelo rural las áreas para la producción agrícola y ganadera y de explotación de recursos naturales, que incluyen «los terrenos que deban ser mantenidos y preservados por su destinación a usos agrícolas, ganaderos, forestales o de explotación de recursos naturales. [...] En estos terrenos no podrán autorizarse actuaciones urbanísticas [...] que impliquen la alteración o

transformación de su uso actual. Dentro de esta categoría se incluirán, entre otros, [...] los suelos que según la clasificación del IGAC pertenezcan a las clases I, II y III, ni aquellos correspondientes a otras clases agrológicas que sean necesarios para la conservación de los recursos de aguas, control de procesos erosivos y zonas de protección forestal» (sic).

#### *1.5.1.8. Ley 1523 de 2012*

En relación con las áreas de amenaza y riesgo, el artículo 41 de la Ley 1523 de 2012 estableció que «los organismos de planificación nacionales, regionales, departamentales, distritales y municipales seguirán las orientaciones y directrices señalados en el Plan Nacional de Gestión del Riesgo y contemplarán las disposiciones y recomendaciones específicas sobre la materia, en especial lo relativo a la incorporación efectiva del riesgo de desastre como un determinante ambiental que debe ser considerado en los planes de desarrollo y de ordenamiento territorial» (sic).

#### *1.5.1.9. Decreto 1729 de 2002*

En materia de cuencas hidrográficas, el Decreto 1729 de 2002 reglamentó lo relacionado con su ordenación, definiendo como su objeto principal el planeamiento del uso y manejo sostenible de sus recursos naturales renovables, particularmente de sus recursos hídricos. Para esto, estableció como principios, entre otros:

- El carácter de especial protección, utilidad pública e interés social de las zonas de páramos, subpáramos, nacimientos de aguas y zonas de recarga de acuíferos, por ser considerados áreas de especial importancia ecológica.
- La prioridad del consumo humano sobre cualquier otro uso en la utilización de los recursos hídricos.
- La consideración de las condiciones de amenaza, vulnerabilidad y riesgos ambientales que puedan afectar el ordenamiento de la cuenca.

De acuerdo con lo previsto en el artículo 10 de la Ley 388 de 1997, el plan de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas (Pomca) constituye norma de superior jerarquía y determinante ambiental de los planes de ordenamiento territorial.

#### *1.5.1.10. Decreto 1640 de 2012*

Por su parte, el Decreto 1640 de 2012 estableció que los Pomca constituyen determinantes ambientales en relación a la zonificación ambiental, el componente programático y el componente de gestión del riesgo. Asimismo, especifica que las áreas que en el Pomca se definan como zonas de preservación constituyen suelo de protección, así como las áreas protegidas del nivel nacional, regional o local existentes en la cuenca por ordenar.

*1.5.1.11. Decretos 622 de 1977 y 1996 de 1999*

En lo concerniente a las áreas de manejo especial, el Decreto 622 de 1977 reglamenta lo establecido en el Decreto Ley 2811 de 1974, en relación con el Sistema de Parques Nacionales Naturales (SPNN) y la reserva, delimitación, zonificación (incluyendo zonas amortiguadoras) y administración de sus áreas. Por su parte, el Decreto 1996 de 1999 reglamentó los artículos 109 y 110 de la Ley 99 de 1993 sobre reservas de la sociedad civil (RNSC), definiendo los usos y las actividades en ellas permitidas y sus posibles categorías de zonificación.

*1.5.1.12. Decreto 2372 de 2010*

Finalmente, el Decreto 2372 de 2010 integró en una sola reglamentación sistémica las diversas categorías y denominaciones legales previstas en el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993, reglamentando el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (Sinap), y

Fotografía: Juan Camilo Rodríguez.



definiendo los objetivos o propósitos nacionales de conservación del país y del Sinap, las categorías de áreas protegidas y su naturaleza, sus posibles categorías de zonificación, usos y actividades permitidas.

De acuerdo con este decreto, las categorías de protección y manejo de los recursos naturales renovables reguladas por la Ley 2.ª de 1959, el Decreto Ley 2811 de 1974 o la Ley 99 de 1993 (no cobijadas por él) mantendrán su vigencia, pero no se considerarán como áreas del Sinap, sino como estrategias de conservación *in situ* que aportan a la protección, la planeación y el manejo de los recursos naturales renovables. Asimismo, las distinciones internacionales tales como los sitios Ramsar, reservas de biósfera, AICA y patrimonio de la humanidad, no son categorías de manejo de áreas protegidas, sino estrategias complementarias para la conservación de la diversidad biológica.

### 1.5.2. Marco jurídico de la adecuación de tierras en relación con lo ambiental

Por último, hay que tener en cuenta las consideraciones incluidas en la normatividad que regula el subsector de la adecuación de tierras en el país, relacionadas con el cuidado del medioambiente. Como primera medida, la Ley 41 de 1993, reglamentada parcialmente mediante el Decreto 1881 de 1994 y modificada por el Decreto 1300 de 2003, definió el concepto de adecuación de tierras y señaló como su objeto el de «regular la construcción de obras de adecuación de tierras [...] velando por la defensa y conservación de las cuencas hidrográficas».

Por su parte, el Decreto 1881 de 1994, que reglamenta parcialmente la Ley 41 de 1993, establece que «le corresponde a las Asociaciones de Usuarios de Distritos de Adecuación de Tierras, en coordinación con la autoridad ambiental respectiva, velar por la defensa y conservación de las cuencas hidrográficas aportantes circunscritas al área de un Distrito de Adecuación de Tierras» (sic).

### 1.5.3. Políticas ambientales

#### 1.5.3.1. Ley 99 de 1993

Como se mencionó anteriormente, la Ley 99 de 1993 estableció los principios generales o fundamentos de la política ambiental colombiana, los cuales deben ser aplicados al proceso de la zonificación de APAT. Entre estos se resaltan:

- El proceso de desarrollo económico y social del país se orientará según los principios universales y del desarrollo sostenible contenidos en la declaración de Río de Janeiro de junio de 1992 sobre medioambiente y desarrollo.
- La biodiversidad del país, por ser patrimonio nacional y de interés de la humanidad, deberá ser protegida prioritariamente y aprovechada en forma sostenible.

- Las zonas de páramos, subpáramos, los nacimientos de agua y las zonas de recarga de acuíferos serán objeto de protección especial.
- En la utilización de los recursos hídricos, el consumo humano tendrá prioridad sobre cualquier otro uso.
- Las autoridades ambientales y los particulares darán aplicación al principio de precaución conforme al cual, cuando exista peligro de daño grave e irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces para impedir la degradación del medioambiente.
- El paisaje, por ser patrimonio común, deberá ser protegido.
- La prevención de desastres será materia de interés colectivo y las medidas tomadas para evitar o mitigar los efectos de su ocurrencia serán de obligatorio cumplimiento.

#### *1.5.3.2. Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos*

La Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE) tiene como fundamento el reconocimiento de la relación directa de la biodiversidad con el desarrollo y el bienestar humano, así como con su seguridad y cultura, y por lo tanto tiene como propósito «garantizar la conservación de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos y la distribución justa y equitativa de los beneficios derivados de esta, para contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de la población colombiana» (MADS, s. f.).

La PNGIBSE plantea un cambio significativo en la forma de gestión de la biodiversidad, el cual implica, entre otros aspectos, el manejo integral de sistemas ecológicos y sociales íntimamente relacionados y la concepción de la conservación de la biodiversidad como el resultado de una interacción entre sistemas de preservación, restauración, uso sostenible y construcción de conocimiento e información. La gestión integral de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos (GIBSE) se define como «el proceso por el cual se planifican, ejecutan y monitorean las acciones para la conservación de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos, en un escenario social y territorial definido y en diferentes estados de conservación, con el fin de maximizar el bienestar humano, a través del mantenimiento de la resiliencia de los sistemas socioecológicos a escalas nacional, regional, local y transfronteriza».

Este nuevo enfoque busca generar «un marco de acción que permita un balance entre los diferentes intereses que tiene la sociedad frente a la biodiversidad y el mantenimiento de los servicios ecosistémicos derivados de esta, siguiendo los principios definidos por el enfoque ecosistémico, propuesto por el Convenio de Diversidad Biológica» (sic). Se deja atrás la idea de la biodiversidad como objeto de gestión exclusivamente del sector ambiental, para pasar a una gestión que promueva la corresponsabilidad social y sectorial, fomentando la participación social

y la incorporación de su gestión en la planificación de las acciones a corto, mediano y largo plazo (MADS, s. f.).

Los principios orientadores de la PNGIBSE incluyen (MADS, s. f.):

- La calidad de vida de la población está recíproca e indisolublemente relacionada con la conservación de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos.
- La gestión de la biodiversidad es una responsabilidad compartida, pero diferenciada entre todos los miembros de la sociedad.
- La diversidad biológica está estrechamente vinculada con la diversidad étnica y cultural. El reconocimiento de estas y el respeto a las diferencias culturales son fundamentales en el diseño de estrategias locales de conservación.
- La biodiversidad es la base de la riqueza natural y económica del país y es una de sus principales ventajas comparativas frente a otras naciones del mundo (competitividad).
- La gestión eficiente de la biodiversidad requiere la concurrencia de todos los sectores y de los actores públicos y privados que derivan su sustento de las actividades económicas, sociales o culturales asociadas con su uso y su protección (intersectorialidad).

#### *1.5.3.3. Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*

La Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH) tiene como objetivo general «garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico, mediante una gestión y un uso eficiente y eficaz, articulados al ordenamiento y uso del territorio y a la conservación de los ecosistemas que regulan la oferta hídrica, considerando el agua como factor de desarrollo económico y de bienestar social, e implementando procesos de participación equitativa e incluyente» (MAVDT, 2010a).

Para ello, la PNGIRH orienta la planificación, la administración, el seguimiento y el monitoreo del recurso hídrico a nivel nacional bajo un criterio de gestión integral del mismo, estableciendo los objetivos, las estrategias, las metas, los indicadores y las líneas de acción estratégica para el manejo del recurso hídrico en el país en un horizonte de 12 años (hasta el 2022). Esta política se enmarca dentro de las estrategias de la Política Nacional de Biodiversidad, que comprenden la conservación, el conocimiento y la utilización sostenible de los recursos naturales y de la biodiversidad del país, y posee un carácter transversal para otras esferas de la acción pública y para los diversos usuarios en todas las regiones del país (MAVDT, 2010a).

La gestión integral del recurso hídrico (GIRH) ha sido definida por la Global Water Partnership (GWP, citada por MAVDT, 2010a) como «un proceso que promueve la gestión y el aprovechamiento coordinado de los recursos hídricos, la tierra y los recursos naturales relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales».

Los principios de la GIRH implican un cambio de paradigma desde un sistema de manejo centrado en lo sectorial, en la infraestructura y en las inversiones hacia una aproximación multidisciplinaria, multisectorial e integrada. Entre sus principales postulados están (MAVDT, 2010a):

- La integración de la gestión del agua para todos sus usos, con el objetivo de maximizar los beneficios globales y reducir los conflictos entre los usuarios.
- La integración en la gestión de intereses económicos, sociales y ambientales, tanto de los usuarios directos del agua como de la sociedad en su conjunto.
- La integración de la gestión de todos los aspectos del agua (cantidad, calidad y tiempo de ocurrencia) que tengan influencia en sus usos y usuarios.
- La integración de la gestión a nivel de cuencas, acuíferos o sistemas hídricos interconectados.
- La integración de la gestión de la demanda de agua con la gestión de la oferta.
- La integración de la gestión del agua y de la gestión de la tierra y otros recursos naturales y ecosistemas relacionados.

Fotografía: Juan Camilo Rodríguez.



Los cuatro grandes objetivos de la PNGIRH se definen como (MAVDT, 2010a):

- Asegurar la oferta del recurso, conservando los ecosistemas y los procesos hidrológicos de los que depende la oferta de agua para el país.
- Caracterizar, cuantificar y optimizar la demanda de agua en el país.
- Mejorar la calidad y minimizar la contaminación del recurso hídrico.
- Desarrollar la gestión integral de los riesgos asociados a la oferta y disponibilidad del agua.

Para cumplir estos objetivos, la PNGIRH se fundamenta, entre otros, en los siguientes principios (MAVDT, 2010a):

- El agua es un bien de uso público y su conservación es responsabilidad de todos.
- El acceso al agua para consumo humano y doméstico tendrá prioridad sobre cualquier otro uso. Los usos colectivos tendrán prioridad sobre los usos particulares.
- El agua se considera un recurso estratégico para el desarrollo social, cultural y económico del país por su contribución a la vida, a la salud, al bienestar, a la seguridad alimentaria y al mantenimiento y funcionamiento de los ecosistemas.
- La cuenca hidrográfica es la unidad fundamental para la planificación y gestión integral descentralizada del patrimonio hídrico.
- El agua dulce se considera un recurso escaso y por lo tanto, su uso será racional y se basará en el ahorro y uso eficiente.
- La gestión del agua se orientará bajo un enfoque participativo y multisectorial, incluyendo a entidades públicas, sectores productivos y demás usuarios del recurso, y se desarrollará de forma transparente y gradual propendiendo por la equidad social.

Dada la importancia que tienen los sectores productivos en la gestión integral del recurso hídrico, el éxito de la política depende no solamente de las acciones que puedan desarrollar las instituciones que conforman el SINA, sino de las que implementen los sectores productivos, y de las instituciones públicas o privadas que los orientan y regulan (MAVDT, 2010a).

#### *1.5.3.4. Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible*

La Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible se orienta a cambiar los patrones insostenibles de producción y consumo por parte

de los diferentes actores de la sociedad nacional, buscando contribuir a reducir la contaminación, conservar los recursos, favorecer la integridad ambiental de los bienes y servicios, y estimular el uso sostenible de la biodiversidad, como fuentes de la competitividad empresarial y de la calidad de vida (MAVDT, 2010b).

El principio central de la estrategia de producción más limpia y conceptos asociados como el de ecoeficiencia consideran que la contaminación y la acelerada pérdida de recursos naturales constituyen un indicador de ineficiencias en la producción y en el uso de productos y servicios. En la medida en que estas ineficiencias son evitadas a través de la instrumentación de alternativas preventivas, los sectores mejoran su desempeño ambiental y al hacerlo, obtienen beneficios económicos (MAVDT, 2010b).

Teniendo en cuenta criterios como el nivel de contaminación, el consumo de recursos y el tamaño del sector, se identificaron algunos sectores estratégicos para la implementación de esta política, entre los cuales sobresalen (MAVDT, 2010b):

- Sector público: obras de infraestructura, vivienda social, tecnologías, transporte público, generación de energía, con perspectivas de incidir en avances de sostenibilidad de obras y proyectos de gran impacto, con potencial de que sea considerado como ejemplo en las prácticas de producción y consumo sostenible.
- Sector agroindustrial: sector intensivo en el uso de recursos y con alto potencial de optimización.

#### *1.5.3.5. Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2014-2018*

El PND 2014-2018 ha previsto para la transformación del campo y su consolidación como generador de empleo y riqueza para los habitantes rurales el desarrollo agropecuario y la seguridad alimentaria, así como el fortalecimiento de la competitividad agropecuaria, para lo cual la UPRA contribuirá reduciendo «los conflictos de uso del suelo mediante la concertación e implementación de un modelo de territorio en función del ordenamiento productivo, la realización de procesos agrarios que faciliten el acceso y aprovechamiento de la tierra, y la articulación de instrumentos de ordenamiento territorial».

#### *1.5.4. Principios, lineamientos y criterios ambientales de la UPRA*

En el año 2014, la UPRA generó los «lineamientos, criterios e instrumentos generales» y los «lineamientos, criterios e instrumentos técnicos específicos para la etapa de preinversión» para procesos de adecuación de tierras, los cuales constituyen la base fundamental para estructurar la zonificación de APAT, a escala 1:100.000.

Los lineamientos, criterios e instrumentos (LCI) para la adecuación de tierras son direccionamientos, reglas y pautas que encaminan a estar en sintonía con la nueva visión del sector agropecuario, con grandes

retos asociados a la competitividad y sostenibilidad económica, social y ambiental del territorio nacional. De acuerdo con estos, la adecuación de tierras debe estar orientada por los siguientes principios: 1) planeación y visión prospectiva, 2) gobernanza, 3) sostenibilidad, y 4) integralidad y desarrollo territorial (UPRA, 2014a).

Entre estos principios, los más relevantes para el componente ambiental son dos (UPRA, 2014a):

- Planeación y visión prospectiva: la adecuación de tierras incorpora un proceso ordenado de planeación e integración de acciones, para la optimización de los recursos, el mejoramiento de las condiciones de vida de los productores y el desarrollo rural integral de la región.
- Sostenibilidad: se garantizará la sostenibilidad social, cultural, ambiental, técnica y económica de los proyectos de adecuación de tierras que propendan por la conservación de la biodiversidad, los servicios ecosistémicos y los aspectos culturales.

Según los lineamientos y criterios ambientales técnicos específicos para la etapa de preinversión, los proyectos de adecuación de tierras deben acoger la planificación ambiental y las restricciones ambientales definidas en los Pomca y los planes de ordenamiento territorial (POT<sup>1</sup>), integrándose, armonizándose y articulándose con estas y con las directrices, la zonificación y las herramientas del ordenamiento territorial a nivel de cuenca y municipio (UPRA, 2015b).

Asimismo, los proyectos de adecuación de tierras se orientarán mediante una gestión sostenible de los recursos naturales, promoviendo el uso eficiente de los recursos suelo, agua y agrobiodiversidad, formulando planes y promoviendo prácticas de manejo y conservación de suelos, articulando sus medidas de gestión ambiental a los planes y programas de gestión ambiental que existan en el territorio, y tramitando todos los permisos, las autorizaciones y licencias ambientales a los que haya lugar, de acuerdo con la escala del proyecto, incluyendo la implementación del plan de compensación por pérdida de biodiversidad (UPRA, 2015a).

---

1. Se incluyen en esta denominación los esquemas de ordenamiento territorial (EOT) y los planes básicos de ordenamiento territorial (PBOT).

## 2. MARCO DE REFERENCIA PARA LA ZONIFICACIÓN



## Marco de referencia para la zonificación

La revisión de literatura sobre zonificación de tierras para riego que aquí se presenta tiene como objetivo conocer los avances que en esta materia se han logrado en otros lugares del mundo y tomar tales avances como una referencia general y línea base técnica para su desarrollo.

Se realizó una recopilación de los principales logros obtenidos de temáticas similares de otros países, los cuales permitieron formular una propuesta de zonificación general de tierras con fines de irrigación, adaptando al caso colombiano los componentes físico, socioeconómico y ecosistémico.

La literatura examinada, que se presenta a continuación, integra diferentes componentes, pero generalmente está basada en dos: los factores edafológicos y los factores topográficos.

### 2.1. Factores edafológicos en la zonificación

En esta sección se incluyen las condiciones del suelo para irrigación en su relación con las plantas.

La FAO, en su boletín 42 de 1979 (FAO, 1985), indica las siguientes características físicas que se deben tener en cuenta en la clasificación de suelos para riego: profundidad efectiva del suelo, contenido de materia orgánica, estructura del suelo, densidad aparente, porosidad y textura. Como características químicas importantes, la FAO destaca el pH del suelo, el porcentaje de sodio intercambiable, la salinidad del suelo, la presencia de sustancias tóxicas como arsénico, boro, níquel, cromo, sulfuros y hierro. En cuanto a la mineralogía de los suelos, se señalan como factores importantes la mineralogía de fracciones de arena, limo y arcilla; la presencia de carbonato de calcio y el contenido de yeso. Asimismo señala como parámetros hidrodinámicos de importancia la velocidad de infiltración, la conductividad hidráulica y la retención de humedad.

En el boletín 55 de 1985, la FAO presenta en la tabla 1 un resumen de la información de suelos que se requiere en el proceso de evaluación de tierras para riego y drenaje. En este cuadro se complementa la información citada en el boletín 42 y además explica por qué tal información es requerida.

Cuadro I. Inventario de información de suelos

PARÁMETRO		PROPÓSITO PARA EL CUAL SE REQUIERE
<b>A</b>	<b>FÍSICO</b>	
1	Profundidad efectiva del suelo.	Espacio para formación de raíces, retención de humedad y de nutrientes; nivelación de tierras; alineación y diseño de canales de riego y drenaje.
2	Presencia de horizontes orgánicos.	Problemas especiales u oportunidades.
3	Textura. Distribución del tamaño de partículas.	Establecimiento de la homogeneidad de unidades de tierra y derivación de varias características.
4	Estructura del suelo y porosidad. Densidad aparente. Volumen y distribución de poros. Espacio de poros con aire a capacidad de campo. Estabilidad estructural.	Manejo de raíces, de nutrientes, de humedad y del suelo. Drenaje y permeabilidad, en especial de suelos sódicos. Lixiviación de sales en exceso. Labranza para siembra y preparación de tierras. Habilidad para fangueo de tierras arroceras. Erodabilidad.
5	Velocidad de infiltración.	Evaluación de lámina infiltrada por lluvia o por riego o evaluación de escorrentía superficial. Selección de método de riego. Longitudes de surco o tamaño de melga. Selección de diámetro de boquilla de aspersor. Erodabilidad.
6	Conductividad hidráulica o permeabilidad.	Drenaje de suelos, remoción de agua en exceso y de sales.
7	Capacidad de retención de humedad (capacidad de campo y punto de marchitez permanente).	Balance de agua en el suelo, agua residual entre los riegos y después de los riegos. Selección de método de riego y programación del riego.
8	Límites plástico y líquido.	Indicativos de mineralogía y de comportamiento físico.
9	Resistencia del suelo, extensibilidad lineal.	Resistencia mecánica para obras de construcción; expansión y contracción; penetración de las raíces.
<b>B</b>	<b>QUÍMICO</b>	
1	Reacción del suelo (pH).	Identificación de suelos muy alcalinos, sódicos y con sulfatos ácidos; deficiencias de nutrientes y toxicidades.
2	Carbón y nitrógeno.	Contenido de materia orgánica y manejo.
3	Yeso y carbonato de calcio.	<i>Hardpans</i> , capas yesosas propensas a subsidencia, requerimientos de yeso para suelos sódicos.
4	Conductividad eléctrica de extractos saturados (ECe).	Peligro de salinidad.
5	Sales solubles (Na, K, Ca, Mg, Cl, SO <sub>4</sub> , CO <sub>3</sub> y HCO <sub>3</sub> ).	Interpretación de peligro de salinidad.
6	Capacidad de intercambio de cationes (CEC), bases intercambiables totales (TEB) y saturación de bases (%).	Retención de nutrientes y estatus de fertilidad química.
7	Porcentaje de sodio intercambiable (ESP) o relación de adsorción de sodio ajustada de extracto de saturación (SAR).	Problemas de sodio o de alcalinidad.
8	Cationes intercambiables (Na, K, Ca, Mg).	
9	Fósforo disponible.	Cfr. tabla 35 del boletín 55 de la FAO, sobre sustancias de extracción utilizadas para estimar P en el suelo disponible para las plantas.
10	Contenidos totales de P, K, Mg, Na, Cu, Mn, Zn, B, Fe, Al, As, Ni, Cr.	Contenido de macro y micronutrientes. Elementos tóxicos.

C	MINERALÓGICO	
1	Fracción de arena y limo.	Indica material parental y grado de intemperización.
2	Fracción de arcilla y óxidos de hierro y aluminio.	Los minerales de arcilla 1:1 son menos pegajosos, se expanden y contraen menos y tienen menor área superficial que los minerales de arcilla 1:2.  Los minerales de arcilla 1:1 con óxidos de Fe y Al predominantes pueden indicar suelos excesivamente bien drenados para tierras húmedas arroceras y a menudo físicamente favorables, pero químicamente menos fértiles para cultivos diferentes al arroz.
3	Carbonatos de calcio y de magnesio.	<i>Hardpans</i> , restringen el desarrollo de las raíces en profundidad. Grandes cantidades disminuyen la retención de nutrientes y la fertilidad; no obstante, suelos con 60 % de $\text{CaCO}_3$ pueden ser regados exitosamente, aunque con un patrón de cultivos restringido. La aplicación de material de granos finos bajo condiciones salinas bloquea los poros y reduce la permeabilidad. Las costras superficiales interfieren la germinación de semillas y la infiltración. El limo induce deficiencias de nutrientes. Los suelos con carbonato de magnesio son a menudo muy fértiles. Ato contenido de Mg intercambiable conduce a un perfil impermeable parecido al sódico.
4	Yeso.	<i>Hardpans</i> con yeso restringen el desarrollo de raíces y hacen difícil la construcción de drenes y de canales. Su disolución puede conducir a la subsidencia del suelo después del riego. Los cristales de yeso en el suelo pueden contrarrestar la tendencia a la formación de suelos sódicos. Si es demasiado alto, ocasiona problemas de nutrientes debido a relaciones desfavorables K/Ca y Mg/Ca, y sobrecostos en fertilizantes y en manejo de suelos.

Fuente: FAO, boletín 55 (1985).

A pesar de que algunos de los parámetros listados en el cuadro 1 superficialmente no guardan una relación directa con una zonificación, desde el punto de vista edafológico, todos los parámetros de importancia están allí considerados. Además, las indicaciones de los propósitos para los cuales el conocimiento de los parámetros es requerido está bien fundamentado y requiere un análisis profundo en la etapa de exposición de criterios técnicos y de metodologías que se propongan en un proceso de zonificación para el caso colombiano.

El NSW de Australia, en 2002, señala como factores físicos de suelos de importancia en la clasificación de tierras agrícolas los siguientes: textura, estructura, facilidad de erosión, profundidad, capacidad de retención de humedad, drenaje interno y superficial, presencia de rocas y de piedras, profundidad del nivel freático, permeabilidad, tipo de arcilla, color, presencia de costras superficiales, densidad, aireación, facilidad de traficar y estabilidad bajo riego. Entre los factores químicos de los suelos, la misma entidad indica como importantes la fertilidad, la toxicidad, el contenido de materia orgánica, el pH, la capacidad de intercambio de cationes, la salinidad, el sodio, las tasas de fijación de elementos y el grado de dispersión. Frente a los factores indicados anteriormente se destacan como nuevos la profundidad del nivel freático, la estabilidad bajo riego, las tasas de fijación de elementos y el grado de dispersión.

En el año 2008, la Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (Embrapa), en el «Informe del contrato Chesf/Embrapa CT-I-92.2003.5220.00, Proyecto Jusante, área 3», indica que para la clasificación de tierras para riego, entre los factores físicos se tuvo en cuenta la proporción de rocas, piedras y suelo agrícola, y para la fracción de suelo agrícola se definieron las clases texturales, su densidad aparente, la densidad de partículas, la capacidad de retención de humedad y la infiltración. Como complemento a los análisis anteriores, estimaron el grado de floculación de las arcillas y la relación limo/arcilla. Además, se tuvo en cuenta la profundidad del material lítico subyacente. Entre los factores químicos se tuvieron en cuenta el pH, el intercambio de cationes (calcio magnesio, potasio y sodio), la acidez intercambiable (hidrógeno + aluminio), la salinidad, el aluminio intercambiable, el fósforo asimilable y el carbono orgánico total. Calcularon las bases totales, la capacidad de intercambio de cationes, las saturaciones de bases, de aluminio y de sodio. En el estudio se dio importancia a la taxonomía de suelos, aunque definieron las potencialidades y limitaciones para cada clase de suelos.

La Embrapa adelantó un estudio en el año 2014 sobre geotecnologías aplicadas a la zonificación agroecológica en el estado de Mato Grosso del Sur (Embrapa, 2014a). En este estudio, en materia de factores edafológicos tan solo evaluaron el potencial natural de erosión, la fertilidad natural, el drenaje interno, la capacidad de retención de humedad de los suelos, el uso actual de la tierra y su cobertura vegetal. Si bien es cierto que el número de factores edafológicos tenidos en cuenta en el estudio es bastante reducido, también lo es que el propósito del estudio era una zonificación agroecológica y no una zonificación con fines de irrigación.

El «Sistema brasileño de clasificación de tierras para riego, enfoque en la región semiárida» es un documento técnico preparado en el 2011 por el Convenio Suelos Embrapa/CODEVASF. Se señalan los siguientes parámetros de suelos como los fundamentales para la clasificación de tierras para riego: profundidad efectiva, textura, lámina de agua disponible según la capacidad de retención,  $Ca + Mg$ , valor T o cantidad total de cationes retenida por unidad de peso de suelo, aluminio intercambiable como elemento fitotóxico principal en suelos tropicales, pH, saturación con sodio intercambiable, conductividad eléctrica, conductividad hidráulica, velocidad de infiltración básica, profundidad de la zona de reducción, mineralogía de las arcillas, espaciamiento entre drenes, pendiente de la superficie del terreno, presencia de piedras y de rocas, posición en el paisaje (depressiones). Desde el punto de vista edafológico, el sistema brasileño (Holzapfel *et al.*, 2012) de clasificación de tierras para riego es integral, por lo cual se consideró en el componente edafológico para la zonificación propuesta.

Es importante tener en cuenta que la agricultura bajo riego puede ocasionar cambios ambientales en el suelo. Canadá, y específicamente el estado de Alberta, desde el 2004 ha sido líder en este sentido, al considerar que las propiedades del suelo que se deben evaluar para determinar aptitud para el riego son, o bien permanentes, o modificables. En el «Manual de procedimientos para la clasificación de tierras para riego en Alberta» (Alberta Agriculture, Food and Rural Development, 2004a) presenta la siguiente división de parámetros de suelo (cuadro 2).

Cuadro 2. Clasificación de parámetros del suelo para clasificación de tierras para riego en Alberta (Canadá)

PERMANENTES	MODIFICABLES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Textura</li> <li>• Estructura</li> <li>• Perfil</li> <li>• Porosidad</li> <li>• Densidad aparente</li> <li>• Concentraciones de <math>\text{CaCO}_3</math> próximas a la superficie</li> <li>• Tasa básica de infiltración del suelo</li> <li>• Conductividad hidráulica</li> <li>• Capacidad de retención de humedad</li> <li>• Uniformidad y profundidad de depósitos geológicos</li> <li>• Profundidad al lecho rocoso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertilidad</li> <li>• Drenaje</li> <li>• Profundidad al nivel freático</li> <li>• Salinidad</li> <li>• Presencia de sodio</li> <li>• Reacción del suelo (pH)</li> <li>• Peligro de erosión</li> </ul>

Fuente: Alberta Agriculture, Food and Rural Development. (2004a, 2004b); Alberta Environment and Sustainable Resource Development. (2012).

En cuanto a la descripción del perfil en términos de textura, estructura, clase, espesor y disposición de los diferentes horizontes, el manual de procedimientos de Alberta señala que junto con otras características del suelo puede ser utilizada para predecir qué tan bien un suelo dado puede comportarse bajo condiciones de riego.

La velocidad de infiltración básica ha sido utilizada para clasificación agrológica de suelos desde hace muchos años. Según el mismo manual, la velocidad de infiltración básica está siendo utilizada para una correcta selección de métodos de riego, puesto que se trata de un parámetro que expresa una velocidad asintótica de la infiltración con el tiempo, la cual se consigue en la proximidad de saturación del suelo. Su uso es una herramienta importante en la selección de aspersores en cuanto se refiere a la tasa de aplicación; la tasa de aplicación de agua por un aspersor debe ser menor, o cuando máximo igual a la tasa básica de infiltración, con el fin de minimizar las pérdidas de agua por escorrentía superficial.

Con relación a la conductividad hidráulica, el manual señala que su valor vertical promedio en un perfil de suelo puede ser utilizado para evaluar el drenaje interno, así como la posibilidad de que se pueda desarrollar una condición de agua freática colgada por causa del riego. Por otra parte, es bien conocido que conductividades hidráulicas bajas dificultan la lixiviación de sales y, en general, la práctica del riego. Además, la conductividad hidráulica saturada es utilizada directamente para el diseño de drenajes subterráneos en términos de diámetros y espaciamientos.

El manual citado da relevancia a la presencia de  $\text{CaCO}_3$  en altas concentraciones sobre la superficie del suelo o próxima a ella, por

cuanto afecta negativamente tanto las características físicas, como las químicas del suelo. Tales efectos negativos se resumen en:

- Reducción de la habilidad del suelo para retener humedad.
- Afectación del movimiento de agua.
- Formación de costras superficiales, las cuales causan serios problemas por cuanto inhiben la germinación de semillas, especialmente en suelos con bajos contenidos de materia orgánica.
- Generación de deficiencias nutricionales de fósforo, hierro y algunos micronutrientes.

Por otra parte, el manual señala que el conocimiento de la profundidad a la cual se encuentran los horizontes ricos en  $\text{CaCO}_3$  es de gran importancia en el planeamiento de la nivelación de tierras antes de un proyecto de riegos, debido a que la redistribución de capas relativamente más fértiles y la exposición de capas ricas en  $\text{CaCO}_3$  pueden conducir a problemas graves de manejo de los suelos.

La uniformidad y profundidad de depósitos geológicos que indica el manual resulta de gran importancia en la determinación de la profundidad de suelo donde puedan desarrollarse las raíces. Las características del horizonte superior y de la capa subyacente son importantes en la definición de la capacidad de retención de humedad y, por consiguiente, determinantes en la estimación de la lámina de riego y de su frecuencia, así como también en la estimación de los requerimientos de drenaje.

Entre las características modificables que señala el manual se destacan la salinidad y la presencia de sodio en el suelo. Ciertamente, la salinidad del suelo va a ejercer una marcada influencia en la zonificación de áreas potenciales de adecuación de tierras para riego y drenaje; la selección del patrón de cultivos deberá tener en cuenta los niveles de tolerancia de las distintas especies vegetales, y este patrón a su vez ejercerá influencia sobre los métodos de riego. Más aún, si existe la potencialidad de los suelos de permitir lixiviación de sales, se deberá definir si tal lixiviación se llevará a cabo con flujo saturado o no saturado, y esta definición estará ligada a la disponibilidad de agua en el área y al método de riego. Por otra parte, cuando el sodio se encuentra en altas concentraciones en el suelo, su dispersión genera un deterioro de las propiedades físicas del suelo reflejadas en una disminución de la velocidad de flujo de agua a través del suelo, es decir, se afectan negativamente la infiltración y la conductividad hidráulica con todas sus consecuencias.

El drenaje de tierras agrícolas resulta fundamental en términos de producción y productividad. Cuando los suelos permanecen saturados por tiempos prolongados, el problema generado es la baja concentración de  $\text{O}_2$  en el suelo; las distintas especies potenciales de un patrón de cultivos exhiben diferentes grados de tolerancia al estrés de oxígeno y, por esta razón, cuando quiera que se pretenda ampliar la frontera

agrícola bajo riego, se hace indispensable que a la vez se proyecten sistemas de drenaje adecuados para proveer al suelo de una óptima aireación que garantice el desarrollo y la producción competitiva de las diferentes especies vegetales.

La fertilidad de los suelos, otra característica modificable, es un factor que deberá siempre ser considerado en un plan de adecuación de tierras para riego y drenaje; el nivel de fertilidad es dinámico y es influenciado por otros factores tales como el patrón de cultivos, el pH del suelo, la textura, la salinidad, la erosión hídrica y eólica, el drenaje, los depósitos geológicos, el clima, la precipitación y el manejo del agua de riego. En un proyecto de adecuación de tierras, la fertilización de los suelos ocupará un lugar de especial importancia y deberá estar en armonía con los métodos de riego seleccionados; las cantidades de fertilizantes que se aplican a un suelo en forma convencional son muy superiores a aquellas utilizadas por medio de fertirrigación con riego por aspersión, microaspersión y goteo y, además, cuando el fertilizante se aplica con el agua de riego, su absorción por las plantas es mucho más eficiente y, por consiguiente, son mucho más altos los niveles de producción esperados.

En un estudio de análisis de aptitud de tierras para diferentes cultivos llevado a cabo en 2011 por el Instituto Indio de Investigaciones Agrícolas, mediante la utilización de sensores remotos y sistemas de información geográfica, tuvieron en cuenta los siguientes parámetros físicos y químicos de los suelos:

- Textura.
- Capacidad de retención de humedad.
- Agua disponible para las plantas.
- $\text{CaCO}_3$  libre.
- Conductividad eléctrica.
- Reacción del suelo (pH).
- Capacidad de intercambio de cationes.
- Carbono orgánico.
- Nitrógeno disponible.
- Fósforo disponible.
- Concentración de fósforo.
- Potasio disponible.
- Micronutrientes de Fe, Mn, Zn, y Cu.

La lista anterior ilustra un número bastante limitado de parámetros; se destaca, sin embargo, la importancia dada a los micronutrientes.

En Estados Unidos, el Departamento de Agricultura (USDA, por su sigla en inglés), en colaboración con el Servicio de Conservación de los Recursos Naturales (NRCS, por su sigla en inglés) (USDA-NRCS, 2015), llevó a cabo estudios de suelos por condados en los diferentes estados de la unión americana. Entre ellos se citan los siguientes: condado de San Luis Obispo (California, 2003), condado de Harper (Oklahoma, 2006), condado de Kay (Oklahoma, 2007) y condado de Stanislaus (California, 2007). Todos los estudios de suelos adelantados por el USDA y el NRCS tienen el mismo patrón general, es decir, utilizan los mismos criterios técnicos y parámetros para la clasificación de los suelos. Los



parámetros se agruparon en propiedades de ingeniería, propiedades físicas, propiedades químicas, propiedades de erosión, presencia de agua y aspectos de restricción y riesgo de los suelos.

En las propiedades de ingeniería incluyeron:

- Clasificación unificada.
- Clasificación AASHTO.
- Profundidad de cada estrato.
- Textura.
- Tamaño de fragmentos de roca: > 10 in, 3-10 in de diámetro.
- Porcentaje de partículas que pasan los tamices números 4, 10, 40 y 200.
- Límite líquido.
- Índice de plasticidad.

En cuanto a las propiedades físicas, se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

- Profundidad de cada horizonte del suelo.
- Contenido de arcilla en cada capa: partículas minerales de suelo < 0,002 mm en diámetro: porcentaje (%).
- Conductividad hidráulica saturada.
- Capacidad de retención de humedad.

Dentro de las propiedades químicas se consideraron las siguientes:

- Profundidad de cada estrato.
- Capacidad de intercambio de cationes.
- Reacción del suelo: pH.
- Carbonato de calcio: porcentaje (%).
- Contenido de yeso: porcentaje (%).
- Salinidad.
- Relación de adsorción de sodio.

Con relación a las propiedades de erosión del suelo se incluyeron:

- Profundidad.
- Factores de erosión.
- Grupo de erodabilidad eólica.
- Índice de erodabilidad eólica.

En términos de presencia de agua, los siguientes fueron los factores considerados:

- Grupo hidrológico.
- Nivel freático: límite superior, límite inferior.
- Encharcamientos: profundidad del agua, duración, frecuencia.
- Inundación: duración, frecuencia.

Los aspectos de restricción y riesgo de los suelos fueron:

- Capa restrictiva: clase, profundidad desde la superficie del suelo, espesor, dureza.
- Potencial de formación de escarcha.
- Riesgo de corrosión causada por el suelo: corrosión de hierro no revestido, corrosión de concreto.

Entre los factores o parámetros incluidos en los estudios de suelos por el USDA y el NRCS que conviene resaltar, por cuanto muestran diferencia con respecto a los demás estudios citados, se destacan los siguientes: clasificación unificada, clasificación AASHTO, tamaño de fragmentos de roca, gradación de partículas de suelo por medio de tamices, límite líquido, índice de plasticidad, conductividad hidráulica saturada, extensibilidad lineal, adsorción de sodio, contenido de arcilla, factores de erosión ( $K_w$ ,  $K_f$  y  $T$ ), erodabilidad eólica, profundidades máxima y mínima del nivel freático, características de encharcamientos, características de inundaciones, características de capas restrictivas, potencialidad de ser cubierto por escarcha y riesgo de corrosión. A continuación, se hace referencia a estos factores o parámetros.

La clasificación unificada incluida en las propiedades de ingeniería de los suelos se determinó de acuerdo con el sistema unificado de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM, por su sigla en inglés) del año 2001, y la clasificación AASHTO se refiere al sistema adoptado por la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes del año 2000. Los distritos de riego y drenaje son obras de infraestructura que demandan materiales de diversa índole para la construcción de presas, canales, vías, entre otros; en este sentido, el conocimiento del tipo y de la localización de diferentes clases de materiales resulta importante en un proyecto de adecuación de tierras.

La presencia de rocas se convierte en un problema de orden económico cuando se enfrenta un proyecto de adecuación de tierras; si además de señalar su presencia se clasifican por su tamaño, esta información resultará de gran apoyo para establecer los presupuestos que demande la adecuación predial, en caso de que resulte viable. Además, la presencia de rocas de cierto tamaño impide la mecanización y, por consiguiente, impone restricciones al patrón de cultivos que sea factible establecer.

La gradación de partículas de suelo por medio de tamices permite conocer la distribución por tamaño de las partículas de suelo y es útil desde el punto de vista de clasificación del material con parámetros como tamaño efectivo y coeficiente de uniformidad, así como por el hecho de que está asociada con el drenaje interno de los suelos y, además, el conocimiento de la forma de las curvas de distribución del tamaño de partículas puede asistir en la determinación del origen geológico de un suelo y, por ende, reducir riesgos en la interpretación de información obtenida de muestras de suelo extraídas con barreno.

Los límites de Atterberg de los suelos, expresados en el límite líquido y el límite plástico, y el índice de plasticidad, el cual es la diferencia entre ellos, permiten conocer propiedades mecánicas de suelos cohesivos asociadas con el contenido de humedad que permiten establecer diferentes grados de consistencia. Conocer la resistencia a la compresión de suelos cohesivos a diferentes contenidos de humedad resulta muy importante en el manejo adecuado de suelos agrícolas en cuanto a prácticas de mecanización.

Fotografía: Libia Peñuela.



La conductividad hidráulica saturada no solamente sirve para clasificar los suelos; es un parámetro hidrodinámico del suelo importante en el diseño de un sistema de drenaje subterráneo, puesto que permite una adecuada selección de diámetros de los drenes.

El porcentaje de extensibilidad lineal es una expresión lineal de la diferencia en volumen natural de un suelo cuando este tiene un contenido de humedad correspondiente a potencial matricial entre  $1/3$  y  $1/10$  de bar, y cuando el mismo suelo es secado en estufa. La diferencia es una expresión del potencial de contracción y expansión de un suelo, y se evalúa entre bajo y muy alto. Entre mayor sea la diferencia en extensibilidad lineal, mayor será el riesgo de causar daño a canales, estructuras hidráulicas, vías, edificios y estructuras en general. Incluso cuando el potencial de contracción y expansión es muy alto puede causar daño a las raíces, especialmente de cultivos perennes.

La relación de adsorción de sodio (RAS) es una de las medidas de calidad del agua para riego y también una valoración de suelos sódicos, al determinar el RAS de muestras de agua extraída del suelo. La aplicación continuada de aguas de riego con valores altos de RAS ocasiona el desplazamiento de Ca y Mg, y la disminución ostensible de las tasas de infiltración y de conductividad hidráulica de los suelos. Altas concentraciones de sodio en el suelo afectan la estabilidad de los mismos y, por consiguiente, su estructura y la labranza. Todos estos problemas conducen a una disminución de la productividad de los suelos.

El contenido y la clase de arcilla afectan la fertilidad y las condiciones físicas del suelo, así como la habilidad del mismo para adsorber cationes y retener humedad. El contenido de arcilla está relacionado con el potencial de contracción y expansión, la permeabilidad, la plasticidad, el potencial matricial, la capacidad de retención de humedad, la labranza y el movimiento de tierras en adecuación pedrial.

Como se indicó, el USDA y el NRCS presentan información sobre erosión de los suelos expresada en factores K y T. El factor K se refiere a la susceptibilidad de un suelo a fluir en láminas y a formar pequeños canales por erosión hídrica; es uno de los factores utilizados en la ecuación universal de pérdida de suelo y en la ecuación universal de pérdida de suelo revisada, USLE y RUSLE, respectivamente, por sus siglas en inglés. Estas ecuaciones son utilizadas para predecir la pérdida de suelo por erosión hídrica en toneladas por hectárea por año. El factor Kw indica el potencial de erosión hídrica del suelo como un todo; estos estimativos son modificados por la presencia de fragmentos de roca. El factor Kf se refiere a la erosión hídrica de partículas de suelo de tamaño inferior a 2 mm de diámetro. El factor T sirve para estimar un promedio de la tasa máxima de pérdida de suelo por erosión tanto hídrica como eólica, que puede ocurrir sin que se vea afectada la productividad del suelo en un periodo considerable de tiempo; se mide en toneladas de suelo por hectárea por año.

El potencial de pérdida de suelo por erosión eólica se estima por grupos, siendo el grupo 1 el más susceptible a erosión eólica y el grupo 8 el menos susceptible, de acuerdo con el NRCS. El índice de potencial

de pérdida de suelo por erosión eólica indica la susceptibilidad del suelo a la erosión eólica en valor numérico, o las toneladas de suelo por hectárea y por año que se espera se pierdan por erosión eólica. El USDA y el NRCS señalan que hay una estrecha correlación entre la pérdida de suelo por erosión eólica y la textura de la capa superficial, el tamaño y la durabilidad de los terrones superficiales, el contenido de fragmentos de roca y de materia orgánica, y la reacción calcárea, así como el contenido de humedad del suelo.

La información sobre nivel freático se refiere a la zona de saturación y se da mensualmente con límites superior e inferior en términos de profundidad con respecto a la superficie del suelo.

Los encharcamientos hacen referencia al agua estancada en depresiones superficiales. Esto significa que a menos que exista un sistema de drenaje superficial, esta agua solamente se removerá por percolación profunda, por transpiración o por evaporación. La información dada hace referencia a la profundidad del agua estancada, a la duración y a la frecuencia. La duración de los encharcamientos se estima así:

- Muy breve: si es menor de 2 días.
- Breve: entre 2 y 7 días.
- Larga: de 7 a 30 días.
- Muy larga: si es mayor de 30 días.

La frecuencia de los encharcamientos se estima así:

- Ninguna: la ocurrencia del encharcamiento es improbable.
- Rara: cuando la probabilidad de ocurrencia está entre 0 % y 5 % en cualquier año.
- Ocasional: cuando la probabilidad de ocurrencia está entre 5 % y 50 % en cualquier año.
- Frecuente: si la probabilidad de ocurrencia es mayor de 50 % en cualquier año.

La información sobre inundaciones se refiere a aquellas que ocurren temporalmente por desbordamientos de corrientes superficiales, por escorrentía superficial desde terrenos adyacentes o por mareas. El agua que se estanca durante periodos cortos de tiempo después de una lluvia no es considerada como inundación, así como tampoco lo son las aguas de ciénagas ni de humedales. La duración de las inundaciones se expresa como:

- Extremadamente breve: entre 0,1 hora y 4 horas.
- Muy breve: entre 4 horas y 2 días.
- Breve: entre 2 y 7 días.
- Larga: entre 7 y 30 días.

- Muy larga: mayor de 30 días.

La frecuencia de las inundaciones está dada según la probabilidad de su ocurrencia; se expresa como:

- Muy rara: menor de 1 % en cualquier año.
- Rara: entre 1 % y 5 % en cualquier año.
- Ocasional: entre 5 % y 50 % en cualquier año.
- Frecuente: mayor de 50 % en cualquier año, pero menor de 50 % en todos los meses del año.
- Muy frecuente: mayor de 50 % en todos los meses del año.

El USDA y el NRCS señalan que la información anterior sobre inundaciones se basa en evidencias en el perfil del suelo tales como estratos muy delgados de grava, arena o limo; arcillas depositadas por las aguas de inundación; decrecimiento irregular del contenido de materia orgánica con el incremento en la profundidad, y poco o ningún desarrollo de horizonte del suelo.

En cuanto a los aspectos de restricción y riesgo de los suelos aplicables al trópico, se encuentran las capas restrictivas y la corrosión. El USDA y el NRCS refieren como capa restrictiva aquella que es casi completamente continua y que tiene una o más propiedades físicas, químicas o térmicas que impiden en forma significativa el movimiento del agua y el aire en el suelo, o que restringen el desarrollo de raíces, o que de otra manera proporcionan un desfavorable medioambiente a la zona de raíces. Como ejemplos para nuestros suelos están los lechos rocosos, los *hardpans*, las capas cementadas en general y las capas densas. Estas capas se citan en los estudios de suelos con su profundidad, dureza y espesor, por cuanto afectan la facilidad de excavación.

El riesgo de corrosión está relacionado con la acción potencial inducida electroquímica o químicamente de los suelos que corroe o debilita el hierro no revestido o el concreto. La tasa de corrosión depende del contenido de humedad, de la distribución del tamaño de partículas, de la acidez y de la conductividad eléctrica de los suelos. Es importante señalar que parte del éxito de los distritos de riego y drenaje es que su infraestructura tenga una larga vida útil; por esta razón, es recomendable conocer el potencial de corrosión de los suelos en los cuales se van a cimentar todas las estructuras.

## 2.2. Factores topográficos en la zonificación

Los factores topográficos que se tienen en cuenta en este estudio hacen referencia a aquellos que ejercen alguna influencia sobre la agricultura bajo riego y drenaje y que, por tal razón, guardan relación directa o indirecta con las características del relieve. Así, se relacionan las características altimétricas del relieve como la irregularidad y las pendientes naturales predominantes, la planimetría, la forma y el tamaño de los predios, los requerimientos de movimiento de tierras para adecuación predial, el tipo de cobertura vegetal y los requerimientos de drenaje superficial.

Los factores topográficos así considerados son de gran ayuda en la determinación de áreas con fines de irrigación, puesto que permiten tener una idea general sobre las eficiencias potenciales de aplicación del agua, los costos esperados de movimiento de tierras, los costos de mano de obra en el manejo del agua, la erosión del suelo bajo condiciones de riego, las necesidades de drenaje, los patrones de cultivos por irrigar, los posibles requerimientos de energía convencional para la aplicación del agua, la forma y el tamaño de los predios de riego y drenaje y, en consecuencia, son una herramienta fundamental en la selección adecuada de los métodos de riego.

En NSW Agriculture (2002), estado de Nueva Gales del Sur (Australia), consideraron los siguientes ítems dentro de los factores topográficos como fundamentales para la clasificación de tierras: pendiente, peligro de erosión, paisaje, altimetría, propensión a inundación, cobertura de la superficie del suelo, deslizamientos de tierra y drenaje superficial.

El «Sistema brasileño de clasificación de tierras para riego, enfoque en la región semiárida» (2011), Convenio Suelos Embrapa/CODEVASF, considera que para sistemas de riego por aspersión y riego localizado el límite de pendiente está entre 0 % y 10 % para todos los cultivos que se establezcan en suelos de la clase 1, mientras que para la clase 6, el límite de pendiente está entre 35 % y 50 %, para todos los cultivos bajo estos mismos métodos de riego. Para el empleo de riego por superficie, la Embrapa señala en el mismo documento que la pendiente límite está entre 0 % y 3 % para cultivos en hileras transitorios y perennes establecidos en la clase 1, en tanto que para las clases 2 y 6, las recomendaciones para riego por superficie van hasta pendientes de 8 % y 25 %, respectivamente, valores que para el sistema colombiano no son aplicables por el riesgo de erosión.

En el boletín 42 del año 1979, la FAO hace varias recomendaciones referentes a pendiente del terreno y selección de métodos de riego, microrrelieve y nivelación de tierras, macrorrelieve y tamaño de los predios, cobertura vegetal, remoción de rocas, protección contra inundaciones y drenaje predial.

En el boletín 55, la FAO (1985) hace referencia a la mayoría de las recomendaciones sobre factores topográficos y relacionados del boletín 42; por esta razón, este boletín fue la base para la revisión de literatura, debido a la influencia de los factores topográficos sobre la zonificación de tierras para riego y drenaje.

En materia de grados de pendiente del terreno, la FAO (1979) indica que ellos guardan relación con el método de riego, la intensidad de la precipitación, el riesgo de erosión y el patrón de cultivos. En consecuencia, entre mayor sea el caudal unitario de riego, será mayor el riesgo de erosión. En este sentido, los métodos de riego por superficie presentan mayor riesgo de erosión que el riego por aspersión y que el riego localizado (goteo y microaspersión). Para riego por surcos, por ejemplo, la FAO cita que el caudal unitario máximo no erosivo no puede ser mayor que aquel que se obtenga de la relación de 0,63 l/s (10 galones/min), sobre la pendiente, en porcentaje (%). Este criterio, de hecho, se continúa utilizando cuando no se cuenta con más información. No obstante, la FAO cita una antigua recomendación del US Bureau of Reclamation, que indica que el riego por superficie rara vez se utiliza en terrenos con pendiente superior a 17 %, que el riego por aspersión en el oeste de los Estados Unidos es aplicado en terrenos con pendiente hasta de 20 %, en tanto que los cultivos de árboles se establecen comúnmente en terrenos con pendientes hasta de 35 % e incluso hasta de 45 %. Debe señalarse que el empleo del riego por superficie en terrenos con pendiente hasta de 17 % resulta altamente riesgoso para la sostenibilidad en el tiempo por el peligro de erosión y, por consiguiente, en la actualidad no es recomendable.

Una recomendación de la FAO en el boletín 42, que sigue siendo válida actualmente, es que la agricultura de secano, aquella que depende completamente de las lluvias, debe planificarse con el mismo límite que se debe imponer para el riego por aspersión; es decir, la intensidad de las lluvias y la tasa de aplicación del riego por aspersión deben ser inferiores a la tasa básica de infiltración del suelo. La explicación técnica es que en uno y otro caso, con esta restricción se minimiza la escorrentía superficial y, por ende, la pérdida de suelo por erosión hídrica. Añade la FAO que, en este sentido, un límite seguro para el empleo de riego por superficie es el equivalente a la mitad de la recomendación para agricultura de secano; esta última recomendación rara vez es válida y debe examinarse con precaución. Algo que sí es lógico es que siempre habrá más pérdida de suelo por lluvias que por riego; los predios irrigados, generalmente, o se emparejan o son nivelados, y esta configuración de la superficie genera menor erosión. En el cuadro 3 se presenta una guía general para selección de métodos de riego en función de la pendiente, la cual ha sido elaborada por la FAO en el boletín 42.

Cuadro 3. Guía para la selección de métodos de riego

MÉTODO DE RIEGO	TOPOGRAFÍA	CULTIVOS	OBSERVACIONES
Melgas rectangulares anchas	Terrenos con potencial de ser nivelados con pendiente de 1 % y, preferiblemente, 0,2 %.	Alfalfa y otros cultivos densos y de raíz profunda. Huertos de frutales.	Es el método de riego por superficie más apropiado para cultivos densos cuando las condiciones topográficas son favorables. Se requiere nivelación a cero en dirección del riego en tierras planas y es deseable la nivelación, aun cuando no es esencial en terrenos con pendiente entre 0,5 % y 1 %.
Melgas rectangulares angostas	Terrenos con potencial de ser nivelados con pendiente de 4 % o menos y, preferiblemente, menos de 1 %.	Pastos.	Se adapta especialmente a suelos poco profundos con capa de <i>claypan</i> subyacente, o suelos con baja tasa de infiltración. Nivelación a cero en la dirección del riego es deseable, pero no esencial. En la nivelación, los cambios bruscos de pendiente y las pendientes en reversa deben ser suavizados. La pendiente transversal es permisible siempre que la diferencia de niveles entre melgas no sobrepase los 6-9 cm. Puesto que el ancho de las melgas es inferior que en las melgas para alfalfa, se puede permitir una pendiente transversal mayor.
Surcos con dique al pie y surcos a través de la pendiente	Terrenos con potencial de ser nivelados con pendiente de 0,2 % o menos.	Frutales.	Este método se ha ideado especialmente para obtener penetración y distribución adecuadas de la humedad a lo largo del surco, en suelos con bajas tasas de infiltración.
Corrugaciones	Terrenos con potencial de ser nivelados con pendientes entre 0,5 % y 12 %.	Alfalfa, pastos y granos pequeños.	Este método se adapta especialmente a terrenos con pendiente y uso de pequeños caudales unitarios. Nivelación a cero en el sentido transversal es deseable, pero no esencial. En la nivelación, los cambios bruscos de pendiente y las pendientes en reversa deben ser suavizados. Debido a que las corrugaciones tienen la tendencia a taponarse y desbordarse y causar serios problemas de erosión, las pendientes transversales deben evitarse hasta donde sea posible.
Surcos en contorno y con pendiente	Terrenos con pendiente variable entre 2 % y 25 %; sin embargo, se prefieren pendientes inferiores.	Cultivos en hileras y frutales.	Especialmente aplicable a cultivos en hileras en terrenos con pendiente, aunque con peligro de erosión por fuertes lluvias. No aplicable a campos infestados de roedores, ni a suelos que se agrietan excesivamente. La pendiente real en dirección del riego deberá estar entre 0,5 % y 1,5 %. No requieren nivelación más allá del relleno de cañadas y de la remoción de protuberancias abruptas.

Pozas rectangulares	Terrenos con potencial de ser nivelados de tal manera que en cada poza se establezcan uno o varios árboles con diferencia de nivel cercana a 6 cm.	Huertos de frutales.	Especialmente aplicables a suelos con relativamente altas o bajas tasas de infiltración. Pueden requerir nivelación exhaustiva.
Pozas en contorno	Terrenos con pendiente ligeramente irregular, de menos de 1 %.	Frutales, arroz, granos pequeños y cultivos de forraje.	Frecuentemente empleado para evitar la nivelación de tierras. Aplicables a suelos con altas o bajas tasas de infiltración.
Acequias en contorno	Pendientes irregulares, hasta de 12 %.	Heno, pastos y granos pequeños.	Especialmente adaptado a condiciones de piedemonte. Requieren poca o ninguna nivelación de la superficie.
Tuberías portátiles	Terrenos con superficie irregular.	Heno, pastos en pequeña escala.	Se requiere un mínimo de preparación de la superficie del terreno.
Subirrigación	Suave-plana.	Cultivos de poca profundidad de raíces, tales como papa o pastos.	Requiere agua freática, condiciones muy permeables del subsuelo y nivelación precisa. Son muy pocas las áreas que se pueden adaptar a este método.
Aspersión	Terrenos undulados, entre 1 % y > 35 % de pendiente.	Todos los cultivos.	Costos altos de operación y mantenimiento. Bueno para terrenos abruptos o muy arenosos en áreas de alta producción y buen mercadeo. Buen método cuando los costos de energía son bajos. Puede ser el único método práctico en áreas con pendientes pronunciadas o con topografía abrupta. Bueno para áreas de alta precipitación donde solamente se requieran riegos suplementarios livianos.
Terrazas en contorno	Terrenos con pendiente. Mejor para pendientes menores de 3 %, pero útil hasta pendientes de 6 %.	Cualquier cultivo, pero particularmente apropiado para cultivos que requieran laboreo de tierras.	Hay pérdida considerable de tierra productiva debido a las bermas. Requiere estructuras de caída costosas para control de la erosión hídrica.

Subirrigación con tuberías instaladas	Terrenos planos con pendientes uniformes hasta 1 %. La superficie debe ser suave.	Cualquier cultivo, cultivos en hileras o cultivos de alto valor.	Requiere instalación de tubería plástica perforada en la zona de raíces con poca separación entre sí. Algunas dificultades cuando las raíces taponan las perforaciones. La separación correcta presenta dificultades. Se requieren pruebas de campo en diferentes suelos.
Goteo	Cualquier condición topográfica apropiada para cultivos en hileras.	Cultivos en hileras y frutales.	Tuberías perforadas o con emisores colocadas sobre la superficie gotean agua localizada en la base de plantas herbáceas o alrededor de árboles frutales. Ha sido utilizado exitosamente en Israel con aguas salinas.

Fuente: FAO, boletín 42 (1979).

En la medida en que avanzan las investigaciones en riego y drenaje, más restricciones se imponen sobre los impactos ambientales que pueden sobrevenir con la práctica del riego. Tales restricciones están relacionadas con los límites de pendientes, la nivelación de tierras y los métodos de riego recomendables bajo determinadas circunstancias. No obstante, la selección de métodos de riego que insinúa la FAO en la tabla 2 constituye una guía general que debe ser tenida en cuenta, más que en forma estricta, como una fuente valiosa de recomendaciones para la selección de métodos de riego en proyectos de adecuación de tierras.

En términos generales, los métodos de riego a presión, riego por aspersión, riego por microaspersión y riego por goteo representan impactos ambientales menores que aquellos que se pueden llegar a presentar con la implementación de todos los métodos de riego por superficie; sin embargo, los agricultores suelen preferir los métodos de riego por superficie, porque consideran que son menores los costos de inversión inicial, ya que las prácticas de adecuación de tierras que se adelantan en el país son muy rudimentarias, por una parte, y por otra, porque poco o ningún interés tienen en la sostenibilidad ambiental en el tiempo.

En cuanto a adecuación de tierras a nivel predial, la FAO presenta los valores que se ilustran en el cuadro 4 y que pueden considerarse como una guía muy general para la toma de decisiones sobre adecuación de tierras.

**Cuadro 4. Estimativos de nivelación de tierras en términos de cortes y rellenos**

TIPO DE NIVELACIÓN	LIVIANA	MEDIA	PESADA
Promedios de corte y relleno (cm)	7,5	15	30
Movimiento promedio de tierras (m <sup>3</sup> /ha)	375	750	1500

Fuente: FAO, boletín 42 (1979).

Los valores promedio presentados asumen que la mitad de un campo nivelado tendrá corte, mientras que la otra mitad tendrá relleno. Advierte la FAO que el volumen total de tierra por mover no es el único factor determinante de los costos, también lo son la profundidad de corte, la distancia de acarreo, las condiciones del suelo, el grado de precisión deseado en la nivelación y el equipo disponible. Además, cuando los suelos son poco profundos, los costos de nivelación sostenible se incrementan sustancialmente, pues se hace necesario cortar y apilar convenientemente el horizonte superficial, nivelar el subsuelo y, a continuación, esparcir uniformemente sobre el subsuelo nivelado el suelo que había sido previamente apilado.

El tamaño de los predios, la pendiente natural y la textura de los suelos juegan un papel importante en la selección del método de riego por superficie. Métodos de riego como las melgas rectangulares, las cuales manejan caudales unitarios relativamente grandes, exigen longitudes considerables para un adecuado balance entre las fases de avance y receso, para así obtener un óptimo de eficiencia de aplicación del agua, con mínimas pérdidas por percolación profunda y por escorrentía superficial. En este sentido, las zonas de minifundio quedarán excluidas de la aplicación de este método de riego, que por cierto es uno de los más eficientes en riego por superficie.

La remoción de la vegetación natural y de las rocas es también un factor de importancia cuando se toman decisiones sobre los patrones de cultivo y los métodos de riego por emplear en la adecuación de tierras, puesto que variables como el tamaño de los árboles, el diámetro de las rocas, las longitudes de acarreo y la disposición final de unos y otros determinan el tipo de maquinaria que será necesario emplear, lo que incidirá en los costos.

El método de riego que sea seleccionado afectará el tipo y el tamaño de la infraestructura complementaria en adecuación de tierras y, por consiguiente, los costos. Así, se pueden mencionar el tamaño de las secciones transversales de los canales de riego y drenaje, los tipos de estructuras hidráulicas, el sistema vial requerido, el área que quedará improductiva al ser ocupada por tales infraestructuras, las bodegas para almacenamiento de equipos y de insumos agropecuarios, las subestaciones eléctricas, las oficinas de administración, entre otros.

Distintas áreas potenciales de adecuación de tierras para riego y drenaje pueden encontrarse amenazadas por inundaciones causadas por desbordamiento de ríos, quebradas y drenes naturales en los periodos lluviosos del año. Se trata de inundaciones que no se pueden controlar, pero sí manejar por medio de obras de protección de los predios irrigables. Entre dichas obras se pueden mencionar los dragados para dar mayor sección transversal a las corrientes superficiales, las presas para manejo de inundaciones, los diques de protección y las estaciones de bombeo para drenaje superficial. Según esto, la FAO recomienda recolectar la siguiente información:

- Localización y extensión de las áreas de inundación.
- Frecuencia de las inundaciones.

- Profundidad y duración de las inundaciones.
- Época del año de las inundaciones en relación con las siembras y los periodos de desarrollo de los cultivos.
- Tipos de daño causados por las inundaciones: erosión, sedimentación, otros.
- Evidencias sobre los riesgos de daño que las inundaciones pueden causar a las operaciones de riego predial.
- Influencia de las inundaciones sobre la selección del patrón de cultivos y sobre la pérdida de cosechas.

Cuando las inundaciones son muy severas y frecuentes, y cuando los costos de su manejo son excesivos, las áreas de su afectación podrían ser excluidas de los proyectos de adecuación de tierras para riego y drenaje.

En el «Manual de procedimientos para la clasificación de tierras para riego en Alberta (Canadá)», de 2004, se consideran como factores topográficos los siguientes: relieve, tamaño y forma de los predios, movimiento de tierra requerido, presencia de rocas, vegetación de arbustivos o de árboles, y drenaje superficial. En el manual se establecen cuatro categorías de los factores topográficos, a saber:

- **Categoría 1:** incluye todas las tierras aptas para agricultura bajo riego por superficie o por cualquier otro método de riego.
- **Categoría 2:** identifica tierras aptas para riego por aspersión convencional.
- **Categoría 3:** incluye las tierras extremadamente onduladas o tierras con montículos que solo pueden ser irrigadas con sistemas especializados de aspersión diseñados para operar sobre superficies abruptas.
- **Categoría 4:** las tierras de esta categoría se consideran no aptas para la agricultura bajo riego debido a uno o a la combinación de varios de los factores topográficos arriba citados.

Con el fin de establecer límites para posteriormente establecer rangos en los distintos factores topográficos, fueron agrupados así:

- Movimiento de tierras.
- Tamaño de los predios, forma y longitud en el sentido del riego superficial.
- Distribución del agua, pendiente y control de erosión.
- Presencia de rocas y cobertura de arbustivos o de árboles.
- Drenaje superficial.

Para estimar el movimiento de tierras tanto en nivelación de tierras como en construcción de canales prediales, en el manual de Alberta (Canadá) utilizaron los siguientes criterios técnicos:

1. La pendiente transversal no deberá exceder 0,3 %.
2. La pendiente máxima en el sentido del riego no deberá ser mayor que 2 % para todas las texturas de suelo. Aun cuando se podrían irrigar suelos de texturas media y gruesa con pendientes más fuertes, las longitudes en el sentido del riego superficial resultarían imprácticas. Los cambios en pendiente en el sentido del riego no deben exceder 0,6 %.



3. La pendiente mínima para riego por surcos y por melgas rectangulares, con drenaje libre al pie, es de 0,2 % y puede ser 0 % para melgas reticulares o pozas, o para otros métodos de riego sin desnivel como son los surcos y las melgas con dique al pie.
4. El uso de terrazas parciales puede considerarse para reducir requerimientos de movimiento de tierras durante la clasificación final, pero no deben ser consideradas para la clasificación preliminar.

En cuanto a límite volumétrico por unidad de área, el manual de Alberta (Canadá) señala que predios con requerimientos de movimiento de tierra mayores que 400 m<sup>3</sup>/acre (988.42 m<sup>3</sup>/ha) se deben clasificar, bien en la categoría de riego por aspersión, o bien se deben catalogar como no aptos para riego.

Agrega el mismo manual que las pendientes del terreno entre 0,2 % y 2 % son usualmente consideradas como ideales para métodos de riego por superficie, y que pendientes mayores de 2 % son más apropiadas para riego por aspersión. Sistemas laterales de aspersión sobre ruedas, de desplazamiento transversal, por ejemplo, pueden irrigar terrenos con pendientes hasta de 9 %, en tanto que para regar terrenos con pendientes irregulares hasta del 20 % y con pendientes regulares hasta de 30 % se requieren sistemas de aspersión diseñados para terrenos abruptos como el pivote central y con buenas prácticas de manejo.

Cuando se utilizan métodos de riego por superficie como el de melgas reticulares o pozas se pueden alcanzar elevadas eficiencias de riego; no obstante, se requieren nivelaciones de tierras de alta precisión, generalmente con niveladoras láser, y adecuadas tasas de infiltración. Señala el mismo manual que en riego por superficie se logran los mejores resultados en terrenos nivelados con pendientes entre 0 % y 0,5 % y con tasas de infiltración entre 8 y 13 mm/h.

Dicho manual presenta una guía interesante para la selección del tamaño de los predios de acuerdo con la textura de los suelos, la lámina de riego aplicada, la pendiente y la longitud en el sentido del riego por superficie. Esta guía se ilustra en el cuadro 5.

Cuadro 5. Valores máximos de lámina de riego aplicada y de longitud del recorrido en relación con la textura del suelo y la pendiente para cultivos densos

TEXTURA	LÁMINA MÁXIMA DE RIEGO APLICADA (mm)	PENDIENTE (%)			
		0,5	1,0	1,5	2,0
		Longitud en el sentido del riego (m)			
Fina a moderadamente fina	125	580	500	400	320
Media a moderadamente gruesa	100	570	440	310	270
Moderadamente gruesa a gruesa	50	360	180	150	110

Fuente: Alberta Agriculture, Food and Rural Development. (2004b).

Los predios de formas extremadamente irregulares, de tamaño pequeño, de pendientes fuertes, de difícil laboreo de tierras, de difícil acceso o con cualquier otra característica indeseable y obvia, son clasificados como no aptos para el riego.

En cuanto a presencia de rocas, el manual de Alberta presenta seis categorías:

1. **Sin rocas:** no hay presencia de rocas o son tan pocas que no interfieren el laboreo de las tierras (menos de 0,01 % de cobertura superficial, rocas con más de 25 m de separación entre sí).
2. **Ligeramente rocosas:** algunas rocas presentes obstaculizan ligeramente o de ninguna manera el laboreo de las tierras (0,01 %-0,1 % de cobertura superficial, rocas separadas entre sí 8-25 m).
3. **Moderadamente rocosas:** suficientes rocas presentes ocasionan alguna interferencia al laboreo de las tierras (0,1 %-3 % de cobertura superficial, separación entre sí de 1-8 m).
4. **Muy rocosas:** suficientes rocas presentes obstaculizan seriamente el laboreo de las tierras; se requiere alguna remoción de rocas (3 %-15 % de cobertura superficial, separación entre sí de 0,5-1 m).
5. **Demasiado rocosas:** las rocas impiden el laboreo de las tierras hasta que no haya una considerable remoción de las mismas (15 %-50 % de cobertura superficial, separación entre sí de 0,1-0,5 m).
6. **Excesivamente rocosas:** la superficie del terreno es tan rocosa que impide el laboreo de las tierras; grandes cantos rodados o pavimento de rocas (más del 50 % de cobertura superficial, rocas separadas entre sí menos de 0,1 m).

Las dos últimas categorías son consideradas no aptas para explotaciones agrícolas bajo riego.

Con referencia al drenaje superficial para remoción de los excesos de agua provenientes del riego, el manual considera dos tipos de drenes de campo: a) Sección transversal en «V», con taludes 5:1 y con cortes hasta de 0,9 m. b) Sección trapecial con ancho de fondo de 0,6 m y talud 2:1, para cortes superiores a 0,9 m. Los encharcamientos pequeños y localizados pueden ser corregidos por medio de la nivelación de tierras. Cuando no existan salidas naturales de las aguas de drenaje se debe proponer drenaje por bombeo, y cuando existan áreas predominantemente bajas se puede prever su uso como colectoras de aguas de drenaje por medio de dragado. En el cuadro 6 se resume la valoración de los factores topográficos frente a los métodos de riego aplicables.

Cuadro 6. Especificaciones para la valoración de los factores topográficos

Factores limitantes	CATEGORÍAS TOPOGRÁFICAS			
	1	2	3	4
	Riego por superficie	Riego por aspersión	Riego por aspersión	No irrigable
Movimiento de tierras (m <sup>3</sup> /ha)	< 988	< 988	< 988	No cumplen con los requerimientos mínimos de la categoría 3
Longitud del recorrido (m)	110	No aplica	No aplica	
Tamaño del predio (ha)	> 2	> 8	> 8 terreno abrupto, 2-8 predios pequeños	
Forma del predio <sup>1,2</sup>	Regular	Regular	Irregular	
Máxima pendiente en el sentido del riego (%)	2	9 sistema simple o complejo	20 sistema complejo 30 sistema simple	
Mínima pendiente en el sentido del riego (%)	0,2	No aplica	No aplica	
Presencia de rocas (% de cobertura superficial)	< 15	< 15	< 15	
Arbustivos/árboles (% de cobertura superficial)	< 15	< 15	< 15	
Drenaje superficial, profundidad de corte (m) <sup>3</sup>	< 1,2	< 1,2	< 1,2	

1. Regular se refiere a forma rectangular, cuadrada o circular. 2. La topografía de categoría 2 puede tener forma irregular si el predio es > 8 ha. 3. Exceso de profundidad de corte para un dren abierto no constituye una limitación de no irrigable.

Fuente: Alberta Agriculture, Food and Rural Development. (2004a).

### 2.3. Clasificación de tierras con fines de irrigación

En materia de clasificación de tierras son muchas las propuestas que se han hecho en varios países del mundo, incluso en Colombia; la gran mayoría de ellas se han fundamentado en explotaciones agrícolas de secano, es decir, con dependencia total de las lluvias, y teniendo como base el potencial agrícola que ofrece el recurso suelo, únicamente. Son escasos los casos en los cuales se ha dado importancia a los estudios socioeconómicos y menos aún aquellos que han considerado el impacto ambiental como factor de importancia para la clasificación de tierras agrícolas.

La competitividad de los productos agropecuarios en los mercados internacionales ha generado un crecimiento de la agricultura bajo riego en el mundo entero y no podría ser de otra manera, puesto que la agricultura bajo riego y drenaje es la única que puede garantizar mejoras sustanciales en la calidad y cantidad de la producción, y seguridad en la predicción de los rendimientos esperados, para así poder adquirir



compromisos serios en el comercio de los productos. El desarrollo de la agricultura bajo riego ha traído consigo que varios países se hayan dado a la tarea de investigar el potencial que tienen en materia de recursos hídricos, tanto superficiales como subterráneos, y, conjuntamente con el potencial que ofrecen sus suelos, sus recursos climáticos y su recurso humano; además, se han adelantado estudios de clasificación de tierras para riego y drenaje, teniendo en cuenta la sostenibilidad biofísica, socioeconómica y ambiental en el tiempo y el espacio.

A continuación, se presentan algunas de las contribuciones que varios países han hecho a la clasificación de tierras agrícolas sin y con riego.

NSW Agriculture (2002), de Australia, utilizó la siguiente clasificación para explotación de tierras agrícolas en el estado de Nueva Gales del Sur:

- **Clase 1:** tierra arable, apta para agricultura intensiva y continua, con muy leve o ninguna restricción.
- **Clase 2:** tierra arable, apta para la producción regular de cultivos, aunque no apta para explotación continua. Algunas restricciones edáficas o ambientales.
- **Clase 3:** tierras de pastoreo o tierras muy aptas para mejoramiento de pastos. Se pueden explotar cultivos agrícolas en rotación con pastos. Presenta restricciones edáficas y ambientales como peligro de erosión y alteración de la estructura del suelo.
- **Clase 4:** tierras aptas para pastoreo, pero no para cultivos agrícolas. Pastos nativos o mejorados sembrados con mínima labranza. Producciones buenas solo durante la época de lluvias.
- **Clase 5:** tierras no aptas para agricultura o en el mejor de los casos, aptas para pastoreo liviano. La producción agrícola es muy baja. Restricciones extremas, que incluyen factores económicos.

En las áreas de asentamiento de colonos del proyecto Jusante, área 3, Glória (Brasil), según el informe de la Embrapa del año 2008, se utilizó el sistema del United States Bureau of Reclamation (USBR) para la clasificación de tierras para riego. Según la Embrapa, en su publicación «Sistema brasileño de clasificación de tierras para riego, enfoque en la región semiárida» (2011), se trata de la adopción del mismo sistema de clasificación. Este es uno de los sistemas más antiguos, que ha sido ampliamente reportado en la literatura; en él se presentan seis clases de suelos: las cuatro primeras clases son de suelos arables y las dos restantes son suelos no arables. Por ser este un sistema muy conocido, se puede afirmar que, en general, los proyectos de clasificación de tierras desarrollados en Brasil no han representado un nuevo aporte a la clasificación de tierras para riego y drenaje.

No obstante, como lo reporta la Embrapa (2014b), Brasil ha venido desarrollando estudios de agricultura de precisión con apoyo en imágenes satelitales, como el caso reportado en la publicación «Uso de imágenes suborbitales y orbitales para caracterizar la variabilidad

espacial en producción de cultivos». En este estudio se evaluó la habilidad de índices de vegetación tales como área foliar y altura de plantas, obtenidos de imágenes Landsat-5 y de imágenes aéreas de alta resolución para estimar la producción de algodón. Los resultados de predicción de producción de algodón a partir de datos de reflectancia de multiespectro alcanzaron elevados niveles de precisión, siendo el MSAVI (índice modificado de vegetación ajustado al suelo, por su sigla en inglés) y el MTVI2 (índice de vegetación triangular modificado, por su sigla en inglés) los que mostraron el mejor comportamiento. En el estudio se encontró que el NDRGI (índice de vegetación normalizada con rojos y verdes, por su sigla en inglés) obtenido de imágenes aéreas de alta resolución no es apto para predecir productividad; sin embargo, permitió identificar variabilidad espacial del índice de área foliar para los dos periodos de evaluación que abarcó el estudio. Las imágenes satelitales para estudios de variabilidad espacial de productividad y de diferentes parámetros biofísicos serán de gran apoyo para los estudios de zonificación de áreas potenciales de adecuación de tierras para riego y drenaje.

En estudios de suelos del condado de San Luis Obispo (California, 2003), del condado de Harper (Oklahoma, 2006), del condado de Kay (Oklahoma, 2007), del condado de Stanislaus (California, 2007), llevados a cabo por el USDA en colaboración con el NRCS, se utilizó una clasificación de aptitud de las tierras que considera tres niveles de aptitud: clase, subclase y unidad. La aptitud por clases es ampliamente conocida y se relaciona a continuación:

- **Clase 1:** suelos que tienen leves limitaciones que restringen su uso.
- **Clase 2:** suelos que tienen limitaciones moderadas que restringen la selección de plantas o que requieren moderadas prácticas de conservación.
- **Clase 3:** suelos que tienen limitaciones extremas que restringen la selección de plantas, o que requieren prácticas especiales de conservación, o ambas.
- **Clase 4:** suelos que tienen muy extremas limitaciones que restringen la selección de plantas, o que requieren manejos muy cuidadosos, o ambos.
- **Clase 5:** suelos que están sujetos a poca o ninguna erosión, pero que tienen otras limitaciones, imprácticas de eliminar, y que restringen su uso principalmente a pastos, vegetación nativa, bosques o vida silvestre.
- **Clase 6:** suelos que tienen extremas limitaciones que generalmente los hacen no aptos para cultivo y que restringen su uso principalmente a pastos, vegetación nativa, bosques o vida silvestre.
- **Clase 7:** suelos que tienen muy extremas limitaciones que los hacen no aptos para cultivo y que restringen su uso principalmente a pastoreo, bosques o vida silvestre.

- **Clase 8:** suelos y áreas misceláneas que tienen limitaciones que imposibilitan la producción de plantas comerciales y que restringen su uso a propósitos comerciales, vida silvestre, cuencas hidrográficas o a paisajismo.

Las subclases de aptitud se refieren a grupos de suelos dentro de una clase. Se designan por las letras minúsculas e, w, s, o c al número de la clase. Por ejemplo, en 2e, la letra e para la clase 2 indica que el principal peligro es el riesgo de erosión a menos que se mantenga una cobertura vegetal densa. La letra w significa que el agua dentro o sobre la superficie del suelo interfiere el crecimiento de plantas o el desarrollo de cultivos, situación que en algunos suelos se puede corregir con un sistema de drenaje. La letra s indica que el suelo tiene limitantes por ser poco profundo, seco o con presencia de rocas, y la letra c señala que el suelo tiene como principal limitante el clima por ser muy frío o muy seco. De acuerdo con lo expuesto, la clase 1 no tiene subclases, ya que tiene muy pocas limitaciones.

Fotografía: Juan Camilo Rodríguez.



Las unidades de aptitud son grupos de suelos dentro de las subclases. Una unidad se designa por un número precedido de un guion y va después de la identificación de la clase y de la subclase, por ejemplo, 3e-5. Los suelos de una unidad de aptitud son tan parecidos que pueden ser aptos para los mismos cultivos, tener la misma productividad y tener el mismo manejo.

En los estudios de suelos del USDA y el NRCS, como los mencionados anteriormente, hay un capítulo especial dedicado al uso y manejo de suelos. Se destacan como recomendaciones el manejo adecuado de los residuos de cosecha y su uso como abonos orgánicos, la selección adecuada de los métodos de riego (surcos, melgas rectangulares, pozas, aspersión, microaspersión y goteo), la nivelación de tierras con precisión y su mantenimiento, el manejo adecuado del agua de riego por medio del control de la tasa de aplicación, el tiempo de riego y las láminas aplicadas, y el manejo adecuado de los excesos de agua por medio de sistemas de drenaje superficial y subsuperficial.

El «Manual de procedimientos para clasificación de tierras para riego en Alberta (Canadá)» señala que la clasificación de tierras se fundamentó en la valoración de los factores de suelos y de los factores topográficos, y en la aptitud para riego y drenaje en la situación actual. Los parámetros incluidos tanto en los factores de suelos como en los factores topográficos ya fueron mencionados en las secciones 2 y 3, cuando se discutió la contribución del manual respecto a dichos factores.

En la clasificación de tierras para riego de Alberta se establecen siete clases; cada una representa un grupo de subclases que tiene el mismo grado relativo de limitantes o peligros para su explotación bajo riego. Las clases son las siguientes:

- **Clase 1, irrigable:** tierras excelentes para agricultura bajo riego con limitaciones no significativas. Se pueden producir cosechas sostenibles y relativamente altas de un amplio rango de cultivos propios de las condiciones climáticas. Los suelos son de textura media, bien drenados y con adecuada capacidad de retención de humedad. No presentan acumulación de sales solubles que representen riesgo para la producción de cultivos. Son tierras planas o aproximadamente planas. Las tierras de esta clase son aptas para métodos de riego por superficie y para métodos de riego a presión: aspersión, microaspersión y goteo.
- **Clase 2, irrigable:** tierras aptas para riego con limitaciones moderadas. Los patrones de cultivo son más reducidos o pueden requerir prácticas de manejo ligeramente diferentes que en la clase 1. Las limitaciones de esta clase son ligeramente significativas. Los suelos de esta clase pueden tener conductividades hidráulicas bajas debido a texturas finas o a estructura adversa. La retención de humedad disponible de los suelos puede ser más baja por presencia de suelos de textura gruesa o porque los suelos son poco profundos. Los niveles de salinidad pueden ir de bajos a moderados. El drenaje interno de los suelos puede estar restringido en algún grado. Las tierras de esta clase tienen pendientes suaves u onduladas, o la superficie

puede tener pequeños montículos; asimismo pueden ser aptas para métodos de riego por superficie y para métodos de riego a presión, o solamente para métodos de riego a presión: aspersión, microaspersión y goteo.

- **Clase 3, irrigable:** las tierras de esta clase son medianamente aptas para riego. Las limitaciones para agricultura bajo riego son moderadamente severas. Las deficiencias pueden ser debidas bien a un solo factor con limitaciones serias o bien a la combinación de varias limitaciones en los factores de suelo o de factores topográficos. Los suelos pueden ser menos adecuados debido a exceso de salinidad, presencia de sodio, conductividad hidráulica muy baja o baja capacidad de retención de humedad. Pueden tener restricciones de drenaje superficial o subsuperficial. El patrón de cultivos que permite establecerse puede, en consecuencia, tener restricciones. Se requiere introducir mayores prácticas de manejo tales como riegos frecuentes, prácticas de conservación y mejoras más intensivas que en las tierras de la clase 2. Las tierras pueden ser planas o con pequeños montículos. Las tierras de esta clase pueden ser aptas para métodos de riego por superficie y para métodos de riego a presión, o solamente para métodos de riego a presión: aspersión, microaspersión y goteo.
- **Clase 4, irrigable con restricciones:** las tierras de esta clase tienen limitaciones extremas para agricultura bajo riego y requieren condiciones especiales para patrones de cultivo y para manejo del suelo y del agua. Las limitaciones de esta clase pueden incluir pendientes moderadas a fuertes o predios pequeños de formas irregulares. Las tierras de esta clase son aptas para métodos de riego por superficie bajo condiciones especiales de diseño de los sistemas de riego para minimizar pérdidas de agua por escorrentía superficial y erosión hídrica, y para prevenir tiempos de inundación prolongados. Los métodos de riego a presión son aplicables con muy buenos diseños de los sistemas de riego.
- **Clase 5R, irrigable temporalmente (actualmente con obras de recuperación):** tierras en las cuales se están adelantando obras de recuperación para mejoramiento apropiado tales como drenaje o revestimiento de canales. Las tierras de clase 5R deben adicionarse a los registros catastrales como áreas sujetas a acuerdos, con el propósito de estimular los proyectos de recuperación. La clase 5R debe ser revisada después de haber sido recuperada por cinco estaciones de riego, después de lo cual las tierras deben ser calificadas como clase irrigable (clase 1, 2, 3 o 4) si cumple con los requisitos, o permanecer como clase 5R durante cinco años adicionales. En caso de no haber logrado mejoramiento significativo en las tierras dentro de un periodo de diez años para ser calificadas dentro de las clases irrigables, se deben calificar como clase 6, no irrigable, y se debe discontinuar el acuerdo transitorio de aguas. Las tierras de la clase 5R pueden ser aptas para métodos de riego por superficie y para métodos de riego a presión, o solamente para métodos de riego a presión: aspersión, microaspersión y goteo.

- **Clase 5, no irrigable (pendiente):** las tierras en esta clase se consideran no aptas para riego bajo las actuales condiciones, pero tienen suficiente potencial para ser consideradas como pendientes para investigación adicional o para mejoramiento. Las limitaciones de la clase 5 pueden ser una o más de las siguientes: drenaje pobre, nivel freático elevado, estructura de suelo muy pobre y exceso de salinidad o de sodio.

En la clase 5 se reconocen dos subclases:

1. No irrigable, pendiente de investigación más detallada. Las limitaciones son tales que se puede requerir un estudio de factibilidad más detallado en términos de suelos, drenaje o adecuación de tierras.
2. No irrigable, pendiente de implementación de obras de mejoramiento. Se puede requerir del revestimiento de canales o del mejoramiento de los sistemas de drenaje superficial o



subsuperficial para ser calificados dentro de una clase irrigable o como clase 5R.

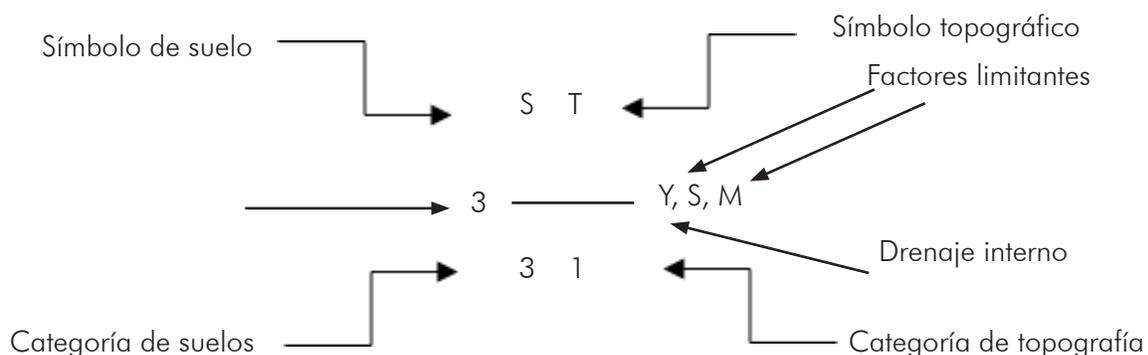
La clase 5 es tentativa y puede ascender a una clase irrigable o cambiar a clase 6, no irrigable, después de completar un estudio detallado o una obra de mejoramiento. La topografía de estas tierras puede ir desde plana a moderadamente pendiente, con pendientes simples o complejas.

- **Clase 6, no irrigable:** esta clase puede corresponder a tierras muy pendientes, de topografía muy abrupta o muy erosionadas, o tierras con suelos de estructura muy pobre, textura muy gruesa, exceso de salinidad o de sodio, drenaje pobre, suelos poco profundos con una capa de grava o de roca subyacente, u otras deficiencias no factibles de mejorar. En la clase 6 se pueden también incluir tierras de las clases 1 a 5, cuando son de tamaño muy pequeño, o cuando la investigación es demasiado exigente, o porque el propósito del proyecto es muy diferente.

Los métodos de riego por microaspersión y por goteo no figuran en el documento original consultado; no obstante, se han involucrado en la clasificación simplemente por el hecho de que al evaluar los factores edafológicos y los factores topográficos únicamente, las tierras aptas para el método de riego por aspersión son, por obvias razones, aptas también para riego por microaspersión y riego por goteo.

La determinación de la clase de tierra se hace por combinación de la categoría de suelo (S) y de la categoría de topografía (T). El drenaje interno es parte de la valoración del suelo y se identifica por X, Y o Z.

Todas las combinaciones de S y T se categorizan como se ve en el cuadro 7.



Cuadro 7. Clases de tierra para irrigación

CLASE	NOTACIÓN
1: aptitud excelente, con limitaciones no significativas para el riego.	$1 \frac{S T}{1 1}$
2: buena aptitud, con limitaciones moderadas para el riego.	$2 \frac{S T}{1 2} \quad 2 \frac{S T}{2 1} \quad 2 \frac{S T}{2 2}$
3: aptitud mediana, con limitaciones moderadamente severas para el riego.	$3 \frac{S T}{3 1} \quad 3 \frac{S T}{3 2}$
4: aptitud restringida, requiere diseño especial del sistema o manejo especial.	$4 \frac{S T}{1 3} \quad 4 \frac{S T}{2 3} \quad 4 \frac{S T}{3 3}$
5R: irrigable temporalmente, reclamación en progreso. La clase 5R puede estar sujeta a un acuerdo temporal con el propósito de estimular la reclamación.	$5R \frac{S T}{4 1} \quad 5R \frac{S T}{4 2} \quad 5R \frac{S T}{4 3}$
5: no irrigable, pendiente de una investigación detallada o de la implementación de un mejoramiento. Tierras de esta clase pueden ser ascendidas a una clase irrigable, o pueden ser calificadas como clase 6.	$5 \frac{S T}{4 1} \quad 5 \frac{S T}{4 2} \quad 5 \frac{S T}{4 3}$
6: no irrigable.	$6 \frac{S T}{4 1} \quad 6 \frac{S T}{4 2} \quad 6 \frac{S T}{4 3} \quad 6 \frac{S T}{4}$

Fuente: Alberta Agriculture, Food and Rural Development. (2004a).

La clasificación de tierras para riego de Alberta (Canadá) es una de las pocas clasificaciones especializadas en adecuación de tierras para riego y drenaje; en ella no solamente se han involucrado todos los parámetros importantes dentro de los factores edafológicos y los factores topográficos, sino que también se ha hecho una distinción sobre la aplicabilidad de los diferentes métodos de riego bajo diferentes condiciones topográficas y de suelo. Sin embargo, en el futuro se pueden proponer mejoras a este sistema de clasificación, ya que no se incluyeron los factores socioeconómicos, ni los factores ambientales, tampoco la disponibilidad de agua superficial y subterránea para el riego.

En Bélgica, se publicó en 2009 el estudio «Land evaluation system other than the FAO system». El estudio señala que aparte del sistema FAO sobre evaluación de tierras hay 14 sistemas más y ellos se pueden agrupar en tres tipos de aproximaciones: sistemas paramétricos, sistemas categóricos y sistemas de propósito especial.

Los sistemas paramétricos se fundamentan en correlacionar algunas características biofísicas de las tierras y su potencial de producción (Dengiz, 2006). Entre los sistemas paramétricos, el más conocido es el índice de Storie (I), propuesto en California (Estados Unidos), el cual fue desarrollado originalmente como herramienta para liquidación de impuestos. El índice de Storie se evaluó como el resultado de multiplicar los factores A, B y C. Posteriormente, un nuevo factor se agregó a los anteriores: el factor X. Todos los factores fueron evaluados en términos de porcentaje. El factor A se refiere al desarrollo del perfil del suelo y a su inherente composición química como efecto de meteorización. Con relación a la meteorización, los perfiles de suelos se agruparon en nueve estados de desarrollo. El factor B describe la textura a diferentes profundidades y el factor C califica la pendiente natural del terreno. Por su parte, el factor X incluye otras características no incluidas en los tres primeros factores tales como drenaje, fertilidad, niveles de acidez y alcalinidad, potencial de erosión y microrrelieve. Las pendientes naturales del factor C se evaluaron de la siguiente manera:

• Casi a nivel (0 %-2 %)	100 %
• Con ondulaciones suaves (2 %-3 %)	95 %-100 %
• Con pendientes suaves (3 %-8 %)	95 %-100 %
• Ondulados (3 %-8 %)	85 %-100 %
• Con pendientes moderadas (9 %-15 %)	85 %-95 %
• Colinas ondulantes (9 %-15 %)	85 %-95 %
• Con pendientes fuertes (16 %-30 %)	70 %-80 %
• Accidentado (16 %-30 %)	70 %-80 %
• Con pendientes muy fuertes (30 %-45 %)	30 %-50 %
• Con pendientes excesivamente fuertes (> 45 %)	5 %-30 %

Como ilustración de la aplicación del índice de Storie, Verheye (2009) refiere la siguiente: un suelo desarrollado en depósitos aluviales recientes con una profundidad de más de 120 cm (factor A = 100 %); con textura franco arcillosa, sin grava ni rocas (factor B = 85 %); con relieve ondulado suave de 2 % (factor C = 95 %); bien drenado, con un elevado nivel de fertilidad y sin restricciones de erosión, ni de alcalinidad/acidez (factor X = 100 %). La valoración para esta ilustración, aplicando la ecuación 1, fue un índice de Storie de 80,75 %.

$$I = (A) (B) (C) (X) \quad (\text{Ecuación 1})$$

Willy Verheye refiere que Storie, para correlacionar los parámetros anteriormente descritos al potencial de producción, reagrupó los valores de su índice I en seis categorías de suelos, a saber:

- **Grado 1 o tierra de excelente calidad:** los suelos tienen un índice I entre 80 % y 100 % y son aptos para una gran variedad de cultivos, incluidos alfalfa, huertos de frutales y cultivos transitorios.
- **Grado 2 o tierra de buena calidad:** el índice I de los suelos está entre 60 % y 79 %, son aptos para la mayoría de los cultivos y las producciones esperadas son generalmente buenas o excelentes.
- **Grado 3 o tierra de bastante buena calidad:** el índice I de los suelos está entre 40 % y 59 %. Son generalmente de buena calidad; sin embargo, su aptitud es menos amplia que la de los grados 1 y 2; dan buenos resultados con ciertos cultivos especiales.
- **Grado 4 o tierra de calidad pobre:** la valoración del índice I de los suelos está entre 20 % y 39 %. Los suelos tienen un rango de aptitud agrícola muy estrecho, en el sentido de que pueden dar buenos resultados con algunos cultivos, pero pueden no ser aptos para otros.
- **Grado 5 o tierra muy pobre:** los suelos tienen un índice I entre 10 % y 19 %. Tienen un uso muy limitado con excepción de los

pastos, principalmente debido a condiciones adversas críticas como poca profundidad; son abruptos y alcalinos.

- **Grado 6 o tierra no agrícola:** los suelos tienen un índice I por debajo de 10 % y no tienen aptitud para uso económico alguno.

Como se puede colegir, la clasificación de Storie, si bien hizo uno de los primeros aportes a la clasificación de tierras agrícolas, no consideró la disponibilidad de agua para riego; tampoco factores socioeconómicos ni ambientales, y podría afirmarse que el aporte a la clasificación de tierras para riego y drenaje está limitado a algunas características edáficas.

El sistema Riquier, Bramao y Cornet, citado por Willy Verheye, es otro de los sistemas paramétricos conocidos. Según este sistema, la evaluación de las tierras se debe fundamentar en la productividad existente y la productividad potencial, basada esta en los niveles de productividad que se pueden alcanzar después de determinadas prácticas de manejo de las explotaciones agrícolas. El índice de productividad ( $P_i$ ) se obtiene de multiplicar entre sí nueve factores paramétricos, a saber: estatus de humedad del suelo (H), drenaje (D), profundidad efectiva (P), textura y estructura (T), saturación de bases (N), concentración de sales solubles (S), contenido de materia orgánica (O), capacidad de intercambio mineral y tipo de arcilla (A), y reserva mineral (M). A cada uno de estos nueve parámetros se le asigna un valor entre 1 y 100, y los valores resultantes del índice de productividad  $P_i$  se reagrupan en cinco clases de productividad. El índice de productividad (ecuación 2) se expresa como:

$$P_i = (H) (D) (P) (T) (N \text{ o } S) (O) (A) (M) \quad (\text{Ecuación 2})$$

En este sistema se halla un coeficiente de mejora del suelo, expresado como la relación entre el  $P_i$  de productividad potencial o futura, y el  $P_i$  de productividad existente. Es necesario primero determinar qué prácticas de manejo se pueden implementar y de estas, cuáles son técnica y económicamente factibles. El sistema propone dos grupos de prácticas de manejo: las impuestas por los factores limitantes del suelo y aquellas relacionadas con las restricciones fisiográficas y ambientales. En el primer grupo se encuentran el riego para remediar las deficiencias en la humedad del suelo H, sistemas de drenaje para corregir las deficiencias en D, subsolado para contrarrestar problemas relacionados con la textura/estructura P, prácticas de fertilización para enmendar deficiencias en N, lixiviación de sales para corregir problemas de salinidad S y aplicación de materia orgánica para corregir restricciones en O. Las prácticas de manejo relacionadas con restricciones fisiográficas se refieren al control de la erosión eólica e hídrica, y a la remoción de vegetación y de rocas.

Se observa que las diferencias entre el índice de productividad y el índice de Storie no son contundentes; sin embargo, el sistema de clasificación del primero involucra prácticas de manejo de los sistemas de producción como el riego y el drenaje, la lixiviación de sales, la fertilización, el control de la erosión y la remoción de vegetación y de rocas como ingredientes para mejorar la productividad y, por esta razón,

se constituye en un sistema que hizo nuevos aportes a la clasificación de tierras.

En Etiopía (2013), se adelantó una investigación en aproximaciones de sistemas de información geográfica y sensores remotos para comparar la aptitud espacial de tierras para riego por superficie y riego por goteo. El estudio fue realizado en el distrito Kilde Awulaelo, en un área de 988 km<sup>2</sup>, localizado hacia el noreste del país. Para desarrollar la clasificación de la aptitud de las tierras para los métodos de riego en comparación, se generó el índice de aptitud para riego ( $S_i$ ), que se ilustra en la ecuación 3:

$$S_i = (A) (B/100) (C/100) (D/100) (E/100) (F/100) (G/100) \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

$S_i$  = índice de aptitud para riego

$A$  = valor asignado a la textura del suelo

$B$  = valor asignado a la profundidad del suelo

$C$  = valor asignado al estatus de  $\text{CaCO}_3$  en el suelo

$D$  = valor asignado a la salinidad/alcalinidad del suelo

$E$  = valor asignado al drenaje

$F$  = valor asignado a la pendiente

$G$  = valor asignado a la presencia de rocas superficiales

Los métodos de riego por superficie considerados en esta clasificación fueron pozas, melgas rectangulares, riego por surcos y desbordamiento no controlado. Al tener en cuenta los problemas de escasez de agua en el estudio, se concluyó que si bien es cierto que la clasificación de tierras para riego es muy importante para el desarrollo regional, más importante aún es la correcta selección de los métodos de riego.

Utilizando técnicas de toma de decisiones con criterios múltiples y SIG, se llevó a cabo en la India un estudio, en el año 2011, en un área de 80.000 ha localizada en el distrito Uttar Pradesh, con el fin de generar mapas de aptitud de los suelos para diferentes cultivos. Para la toma de decisiones con criterios múltiples se utilizó el método AHP (Analytic Hierarchy Process) con el fin de determinar los pesos, mientras que el SIG se utilizó para el manejo de la información digital espacial. Inicialmente, se estudió la variabilidad espacial de algunas propiedades de suelos y se generaron diez mapas: reacción del suelo (pH), conductividad eléctrica (ECe), carbono orgánico como indicador de materia orgánica en el suelo, nitrógeno disponible, fósforo disponible, potasio disponible, porcentaje de sodio intercambiable (ESP), saturación de bases (BS), capacidad de intercambio de cationes (CEC) y textura del suelo. A partir de los estudios de variabilidad espacial representados en los mapas citados se evaluaron nueve cultivos para el área de estudio. De los nueve cultivos, cuatro son propios de la estación seca –mostaza, caña de azúcar, trigo y cebada– y cinco, de la estación lluviosa –mijo

perla, maíz, algodón, arroz y sorgo—. Como resultado del estudio de aptitud de tierras del área para la producción de cultivos, se elaboraron 11 mapas, así: uno para cada uno de los nueve cultivos, uno general para los cuatro cultivos de la estación seca y uno general para los cinco cultivos de la estación lluviosa.

El estudio anterior demostró que la combinación del método AHP con la tecnología SIG es muy poderosa para el análisis de aptitud de las tierras agrícolas y, como conclusión final, sus autores recomendaron la selección de un mayor número de factores de suelo, clima, instalaciones de riego, infraestructura de mercado y factores socioeconómicos.





### 3. ZONIFICACIÓN GENERAL DE TIERRAS CON FINES DE IRRIGACIÓN (ZTI): PROCEDIMIENTO

La metodología y aplicación de la zonificación general con fines de irrigación (ZTI) se realizó con base en los principios de evaluación de tierras, es decir, comparando temáticamente lo que ofrece el territorio con lo que demandan, en términos generalizados, los sistemas de irrigación, apoyado con la experiencia de profesionales en irrigación y las actuales experiencias de casos fallidos y éxitos de la irrigación en Colombia.

Tratar de zonificar el país a través de una clasificación de tierras de acuerdo con sistemas de irrigación implicó involucrar componentes adicionales al físico, como es lo tradicionalmente realizado según las revisiones bibliográficas citadas en el capítulo 2; para ello, acorde con las demás experiencias en zonificación de utilización de la tierra que ha realizado la UPRA, se adicionó un análisis espacial desde la mirada del recurso hídrico, ecosistémico y socioeconómico, focalizándolos desde la irrigación.

Este proceso de clasificación propendió por una zonificación integral y holística de la adecuación de tierras, en la medida que la disponibilidad y confiabilidad de información lo permitieron, lo que generó como resultado una herramienta robusta para orientar, en términos generales, las decisiones sobre el desarrollo de proyectos de irrigación en Colombia.

Fotografía: Juan Camilo Rodríguez.



### 3.1. Conceptualización cartográfica de la ZTI

Teniendo en cuenta que gran parte de los datos que se utilizan a nivel espacial para tomar decisiones para todo el país se encuentran a escala general o cartográfica 1:100.000 o escalas menores, es adecuado para tomar decisiones de planificación mantener dichos análisis a las mismas escalas con que se encuentran los datos. Aunque, con los sistemas de información geográfica se pueden realizar operaciones cartográficas multiescalares, es incoherente fusionar y cuantificar datos espaciales y concebir resultados aumentados de detalle a partir de información de menor escala; por esta razón, y para seguir manteniendo la importancia de toda la información posible, para dar el adecuado desarrollo de la ZTI se dividieron en dos grandes grupos de información en función de su escala fuente, llamados delimitadores y caracterizadores (figura 1).

#### 3.1.1. La información delimitadora

*Delimitadores* hace referencia a aquella información espacial que se encuentra disponible oficialmente a escala general o 1:100.000, que, a su vez, permite solo operaciones espaciales entre los elementos del mismo grupo, mas no con el grupo de caracterizadores (figura 1, componente físico).

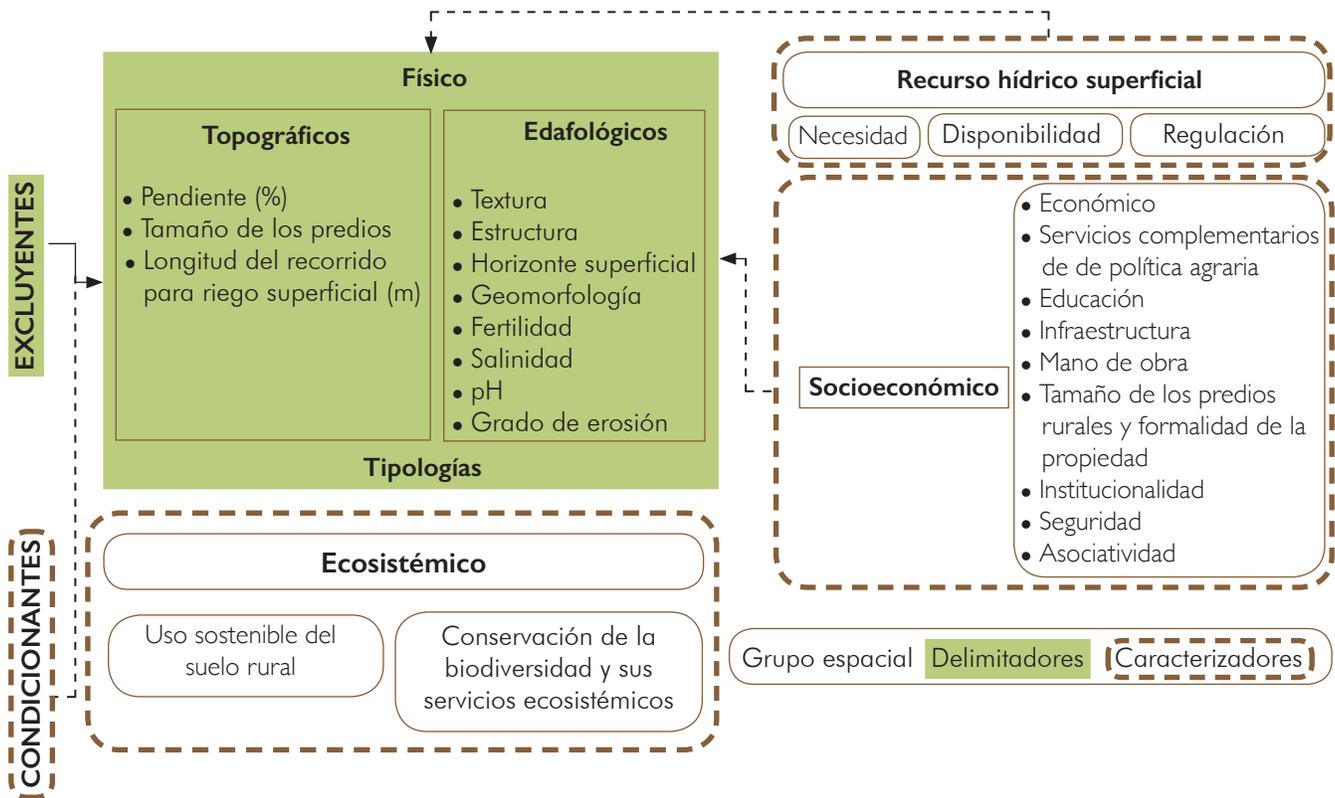
Este grupo está conformado temáticamente por el componente físico, con elementos de variables y criterios, que se definirán más adelante.

#### 3.1.2. La información caracterizadora

*Caracterizadores* se refiere a la información espacial que se encuentra a escala menor a la general o 1:100.000, por lo cual brindan información adicional como herramienta de la zonificación, pudiéndose hacer operaciones espaciales del conjunto entre las mismas, pero no con el grupo de los delimitadores; de esta manera, la información se puede integrar visualmente, pero no a nivel de entidades de datos espaciales (figura 1, cuadros en línea discontinua).

Este grupo está conformado por los componentes recurso hídrico superficial, ecosistémico y socioeconómico, cada uno de ellos formados a partir de los criterios y las variables que se describen más adelante.

Figura 1. Delimitadores y caracterizadores de la ZTI



### 3.2. Conceptualización temática de la ZTI

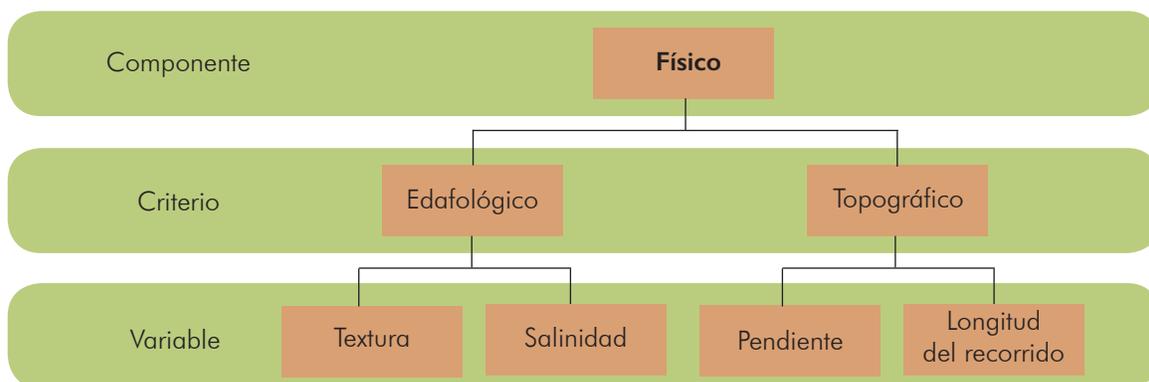
De acuerdo con lo anterior, la conceptualización temática para la ZTI se subdivide en la definición de cuatro componentes generales: el físico, los recursos hídricos superficiales, el ecosistémico y el socioeconómico.

Cada uno de ellos está compuesto por uno o más criterios, que se precisan como conceptos agrupados por elementos con juicios individuales llamados variables, los cuales se encuentran en función del componente por estudiar; de esta manera, la primera jerarquía es el componente, seguido de los criterios y, finalmente, de las variables; pueden existir temáticas que no precisen de criterios, ya que pueden estar definidas directamente por variables (figura 2).

Cabe resaltar, que, aunque cartográficamente existen dos grupos de información, a nivel conceptual la ZTI se analizó desde los cuatro componentes ya mencionados, con el fin de zonificar y tipificar las tierras para riego, en función de su componente físico, para la focalización eficiente de sistemas de irrigación, caracterizándolas desde los componentes recurso hídrico superficial, ecosistémico y socioeconómico, en un contexto generalizado para el territorio colombiano.

En la figura 2 se describen los diferentes elementos que fueron utilizados para la ZTI, de acuerdo con su jerarquía.

Figura 2. Jerarquías temáticas para la ZTI



### 3.3. Definición de los componentes, los criterios y las variables de la ZTI

#### 3.3.1. Componente físico

Se define como los elementos bióticos que pueden interactuar mutuamente, en relación con la funcionalidad suelo-planta-agua.

Este componente, que es el delimitador, es el que espacialmente limita y zonifica las tierras del territorio colombiano, teniendo en cuenta que su tipificación se basa en la eficiencia del sistema, con base en las exigencias de los principales sistemas de riego que existen. Para la ZTI se subdividió este componente teniendo en cuenta dos criterios elementales para la irrigación: la edafología y la topografía.

##### 3.3.1.1. Criterio edafológico

Para determinar la extensión y la tipología de la tierra para riego, se realizó un análisis de las características o cualidades físicas y químicas que afectan la idoneidad del recurso suelo para la implementación eficiente y sostenible de agricultura bajo riego. Estas características fueron seleccionadas y analizadas bajo la tendencia actual y bajo un análisis predictivo, una vez la tierra fuera objeto de la aplicación de agua de riego.

Las variables que conforman este criterio en la determinación de la irrigación en el territorio se han subdividido en permanentes y modificables en función del tiempo.

Las variables permanentes son aquellas que han sido determinadas por los materiales parentales y por algunos factores de formación que no pueden cambiar en el corto plazo de la formación de suelos; adicionalmente, se distinguen porque en general no son alterables con la práctica del riego. Para la ZTI, dichas variables son:

- Textura
- Estructura del suelo

- Profundidad del horizonte superficial
- Paisaje

Las variables modificables son aquellas que pueden ser alteradas a través de acciones llevadas a cabo en forma regular sobre el suelo, que pueden ser ocasionadas por la adecuación de tierras antes de la aplicación del riego; por otra parte, dichas variables también pueden ser modificadas por medio de las prácticas del manejo del agua del riego. Para la ZTI, estas variables son las siguientes:

- Fertilidad del suelo
- Salinidad del suelo
- Acidez (pH)
- Grado de erosión actual

Estas son las que tuvieron para la ZTI el mayor grado de validez en términos de riego, aunque inicialmente se tuvo en cuenta un número mayor, similar al que mencionan diferentes autores, pero en Colombia, a nivel general, no se cuenta con la suficiente base de datos edafológicos de manera integrada, razón por la cual, sumada a la escala del proyecto, se seleccionaron las que repercuten y reúnen conceptualmente propiedades individuales del suelo, añadido a la importancia que tienen en un análisis espacial, enfatizando que son las que se pueden extraer de un estudio general de suelos.

A continuación, se describe cada una de ellas.

#### 3.3.1.1.1. Textura del suelo

La textura es una característica física permanente del suelo. Describe las proporciones relativas de tres grupos de partículas o fracciones definidas a un diámetro menor a 2 mm, que de acuerdo a su tamaño se pueden clasificar en arena, limo y arcilla, siendo las arenas la fracción gruesa de la textura y las arcillas la fracción más fina.

Es una variable importante para tipificar el suelo para riego, ya que se debe acoger a dos condiciones generales, que se requieren del mismo, para promover la producción de cultivos con riego: 1) la textura debe ser adecuada para permitir las operaciones de cultivos necesarios y oportunos, y 2) la capacidad de retención de humedad disponible debe ser óptima y estar acorde con el método propuesto de riego y los patrones de cultivos.

Por su naturaleza, esta variable tiene una alta relación con otras variables físicas del suelo no descritas, principalmente con las hidrodinámicas del suelo, como la infiltración, la conductividad hidráulica, la capacidad de retención de humedad, entre otras, que no se encuentran disponibles en la mayoría de estudios generales de suelos de departamentos para Colombia.

### 3.3.1.1.2. Estructura del suelo

La estructura del suelo es una característica física permanente y cualitativa que describe la naturaleza y la forma como se acomodan las partículas del mismo para constituir agregados. Una gran cantidad de poros de mayor tamaño y llenos de aire se asocia con agregados estables y a un suelo productivo. Los suelos en los que las partículas son relativamente del mismo tamaño tienen comparativamente poros más grandes entre ellas, mientras que en aquellos en los que existen una gran variedad de tamaños entre las partículas, estas están más acopladas y de esta forma el volumen de espacios intersticiales es menor.

Su importancia para la irrigación se encuentra en la afectación directa de la disponibilidad de espacios porosos en el suelo, ya que aumenta o disminuye el movimiento del agua en el suelo, la conducción térmica, el crecimiento radicular y la resistencia a la erosión, donde el agua es el componente elemental que afecta dichos espacios con mayor importancia debido a su solución y precipitación de minerales, y sus efectos en el crecimiento de las plantas.

### 3.3.1.1.3. Profundidad del horizonte superficial

La profundidad del horizonte superficial corresponde a la medida de longitud vertical tomada desde la superficie del suelo hasta el límite del primer horizonte identificado y definido en un perfil.

Para fines de riego y drenaje, esta variable es de particular importancia en el diseño de nivelación de tierras para aplicación de métodos de riego por superficie, que, de acuerdo a su profundidad, pueden o no aumentar la vulnerabilidad de los suelos para ser erosionados con procesos de nivelación de tierras. De esta manera, por ejemplo, un horizonte muy delgado tiene mayor susceptibilidad a erosión si se le aplica nivelación con base en la pendiente deseada.

Es de aclarar que esta variable es diferente a la profundidad efectiva del suelo, lo cual a menudo se confunde, y que para la ZTI no se seleccionó ya que el objeto que se tiene en cuenta para el proyecto es la irrigación y no el desarrollo óptimo de cultivos a través de variables fisiológicas como el crecimiento adecuado de raíces en el suelo.

### 3.3.1.1.4. Paisaje

El paisaje se puede definir como una porción de espacio constituido por una repetición de tipos de relieve idénticos o por asociación de tipos de relieve diferentes. El paisaje hace parte del sistema genético categorizado de Alfred Zinck, adoptado por el IGAC y adaptado a las características del país.

Su definición es un concepto integrador de distintas variables de posición relativa de formas de terreno. A escala macro, fue importante tenerla en cuenta junto con el criterio topográfico, con el fin de tipificar las restricciones para distintos sistemas de riego, asociados al tipo y forma de la topografía, la posición relativa y condiciones de vecindad, con base en la eficiencia del movimiento del agua y la susceptibilidad a erosión hídrica por efectos de la forma del terreno.

Por ejemplo, un paisaje de montaña tendría mayores restricciones para la implementación de riegos por superficie, a diferencia de un paisaje de planicie con terrazas a diferentes niveles. Aunque temáticamente es una escala exploratoria, en los estudios generales de suelos hacen parte de los procesos formadores del suelo, por lo cual mantienen una delimitación a escala general, como son los tipos de relieve.

#### 3.3.1.1.5. Fertilidad del suelo

La fertilidad de los suelos es una característica modificable y es una expresión de la cantidad de nutrientes y su nivel de disponibilidad para ser aprovechado por las plantas. Su valoración involucra las siguientes variables: pH, saturación de aluminio, capacidad de intercambio catiónico, porcentaje de saturación de bases, bases totales, porcentaje de carbón orgánico en función del clima (frío, medio, cálido), cantidad de fósforo, potasio, sales y sodio. La composición mineralógica de las rocas permite establecer qué minerales puede heredar el suelo de ellas y cuáles minerales secundarios son susceptibles de formarse en él; este aspecto está muy relacionado con la fertilidad natural del mismo, ya que los minerales primarios componen la reserva de nutrientes que posee el suelo; sin embargo, prácticas de manejo de enmiendas, incorporación de materia orgánica, manejo adecuado de riego, etcétera, pueden modificar esta variable.

Fotografía: Libia Peñuela.



El nivel de fertilidad es dinámico y es influenciado por otros factores agronómicos y de manejo tales como el patrón de cultivos, las prácticas de mecanización, el manejo del agua de riego, entre otras.

Para la ZTI, la fertilización de los suelos tiene gran importancia, ya que deberá estar en armonía con los métodos de riego seleccionados, pues las cantidades de fertilizantes que se aplican a un suelo en forma convencional son muy superiores a aquellas utilizadas por medio de la fertirrigación para sistemas de riego localizado y, además, cuando el fertilizante se aplica con el agua de riego, su absorción por las plantas es mucho más eficiente y, por consiguiente, son mucho más altos los niveles de producción esperados; de esta manera, la irrigación no es solo la aplicación del agua para cultivos, sino que adicionalmente puede ser eficientemente utilizado para la fertilización de cultivos, en especial cuando el suelo se comporta como un sustrato, es decir, a menor fertilidad de un suelo, con sistemas de riego localizado se puede suplir esta necesidad.

#### 3.3.1.1.6. Salinidad del suelo

La salinidad de los suelos, característica modificable, es la concentración de sales solubles que existe en la solución del mismo. Las sales que están o entran en el suelo se concentran principalmente como resultado de la evapotranspiración del agua en la cobertura vegetal. Esta concentración de sales en solución produce un aumento del potencial osmótico del agua del suelo, lo que afecta la absorción del agua por las plantas, de forma que deben consumir energía extra para poder sustraer el agua de la solución del suelo. De manera paralela, existe la posibilidad de que estas concentraciones sean tan altas que se consideren tóxicas para las plantas; aunque el potencial osmótico que se desarrolla en un ambiente de salinidad de los suelos tiene una magnitud pequeña en comparación con los potenciales matriciales, de presión y gravitacional, la toxicidad generada por el ambiente salino afecta significativamente el crecimiento y la producción de cultivos.

En este sentido, el conocimiento de la salinidad de los suelos resulta de gran importancia en el proceso de clasificación de las tierras para riego, y en los casos en que sea técnica y económicamente factible, se pueden proyectar los sistemas de riego con una lámina adicional de agua para lixiviación de sales y así mantener un ambiente adecuado para los cultivos en su zona de raíces.

La salinidad del suelo ejerce una marcada influencia en la ZTI, ya que la selección del sistema productivo deberá tener en cuenta los niveles de tolerancia de las distintas especies vegetales y este a su vez ejercerá influencia sobre los métodos de riego. Más aún, si existe la potencialidad de los suelos de permitir lixiviación de sales, se deberá definir si tal lixiviación se llevará a cabo con flujo saturado o no saturado, y estará ligada a la disponibilidad de agua en el área y al método de riego.

Por otra parte, cuando el sodio se encuentra en altas concentraciones en el suelo, su dispersión genera un deterioro de las propiedades físicas del suelo reflejadas en una disminución de la velocidad de flujo de agua a través del suelo, es decir, se afectan negativamente la infiltración y la conductividad hidráulica con todas sus consecuencias.

Las técnicas de recuperación de suelos salinos y salino-sódicos están basadas en el lavado de sales por medio de la aplicación de agua a través del riego y de la evacuación de estas a través del drenaje.

#### 3.3.1.1.7. Reacción del suelo (pH)

La reacción del suelo (pH) es una característica modificable. El pH de un suelo es una expresión del grado de acidez o alcalinidad y se define como el logaritmo negativo en base 10 de la actividad del ion hidrógeno.

El pH del suelo aporta información relevante en diversos ámbitos de la edafología. Uno de los más importantes conceptos procede del hecho de que las plantas tan solo pueden absorber los minerales disueltos en el agua, mientras que la variación del pH modifica el grado de solubilidad de los minerales.

Esta variable tiene una gran influencia en distintas de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, ya que controla la disponibilidad de nutrientes esenciales presentes en el suelo; el pH ácido limita la disponibilidad de nitrógeno, fósforo, azufre, calcio, magnesio, sodio y molibdeno. La disponibilidad de boro, cobre y zinc se puede ver afectada por valores de pH inferiores a 5,0 y superiores a 7,0, en tanto que la disponibilidad de hierro puede ser afectada por valores de pH superiores a 6,5; de esta manera, se establece que los rangos ideales para mantener los equilibrios biológicos y tolerables a la mayoría de los cultivos oscila entre valores cercanos a 7,0.

Aunque esta variable tiene un valor de gran importancia desde lo agronómico, para los sistemas de irrigación es fundamental, puesto que tiene una alta correlación con los procesos de fertilización en la irrigación.

#### 3.3.1.1.8. Grado de erosión actual del suelo

La erosión de los suelos se definió, en términos generales, como la pérdida físico-mecánica de los primeros horizontes del suelo, con afectación en sus funciones y servicios ecosistémicos, que produce, entre otras, la reducción de la capacidad productiva de los mismos (Lal, 2001); si se enmarca dentro de la degradación de suelo por erosión, se refiere a «la pérdida de la capa superficial de la corteza terrestre por acción del agua y/o del viento, que es mediada por el ser humano, y trae consecuencias ambientales, sociales, económicas y culturales» (sic) (Ideam, 2015b).

En esta variable, desde los estudios generales de suelos, se hace una apreciación generalizada del grado de erosión actual, tanto en términos de erosión hídrica como de erosión eólica, los cuales tienen un efecto muy perjudicial sobre la fertilidad natural del suelo. Así, suelos erosionados son menos fértiles y más difíciles y costo-eficientes de manejar. Los factores considerados en la evaluación de la erosión del suelo incluyen el grado de erosión anterior y la susceptibilidad a la erosión con el desarrollo del riego. Adicionalmente, la erosión afecta la capacidad de retención de agua por las alteraciones en el contenido de

materia orgánica y en el porcentaje de partículas finas (arcilla) del suelo, lo cual provoca cambios en la densidad del suelo.

El grado de afectación actual de los suelos por erosión es un factor determinante en la toma de decisiones sobre adecuación de tierras, puesto que permite descartar o no la aplicación de métodos de riego por superficie, en función de la sostenibilidad de los mismos, a la vez que permite establecer si ciertas actividades de adecuación como la nivelación de tierras o la construcción de obras de protección son o no costo-efectivas.

### *3.3.1.2. Criterio topográfico*

Dentro la ZTI se definió como el conjunto de características métricas que presenta la superficie y el relieve de un terreno. Para efectos de la presente zonificación, se contemplan variables de carácter altimétrico y planimétrico, las cuales tienen una alta incidencia en la selección, el diseño y la construcción de sistemas de riego.

Fotografía: Juan Camilo Rodríguez.



Los criterios topográficos están conformados por tres variables que ejercen influencia sobre la agricultura bajo riego y que guardan relación directa o indirecta con las características de la forma y el relieve de una zona. Por esta razón, se tienen en cuenta las características altimétricas del relieve como la irregularidad, las pendientes naturales predominantes, la planimetría, el tamaño de los predios y la longitud del recorrido para riego superficial. Los factores topográficos así considerados son de gran ayuda en la tipificación de áreas para adecuación de tierras con fines de riego, ya que permiten tener una idea general sobre las eficiencias potenciales de aplicación del agua, las necesidades de drenaje, los tamaños de los predios de riego y, en consecuencia, son una herramienta fundamental en la selección adecuada de los métodos de riego.

Para la ZTI se tuvieron en cuenta las siguientes variables:

- Pendiente del terreno
- Tamaño de los predios
- Longitud del recorrido para riego superficial

#### 3.3.1.2.1. Pendiente del terreno

Es la inclinación de la superficie natural del suelo con respecto a la horizontal; se expresa comúnmente en porcentaje o grados decimales, siendo 45° el 100 % de una pendiente.

La pendiente del terreno, cuantificada en términos naturales de un lugar, es primordial para la selección del método de riego en función de la eficiencia y sostenibilidad del mismo, ya que influye directa y drásticamente en procesos erosivos. A manera de ejemplo, se puede contemplar que entre mayor sea el caudal unitario de riego, mayor será la susceptibilidad de erosión. En este sentido, los métodos de riego por superficie pueden presentar mayor riesgo a la erosión que el riego por aspersión y que el riego localizado (goteo y microaspersión); por esta razón, ciertos métodos de riego por superficie exigen, para un eficiente funcionamiento, pendientes totalmente planas (nivelación 0 %) a muy ligeramente inclinadas; otros métodos de mediana exigencia requieren tan solo pendientes ligeramente planas con un emparejamiento de la superficie, pero cuando se tienen pendientes inclinadas a ligeramente escarpadas, únicamente se pueden aplicar métodos de riego a presión de aplicación localizada.

El conocimiento de esta variable es esencial para determinar susceptibilidades a la erosión del suelo, clasificando las prácticas de control de la erosión y las posibilidades de la labranza mecanizada de la agricultura. Consecuentemente, tiene una influencia primaria sobre la aptitud agrícola de la tierra, donde la implementación de sistemas productivos agropecuarios bajo riego en pendientes altas demanda la construcción de estructuras para controlar la distribución del agua de riego y para evitar la erosión en zanjas, así como prácticas de manejo especializadas.

### 3.3.1.2.2. Tamaño del predio

El tamaño de los predios tiene un papel importante en la ZTI, desde la mirada de la planificación de un área para irrigación, en términos de implementación y construcción, así como en la aplicabilidad de los diferentes métodos de riego.

Cuando en una zona se presenta un alto grado de fraccionamiento de la tierra (minifundios), se puede correlacionar directamente con la dificultad para seleccionar métodos de riego por superficie, ya que la eficiencia de estos exige tamaños mediamente significativos para su aplicación y manejo de regadío; de esta manera, surge un segundo factor de relevancia, la distribución por predio del recurso agua, donde su distribución se hace menos efectiva a mayor número de predios por área, si se utilizara el riego por superficie, y por esta razón se recomiendan los métodos de riego a presión o localizados.

Esta variable no ha sido tomada en cuenta en las zonificaciones para irrigación consultadas; como se mencionó anteriormente, uno de los objetivos de la ZTI es la planificación; de esta manera, algunas veces se puede considerar más el aspecto social, que, a diferencia en este proyecto, se tomó técnicamente desde la ingeniería de riegos por la importancia que hay en Colombia en cuanto a la utilización de riegos por superficie.

### 3.3.1.2.3. Longitud del recorrido para riego superficial

La longitud del recorrido hace referencia a la dimensión longitudinal en el sentido del desplazamiento del agua (pendiente), medida en metros (m), aplicado como parámetro de eficiencia en los métodos de riego por superficie.

Esta variable incide directamente en la pérdida de agua y los compuestos mineralógicos de los suelos: en suelos pesados, las longitudes muy cortas de aplicación del riego inducen a enormes pérdidas de agua por escorrentía superficial; cuando estos son livianos, es necesario proporcionar longitudes cortas para minimizar las pérdidas de agua por percolación profunda. En general, los métodos de riego por superficie exigen longitudes mínimas y máximas, las cuales deben combinarse en forma óptima con el caudal unitario y la pendiente en el sentido del riego, para garantizar valores adecuados de eficiencia de aplicación del agua y de sostenibilidad en el tiempo y el espacio.

## 3.3.2. Componente recurso hídrico superficial

De acuerdo con los sistemas de clasificación para irrigación consultados, generalmente este componente es analizado en etapas de diseño y construcción de sistemas de riego; sin embargo, para la ZTI fue relevante por los alcances de planificación del presente proyecto, y adicionalmente, aprovechando los últimos estudios que tiene el país con base en este recurso. Por esta razón, el componente recurso hídrico superficial se definió como los análisis hidrológicos del recurso hídrico superficial, realizados en las subzonas hidrográficas, excluyentes o incluyentes en la planificación de áreas para riego que

pueden interactuar mutuamente, teniendo en cuenta tres estados para la irrigación: 1) la necesidad, es decir, dónde se hace inevitable implementar sistemas de riego con base en la necesidad hídrica del sector agropecuario; 2) la disponibilidad: el territorio tiene varios tipos de consumo de agua (humano, industrial, agropecuario entre otros), por lo cual se precisa conocer qué disposición de agua superficial existe actualmente y si habría la disponibilidad para la implementación de la irrigación, y 3) la regulación; no es suficiente conocer la necesidad y la disponibilidad del recurso agua, ya que según la distribución anual es preciso conocer si el agua superficial se encuentra disponible para cuando se necesita, es decir, conocer su estado de regulación durante el año; así, hay zonas del país que pueden tener alta disponibilidad del agua, pero no está regulada durante todo el año o los meses que se hacen necesarios para la irrigación.

Este componente, que es un elemento espacial caracterizador cartográficamente, brinda información complementaria a una escala menor que el componente físico, siendo temáticamente una escala de ordenación de cuencas donde la unidad de análisis es la subzona hidrográfica, unidades definidas por el Ideam para establecer una planificación desde el punto de vista ambiental, en términos del recurso agua para el territorio colombiano.

De acuerdo con lo anterior, para la ZTI se subdividió este componente teniendo en cuenta los siguientes tres criterios: la necesidad hídrica superficial, la disponibilidad hídrica superficial y la regulación hídrica.

#### *3.3.2.1. Necesidad del recurso hídrico superficial*

El criterio analiza espacialmente en qué zonas del país se presenta déficit o hay excedentes de agua, lo que para efectos de riego expresa que en donde hay déficit se demandaría un recurso hídrico adicional a la precipitación, que debería ser suplido a través del riego, contrario en las subzonas, donde se presentan excedentes, lo cual no demandaría agua adicional y por lo tanto se podría presumir que no es de mayor importancia la implementación de sistemas de irrigación en dichas zonas.

Este criterio responde, en términos muy generalizados, dónde puede ser necesaria la implementación de la irrigación con base en un balance hídrico superficial, con lo cual se caracterizan las áreas definidas en el componente físico.

#### *3.3.2.2. Disponibilidad del recurso hídrico superficial*

El criterio ilustra espacialmente en qué zonas hay mayor o menor disponibilidad de agua superficial que podría ser usada para riego agrícola. Asimismo, puede interpretarse como en qué zonas del país se presentan las mayores restricciones por disponibilidad de agua debido a las presiones por uso, indicando el grado de presión sobre la oferta.

Es la representación espacial de la relación demanda-oferta; para efectos del riego, esta relación se reinterpreta como la disponibilidad neta de agua superficial que potencialmente podría llegar a ser usada

con fines de irrigación para la producción agropecuaria. Caracteriza las áreas definidas en el componente físico.

### 3.3.2.3. Regulación del recurso hídrico superficial

Hace referencia a la representación espacial de la capacidad de la cuenca para mantener constante un régimen de caudales, producto de la interacción del sistema suelo-cobertura (condiciones geomorfológicas, geológicas, suelo, vegetación) con las condiciones climáticas, la intervención antrópica y con las características físicas y morfométricas de la misma.

Para efectos del riego, y dada la escala temporal utilizada en este criterio (anual), permite caracterizar las zonas donde las variaciones de la disponibilidad y demanda hídrica superficial son relativamente reguladas. Caracteriza los polígonos definidos con criterios edafológicos y topográficos, permitiendo comparar áreas con dichas características idénticas o similares.

### 3.3.3. Componente ecosistémico

Esta zonificación constituye una herramienta de carácter técnico e indicativo, que parte de evaluar la información geoespacial disponible

Fotografía: Juan Camilo Rodríguez.



en el país, las condiciones o los atributos del territorio, sin entrar a evaluar ninguna tipología de impactos ambientales de un proyecto específico, basándose en la definición de criterios y especificaciones técnicas de carácter ambiental y ecosistémico para la ZTI.

Se planteó como objetivo incorporar el principio de sostenibilidad ambiental en la ZTI, para que la planificación del subsector promueva el uso sostenible del suelo rural y la conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en todo el territorio.

El enfoque del componente propuesto parte de reconocer que los sistemas de irrigación y distritos de adecuación de tierras hacen parte de –y constituyen en sí mismos– sistemas socioecológicos que deben ser planificados bajo un enfoque de gestión integrada de tierras, biodiversidad y servicios ecosistémicos, en donde la gestión integral del agua debe tener la prelación.

El componente se estructuró en dos criterios temáticos que buscan reflejar el potencial que el territorio presenta desde el punto de vista ecosistémico para la implementación y el funcionamiento sostenible de proyectos de adecuación de tierras. Esta sostenibilidad depende tanto de las condiciones de los recursos agua y suelo como de las del paisaje, la cuenca hidrográfica y los requerimientos de manejo, que representa la presencia de elementos de la biodiversidad. Adicionalmente, se incorporan las determinantes ambientales de ordenamiento territorial como parte de los excluyentes y los condicionantes legales que la planificación del subsector debe tener en cuenta para lograr su armonización con la normatividad ambiental vigente en el país.

De acuerdo con lo anterior, los criterios analizados fueron el uso sostenible del suelo rural, la conservación de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos, y la calidad del recurso hídrico.

#### *3.3.3.1. Uso sostenible del suelo rural*

El potencial ambiental hace referencia a la capacidad que las condiciones del ecosistema tienen para que los proyectos de adecuación de tierras realicen un uso de los recursos y los servicios ecosistémicos que sea sostenible, tanto para los proyectos mismos como para la cuenca hidrográfica en la que estos se encontrarían. Esta sostenibilidad se relaciona, de manera inversa, con la mayor posibilidad de degradación que tengan los recursos agua y suelo, también en un contexto territorial. De esta forma, allí donde haya una mayor susceptibilidad a la degradación, habrá mayores requerimientos de manejo para minimizar esa degradación.

Como parte de los efectos ambientales de la adecuación de tierras, el MAVDT y el INAT (2003), y el Incoder (2008) identifican los posibles impactos ambientales que la creación de un distrito de adecuación de tierras puede tener en su área de influencia directa e indirecta. Estos pueden ser agrupados según se muestra en el cuadro 8.

Cuadro 8. Impactos ambientales de la adecuación de tierras

IMPACTOS AMBIENTALES POTENCIALES		CONSTRUCCIÓN	OPERACIÓN
Transformación de ecosistemas	Remoción y degradación de la cobertura vegetal	✓	
	Cambio en los sistemas naturales de drenaje	✓	
	Alteración de los mecanismos de regulación hídrica	✓	✓
	Sedimentación y eutrofización de cuerpos de agua superficial	✓	✓
	Afectación de ecosistemas, especialmente acuáticos	✓	✓
Sobreexplotación y degradación	Disminución de la disponibilidad del recurso hídrico		✓
	Erosión hídrica y eólica del suelo	✓	✓
	Alteración del nivel freático		✓
	Salinización del suelo		✓
	Compactación, pérdida de la estructura y el potencial productivo del suelo		✓
	Alejamiento de la fauna por ruido, contaminación lumínica y alteración de su hábitat en general	✓	✓
Contaminación	Contaminación físicoquímica y bacteriológica de las aguas	✓	✓
	Contaminación del suelo	✓	✓
	Contaminación del aire	✓	✓
	Contaminación por ruido	✓	
	Efectos sobre la salud humana (FAO, 1985).		✓

Fuente: elaborado con base en MAVDT-INAT (2003) e Incoder (2008).

Por su parte, la FAO (2003) identifica la pérdida de biodiversidad residente y migratoria como una externalidad negativa causada por la modificación de los regímenes hidrológicos, asociada a proyectos de adecuación de tierras que incluyen la creación de presas y embalses, lo cual afecta la dinámica hidrológica y ecológica de los ecosistemas y la productividad de los sistemas agrícolas tradicionales en las tierras inundables asociadas a los cauces intervenidos. Asimismo, serios daños ambientales y sanitarios son ocasionados cuando se reutilizan aguas residuales sin un adecuado tratamiento previo para su utilización en el riego, una práctica que es muy difundida en los países en desarrollo.

La generación de estos impactos ambientales depende en gran parte de la susceptibilidad o predisposición del medio a sufrir daños como consecuencia de la construcción y operación de los proyectos. Entre estos factores de susceptibilidad se pueden considerar la susceptibilidad del suelo a la erosión y la vulnerabilidad de los ecosistemas a la afectación por contaminación hídrica y modificación del régimen hidrológico.

No obstante, esos impactos también se derivan de las características de los proyectos, tales como la fuente de agua para el riego (superficial, subterráneo, reutilizada, trasvasada), la construcción de presas y embalses, el sistema de riego, la utilización de agroquímicos, etc. (FAO, 2014). Sin embargo, como se mencionó en la sección anterior, estos aspectos no son susceptibles de incorporarse en la zonificación, en tanto que no son atributos del territorio que se puedan evaluar.

Teniendo en cuenta estos elementos se estructuró el criterio n.º 1 sobre las variables que se muestran en el cuadro 9. No todas las variables pudieron ser aplicadas debido a la falta de información para ese propósito; aun así se listan, ya que hacen parte de la construcción conceptual del componente ecosistémico.

**Cuadro 9. Variables para el criterio de usos sostenibles del suelo rural**

CRITERIO	VARIABLE	ÁMBITO
Uso sostenible del suelo rural	Uso sostenible del agua superficial	Cuenca (SZH)
	Uso sostenible del agua subterránea*	Acuífero
	Calidad del recurso hídrico	Cuenca (SZH)
	Conservación del suelo*	Pixel

\* Variables no aplicadas debido a la ausencia de información.

### 3.3.3.1.1. Uso sostenible del agua superficial

Para el funcionamiento de los sistemas y distritos de riego se requieren grandes volúmenes de agua que se obtienen desde los sistemas superficiales de drenaje (ríos, lagunas y otros cuerpos de agua)<sup>2</sup>. Los sistemas de riego menos eficientes extraen mayores cantidades de agua por unidad de área por regar, ya que una menor proporción del agua extraída es efectivamente consumida por los cultivos y retornada a la atmósfera como evapotranspiración, y una mayor proporción retorna al sistema de drenaje superficial o subsuperficial. El agua extraída deja de estar disponible para otros usos y usuarios en la cuenca, y aquella porción que retorna lo hace con una calidad diferente.

Este criterio refleja el potencial que las condiciones de oferta y demanda de agua en la cuenca hidrográfica representan para que su uso por parte de los proyectos de adecuación de tierras sea sostenible, tanto en el marco del proyecto como en el marco territorial de la cuenca hidrográfica.

En una cuenca con una mayor presión de uso sobre la oferta de agua existente, el potencial para el uso sostenible del agua será menor. En cuencas donde la demanda actual de agua corresponde a una menor proporción de la oferta disponible, existen mejores condiciones para el uso sostenible de esta para la adecuación de tierras.

Para aplicar este criterio, se utilizó la información del índice de uso del agua (IUA) por subzona hidrográfica para condiciones hidrológicas de año seco estimado por el «Estudio nacional del agua 2014» (Ideam, 2015a). El IUA se define como la «cantidad de agua utilizada por los diferentes sectores usuarios, en un periodo determinado (anual, mensual) y unidad espacial de análisis (área, zona, subzona, etc.) en relación con la oferta hídrica superficial disponible para las mismas

2. También existen sistemas que se alimentan desde fuentes de agua subterránea, las cuales se pretende abordar desde el indicador denominado «uso sostenible del agua subterránea».

unidades de tiempo y espaciales» (Ideam, 2010a). La construcción del indicador responde a la ecuación 4 (Ideam, 2015a):

$$IUA = \left( \frac{D_h}{O_h} \right) \times 100 \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

$D_h$  = demanda hídrica

$O_h$  = oferta hídrica superficial disponible

La demanda hídrica se calcula según la ecuación 5:

$$D_h = C_h + C_{sp} + C_{sm} + C_{ss} + C_{ea} + C_e + C_a + A_{enc} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

$C_h$  = consumo humano o doméstico

$C_{sp}$  = consumo del sector agrícola

$C_{sm}$  = consumo del sector industrial

$C_{ssw}$  = consumo del sector servicios

$C_e$  = consumo del sector energía

$C_a$  = consumo del sector acuícola

$A_{enc}$  = agua extraída no consumida

Por su parte,  $O_h$  resulta de la cuantificación de la oferta hídrica natural sustrayendo la oferta correspondiente al caudal ambiental (ecuación 6):

$$O_h = O_{htotal} - O_{qamb} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

$O_{htotal}$  = volumen total de agua superficial en una unidad de análisis espacial y temporal determinada

$O_{qamb}$  = volumen de agua correspondiente al caudal ambiental en la misma unidad de análisis espacial y de tiempo de la oferta total

La preparación de este índice para ser aplicado como criterio en la ZTI consistió en su estandarización con los demás indicadores mediante la asignación de valores en un rango de 0 a 100 a las categorías cualitativas en que viene clasificado (ver el numeral 3.4). Los rangos y las categorías en que se califica originalmente el IUA se muestran en el cuadro 10.

Cuadro 10. Rangos y categorías del índice de uso del agua

RANGO	CATEGORÍA	SIGNIFICADO
≤ 1	Muy bajo	La presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta disponible
1,01-10	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible
10,01-20	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible
20,01-50	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
50,01-100	Muy alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
> 100	Crítico	La presión supera las condiciones de la oferta

Fuente: Ideam. (2015a).

### 3.3.3.1.2. Calidad del recurso hídrico

Esta variable refleja el potencial para adecuación de tierras a partir de la calidad del agua. Una cuenca de mejor calidad tendrá un mayor potencial para la irrigación, así como para que el recurso siga conservando una calidad adecuada para otros usos y usuarios en el territorio de la cuenca hidrográfica. Por otro lado, una cuenca con mayor presión por contaminación representará mayores requerimientos de manejo para el uso de agua para el riego, y al mismo tiempo sus recursos hídricos tendrán una mayor susceptibilidad de degradarse hasta un punto ambientalmente insostenible.

Para aplicar esta variable, se utilizó la información del índice de alteración potencial de la calidad del agua (lcal) por subzona hidrográfica para condiciones hidrológicas de año seco, estimado por el «Estudio nacional del agua 2014» (Ideam, 2015a). Este indicador representa la amenaza potencial de alteración de la calidad del agua por subzona hidrográfica; esta afectación se puede expresar como una amenaza en la medida en que la variabilidad en la oferta de agua incrementa o reduce la capacidad natural de autodepuración del sistema hídrico superficial que las recibe (Ideam, 2010a).

El lcal refleja la presión multisectorial por contaminación sobre los sistemas hídricos y cuerpos de agua (materia orgánica, sólidos suspendidos y nutrientes), a partir de la estimación de las cargas contaminantes puntuales vertidas por los sectores industrial, doméstico, sacrificio de ganado y beneficio del café. Su estimación involucra la demanda química de oxígeno (DQO), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos totales (SST), nitrógeno total (NT), fósforo total (PT) y oferta hídrica total (Ideam, 2015a).

La metodología para la integración de estas variables estimadas en el lcal se puede consultar en el «Estudio nacional del agua 2014» (Ideam, 2015a). El procedimiento para la aplicación de este índice en la zonificación consistió en su estandarización (ver el numeral 3.4) con los demás indicadores mediante la asignación de valores de 0 a 1 a las categorías originales, las cuales se muestran en el cuadro 11.

Cuadro I. Rangos y categorías del local

CATEGORÍA	RANGOS (CARGA EN T/AÑO)				
	DBO	DQO-DBO	SST	NT	PT
Muy bajo	0,13	< 0,13	< 0,3	< 0,02	< 0,004
Bajo	0,14-0,39	0,14-0,35	0,4-0,7	0,03-0,05	0,005-0,0013
Medio	0,4-1,20	0,36-1,16	0,8-1,8	0,06-0,13	0,014-0,035
Alto	1,20-4,85	1,17-6,77	1,9-7,6	0,14-0,55	0,036-0,134
Muy alto	> 4,86	> 6,78	> 7,7	> 0,56	> 0,135

DBO: demanda bioquímica de oxígeno; DQO: demanda química de oxígeno; SST: sólidos suspendidos totales; NT: nitrógeno total; PT: fósforo total.

Fuente: Ideam. (2015a).

### 3.3.3.2. Conservación de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos

Este segundo criterio busca garantizar que las acciones de preservación, restauración y uso sostenible de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos adelantadas en las áreas consideradas como estratégicas para ese propósito (ecosistemas estratégicos y otras áreas naturales) por los actores competentes<sup>3</sup> no sean comprometidas o, en su defecto, sean compensadas por la implementación de proyectos de adecuación de tierras. En este sentido, la conservación que se promueve se relaciona principalmente con evitar la transformación de los ecosistemas presentes en las áreas de influencia a las áreas de uso agropecuario.

Asimismo, se busca que en las áreas de uso agropecuario, en las que se puedan implementar sistemas o distritos de riego, se adelanten acciones de conservación en la medida en que los valores ambientales allí existentes lo requieran. Por lo tanto, además de identificar los ecosistemas estratégicos, este criterio identifica, a partir de la información espacial disponible, los valores ambientales presentes en todo el territorio y los incorpora como atributos de este en la zonificación de APAT. El cuadro 12 presenta la definición de los conceptos generales que fundamentan este criterio.

Es de aclarar que la ZTI evaluada desde este criterio presenta una relación inversa con la presencia de elementos de la biodiversidad, con el fin de maximizar la conservación de la misma y los servicios ecosistémicos que esta presta en todo el territorio. En ese sentido, una mayor biodiversidad representará mayores requerimientos de manejo para su conservación, tanto a nivel local (sistema o distrito de riego) como a nivel de cuenca hidrográfica.

3. Principalmente las entidades del Sistema Nacional Ambiental (SINA).

Cuadro 12. Conceptos claves en el criterio de conservación  
de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos

CONCEPTO	DEFINICIÓN
Biodiversidad	Por diversidad biológica se entiende la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos, entre otras cosas, los ecosistemas terrestres y marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas (ONU, 1992).
Servicios ecosistémicos	Son los beneficios que los seres humanos obtienen directa o indirectamente de los procesos y las funciones de los ecosistemas y que contribuyen a mejorar su bienestar (Holzapfel <i>et al.</i> , 2012).
Preservación	Mantener la composición, estructura y función de la biodiversidad, conforme su dinámica natural y evitando al máximo la intervención humana y sus efectos (Decreto 2372 de 2010).
Restauración	Restablecer parcial o totalmente la composición, estructura y función de la biodiversidad que hayan sido alterados o degradados (Decreto 2372 de 2010).
Uso sostenible	Utilizar los componentes de la biodiversidad de un modo y a un ritmo que no ocasione su disminución o degradación a largo plazo, alterando los atributos básicos de composición, estructura y función, con lo cual se mantienen las posibilidades de esta de satisfacer las necesidades y las aspiraciones de las generaciones actuales y futuras (ONU, 1992; Decreto 2372 de 2010).

Para informar sobre el grado de conservación de los ecosistemas en un territorio, la integridad ecológica ha sido planteada como uno de los conceptos más completos e incluyentes. Mackey (s. f.) hace referencia a la integridad ecológica como «el funcionamiento permanente saludable o apropiado de los ecosistemas en un territorio, así como a la provisión continua de recursos naturales renovables y servicios ambientales». Los ecosistemas con integridad ecológica muestran un equilibrio en la generación de servicios y el mantenimiento de las especies que dependen de él, a través del aseguramiento de las funciones ecológicas (Martín-López *et al.*, 2007).

De acuerdo con PNNC (2008), para que los ecosistemas de un territorio conserven su integridad ecológica es necesario gestionar sus tres atributos claves: composición, estructura y funcionamiento. En la misma línea, la PNGIBSE reconoce que solo es posible mantener la prestación de servicios ecosistémicos si se garantiza la estructura y el funcionamiento de la biodiversidad (MADS, s. f.). Por lo tanto, la integridad ecológica, al igual que la biodiversidad, se puede caracterizar en términos de composición, estructura y funcionamiento (Noss, 2000).

Siguiendo estas aproximaciones, la integridad ecológica puede servir como fundamento para orientar con base científica las acciones de conservación de la naturaleza y de planificación de los usos del suelo (Vélez y Gómez, 2008). Estos tres atributos fueron utilizados como base para estructurar los subcriterios e indicadores del criterio 2, los cuales se muestran en el cuadro 13 y se describen en las subsecciones siguientes. De esta forma, desde este criterio, el potencial para adecuación de tierras presenta una relación inversa con la presencia de elementos de la biodiversidad, con el fin de maximizar la conservación de la biodiversidad en todo el territorio.

Cuadro 13. Resumen de subcriterios e indicadores del criterio de conservación de la biodiversidad

SUBCRITERIO	VARIABLE	TIPO	ÁMBITO
Conservación de especies	Distribución de la riqueza de especies	Evaluador	Pixel
	Especies endémicas y amenazadas*	Evaluador	Pixel
	Áreas importantes para la conservación de las aves (AICA)	Evaluador	Pixel
Conservación de ecosistemas	Coberturas de la tierra para la protección	Excluyente técnico	Pixel
	Nacimientos de agua y zonas de recarga de acuíferos	Excluyente técnico	Pixel
	Cuerpos de agua y sus rondas	Excluyente técnico	Pixel
	Humedales	Excluyente técnico	Pixel
	Bosque seco tropical	Excluyente técnico	Pixel
	Manglares	Excluyente técnico	Pixel
	Prioridades de conservación Sinap	Evaluador	Pixel
Conservación de la funcionalidad del paisaje	Conectividad estructural de las coberturas naturales (CECN)	Evaluador	Paisaje
	Índice de prestación de servicios ecosistémicos (IPSE)	Evaluador	Cuenca (SZH)

\* El subcriterio de conservación de ecosistemas hace parte de un componente especial, donde espacialmente se descartan estas áreas para procesos de usos agropecuarios.

### 3.3.3.2.1. Conservación de especies

Los aspectos de composición se refieren principalmente a los elementos que componen la biodiversidad en los niveles jerárquicos de organización biológica. La planificación para la conservación de la biodiversidad desde una perspectiva ecorregional tiene fundamento en la identificación de elementos de la biodiversidad considerados importantes, según criterios tales como irremplazabilidad, distribución restringida y amenaza, los cuales son definidos en diferentes escalas de análisis y niveles de organización biológica (especies, poblaciones, comunidades, ecosistemas, etc.) (Groves *et al.*, 2000; Galindo *et al.*, 2007).

En la ZTI se incluyó este subcriterio, acorde con las necesidades de conservación de la biodiversidad a nivel de especies, para lo cual se incorporaron las siguientes variables:

#### 3.3.3.2.1.1. Distribución de las riquezas de especies

La riqueza de especies se refiere al número de especies que se pueden encontrar en un área determinada. Para la zonificación, esta variable expresa que las áreas con mayor riqueza de especies tendrán un menor potencial para la adecuación de tierras, o en sentido inverso, tendrán un mayor grado de requerimientos de manejo para la conservación de esa riqueza natural, con medidas como su protección frente a la caza de animales y control del aprovechamiento de la vegetación, reducción de la perturbación por contaminación sonora y lumínica, minimización de la contaminación del aire por quemas, uso de combustibles y volatilización de agroquímicos, y en general, evitando la degradación de los ecosistemas que constituyen sus hábitats, tanto terrestres como acuáticos.

La información sobre la distribución de la riqueza de especies en el país fue proporcionada por el Instituto Alexander von Humboldt (IAVH), y es el resultado de los avances en el desarrollo del proyecto de modelación de la distribución de especies en Colombia que partió en el marco de los proyectos «Componente biótico del mapa de ecosistemas de Colombia» e «Insumos para la delimitación de ecosistemas estratégicos: páramos y humedales» impulsados por el MADS y el Fondo Adaptación del Ministerio de Hacienda y Crédito Público (IAVH, 2015a).

Los registros utilizados para el desarrollo de los modelos provienen principalmente de bases de datos biológicos de acceso libre, como el Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia (SIB) y la Infraestructura Mundial de Información en Biodiversidad (GBIF, por su sigla en inglés), los cuales son validados taxonómica y geográficamente. El modelamiento se realiza a partir de 19 variables bioclimáticas y mediante la aplicación del modelo Maxent, un método basado en el principio de máxima entropía (IAVH, 2015a)<sup>4</sup>. La preparación de esta información para su aplicación en la zonificación consistió en la estandarización de los valores de número de especies probables en una escala de 0 a 1 para su integración posterior con los demás indicadores.

#### 3.3.3.2.1.2. Áreas importantes para la conservación de las aves (AICA)

Colombia es el país del mundo con mayor riqueza de aves, contando 1903 especies. De estas, 122 especies (6 %) se encuentran amenazadas de extinción según la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) (Proaves, 2014). En Colombia se han identificado 116 AICA, que cubren 7699,302 ha y corresponden al 7,1 % del país (Franco *et al.*, 2009).

Las AICA son sitios de importancia crítica en el ámbito mundial para las aves y la biodiversidad. Son identificadas por la presencia de especies indicadoras según los siguientes criterios (BirdLife International y Conservation International, 2005):

- a. Especies globalmente amenazadas: los sitios que mantienen regularmente números significativos de especies amenazadas a nivel mundial califican automáticamente como AICA.
- b. Especies de distribución restringida: las AICA se seleccionan de forma que incluyan especies y hábitats característicos de las áreas de endemismo de aves.
- c. Conjunto de especies restringidas a biomas: los sitios que presentan un componente significativo de especies de aves características de un bioma o región zoogeográfica califican como AICA.

4. Es necesario mencionar que en Colombia persisten enormes vacíos de información sobre la distribución de la biodiversidad. Más del 50 % de los registros se concentra en cinco departamentos. A excepción de algunas zonas de la región andina, el país carece de series de datos robustas y accesibles sobre biodiversidad. Incluso las áreas de mayor representatividad alcanzan solo la mitad estimada de registros posibles. Los grupos taxonómicos mejor representados son los animales vertebrados y entre las plantas, el grupo de las palmas (Londoño-Murcia *et al.*, 2014).

- d. Congregaciones de especies: los sitios que mantienen grandes concentraciones de aves acuáticas, costeras o marinas, así como otras aves migratorias o gregarias (rapaces, loros, guácharos y ciertos passeriformes), aplican como AICA.

Aunque las AICA corresponden normalmente a ecosistemas con un alto grado de conservación, también es posible encontrar la presencia de áreas bajo producción agropecuaria dentro de ellas. De acuerdo con esta zonificación, esas áreas tendrán un potencial para la adecuación de tierras inverso a la mayor importancia de los cuatro criterios de identificación enunciados anteriormente.

Las AICA se integraron en la zonificación a partir de la información espacial del Instituto Alexander von Humboldt (IAVH, 2015b) y los datos sobre valoración de los criterios para identificación de AICA de BirdLife International (Franco *et al.*, 2009). Estos últimos fueron utilizados para estandarizar este indicador en el rango de 0 a 1, para su posterior integración con los demás indicadores.

#### 3.3.3.2. Conservación de ecosistemas

Para integrar la conservación a nivel de ecosistemas se incluyó, en primer lugar, la información disponible sobre ecosistemas estratégicos. Márquez Calle (2003) define estos ecosistemas como «partes diferenciables del territorio donde se concentran funciones naturales

Fotografía: Juan Camilo Rodríguez.



de las cuales dependen, de manera especial y significativa, bienes y servicios ecológicos vitales para el mantenimiento de la sociedad y la naturaleza».

Los ecosistemas estratégicos o áreas de especial importancia ecológica están relacionados en el Decreto 3600 de 2007. Incluyen páramos, subpáramos, nacimientos de agua, zonas de recarga de acuíferos, rondas hidráulicas de cuerpos de agua, humedales, pantanos, lagos, lagunas, ciénagas, manglares y reservas de flora y fauna. Aunque son reconocidos como «áreas de conservación y protección ambiental» dentro de los determinantes de ordenamiento territorial del suelo rural, no hay una reglamentación específica que excluya de ellos la posibilidad de implementar proyectos de adecuación de tierras. Sin embargo, debido a la importancia de su conservación se ha decidido incluirlos en la zonificación como excluyentes técnicos, lo cual se ha logrado a partir de la información disponible en las entidades del Sistema Nacional Ambiental (SINA).

Mención especial merecen los ecosistemas de humedal. Históricamente, estos ecosistemas han sido transformados total o parcialmente por procesos de reclamación de tierras para suelos agrícolas, modificación de regímenes hidrológicos en las cuencas hidrográficas aportantes, construcción de obras civiles para control de inundaciones, canalizaciones, represamientos, etc., los cuales han sido impulsados por las políticas sectoriales nacionales. En algunos casos, incluso, estos ecosistemas han sido integrados directamente a proyectos de adecuación de tierras (MMA e IAVH, 1999).

Para efectos de la zonificación, la exclusión técnica de los humedales representa la imposibilidad de transformar directamente el área ocupada por su cuerpo de agua y su ronda hídrica, integrándolos a proyectos de adecuación de tierras. Sin embargo, la conservación de estos ecosistemas va más allá de esa transformación directa, debido a que el aprovechamiento de sus aguas desde áreas aledañas también puede ocasionar impactos importantes al ecosistema, y a que su existencia e integridad ecológica está determinada por la geomorfología y la dinámica hidrológica en la cuenca hidrográfica aportante.

En este sentido, no se excluye el aprovechamiento sostenible de los bienes y servicios ecosistémicos que los humedales pueden proveer a los proyectos de adecuación de tierras, tales como regulación hidrológica, depuración de agua e incluso provisión de agua y otros recursos complementarios como pesca. Sin embargo, este aprovechamiento debería estar sujeto a lo establecido en los respectivos planes de manejo ambiental, a procesos de evaluación de impacto ambiental y a expedición de licencia ambiental por la autoridad ambiental competente (MMA e IAVH, 1999; MMA, 2002).

En relación específica al bosque seco tropical, aunque la legislación vigente no lo relaciona dentro de los ecosistemas estratégicos, este fue considerado como tal por la UPRA (2014c). En efecto, estos ecosistemas proveen importantes servicios ecosistémicos como la estabilización de los suelos, la regulación hídrica y climática, y la provisión de alimentos y madera, y son claves para la prevención de la desertificación (Pizano y García, 2014).

Adicionalmente, el bosque seco tropical es uno de los ecosistemas más amenazados en el mundo y el más amenazado en la región de los trópicos. En nuestro país, este ha perdido más del 90 % de su superficie original, su remanente tiene una muy baja representación en el Sinap (menor al 5 %) y se encuentra en un estado crítico de fragmentación y deterioro. Como consecuencia, su biodiversidad, la cual contiene altos grados de endemismos, corre peligro inminente de desaparecer (Pizano y García, 2014).

Aunque la utilización de los ecosistemas mencionados, a excepción de los páramos, no está excluida por las normales legales, para la zonificación se definió que estos constituyen excluyentes desde un punto de vista técnico, ya que su importancia y la necesidad de su conservación se consideran incompatibles con la implementación de proyectos intensivos en el uso de recursos como lo son los sistemas y distritos de riego de mediana y gran escala<sup>5</sup>. Por lo tanto, estas áreas no fueron integradas mediante evaluación multicriterio, sino identificadas para su exclusión del ZTI.

Por otro lado, ya que la zonificación solo tiene en cuenta las áreas con vocación de uso agropecuario y no promueve la expansión de la frontera agropecuaria, se incluyeron como excluyentes técnicos las coberturas naturales y seminaturales del mapa de coberturas de la tierra (Ideam, 2010b)<sup>6</sup>.

Por último, se incluyeron los resultados del trabajo de identificación de prioridades de conservación del Sinap (2009)<sup>7</sup>. Este trabajo identificó ecosistemas prioritarios para la conservación de acuerdo con el criterio fundamental de la representatividad, que se refiere a la proporción de área protegida correspondiente a un tipo de ecosistema en relación a una meta de conservación (suficiencia) (Corzo, 2008).

Criterios complementarios fueron los de oportunidades y urgencias para la conservación. Las oportunidades son aquellas áreas que por estar cobijadas por alguna figura legal de protección del nivel nacional o regional constituyen escenarios favorables para la conservación, mientras que las urgencias fueron identificadas de acuerdo a la amenaza de perder los atributos de la biodiversidad como consecuencia de la confluencia de proyectos potenciales de desarrollo (Corzo, 2008).

Aunque, al igual que las AICA, las prioridades nacionales para la conservación corresponden normalmente a ecosistemas con un cierto grado de conservación, también es posible encontrar la presencia de áreas bajo producción agropecuaria dentro de ellas.

La preparación de esta información para su integración en la zonificación consistió en su estandarización mediante la asignación de valores de 0 a 1 a las categorías cualitativas de prioridad, de forma que

5. Para el caso de los cuerpos de agua y los humedales, la exclusión refleja la imposibilidad de transformar los ecosistemas directamente, mas no la utilización de sus aguas en su área de influencia.

6. Se utilizó la reclasificación de las capas realizada por la UPRA.

7. PNNC. (2012). *Prioridades de conservación nacional*.

aquellas con mayor prioridad representan un menor potencial para la implementación de la irrigación en Colombia.

Entre los factores más relevantes de este subcriterio se tuvieron en cuenta las prioridades de conservación Sinap, las cuales han establecido un portafolio de prioridades de conservación que ha permitido identificar sitios estratégicos para lograr avanzar en un sistema nacional de áreas protegidas, donde se logren representar cada vez mejor los ecosistemas que caracterizan el país y que conforman el patrimonio natural nacional. Dicho portafolio de país ha sido construido con información en la escala nacional 1:500.000 y se trabaja en el momento en ejercicios similares para escalas regionales y departamentales que complementen el ejercicio realizado para el ámbito nacional.

De acuerdo con el Sinap, se tiene la siguiente clasificación de prioridades de conservación: a) omisiones, urgentes, naturales y oportunas; b) omisiones, urgentes y naturales; c) omisiones, urgentes y seminaturales; d) omisiones; e) alta insuficiencia y urgente; f) alta insuficiencia; g) baja insuficiencia y urgente; h) baja insuficiencia.

#### 3.3.3.2.3. Conservación de la funcionalidad del paisaje

La estructura de la biodiversidad desde una perspectiva de territorio se refiere a la configuración espacial de los elementos que la componen. Por su parte, el funcionamiento se refiere a la ocurrencia de los procesos biogeoquímicos y ecológicos, tanto bióticos como abióticos, y en el interior de los ecosistemas, así como entre ellos. Entre estos procesos

Fotografía: Juan Camilo Rodríguez.



están la sucesión natural, la erosión, los flujos hidrológicos, la dispersión de especies y la reproducción, entre muchos otros (Mackey, s. f.; Vélez y Gómez, 2008; Hasan Reza y Abdullah, 2011).

Una forma de abordar el análisis de la estructura es desde la escala de paisaje, evaluando principalmente la conectividad (Vélez y Gómez, 2008). La conectividad de paisaje se refiere a la relación de continuidad que existe entre fragmentos de hábitat en un paisaje y que permite en mayor o menor medida los flujos bióticos y abióticos a través de este. Esta conectividad es importante para muchos procesos y funciones ecológicas vitales para el mantenimiento de poblaciones y comunidades, y determinantes para la prestación de algunos servicios ecosistémicos (Gurrutxaga y Lozano, 2008).

La fragmentación es un proceso mediante el cual se genera una división de los hábitats originales en fragmentos (Gurrutxaga y Lozano, 2008), que por lo tanto reduce la conectividad del paisaje y modifica su funcionamiento ecológico, ya que altera la integridad de ciertos procesos como la dispersión y el intercambio genético, produciendo incluso extinciones locales, y afecta el funcionamiento y la prestación de servicios ecosistémicos tales como la regulación hídrica (Mitchell *et al.*, 2013).

Un requisito para la integridad ecológica es entonces la existencia de un paisaje funcional (Vélez y Gómez, 2008) que permita la conservación de la biodiversidad y la prestación de servicios, principalmente a partir de una distribución y configuración espacial de sus elementos, que posibilite niveles adecuados de conectividad ecológica. Para incorporar este criterio de planificación para la conservación en la ZTI se han integrado dos indicadores: la conectividad estructural de las coberturas naturales (CECN) y el índice de prestación de servicios ecosistémicos (IPSE).

#### 3.3.3.2.3.1. Conectividad estructural de las coberturas naturales (CECN)

Las áreas con una mayor conectividad entre sus coberturas naturales tendrán un menor potencial para la adecuación de tierras por cuanto en estas áreas el mantenimiento de los flujos que soporta esa conectividad ecológica será de mayor importancia, y por tanto se tendrán mayores requerimientos de manejo para su conservación. Se considera que la construcción de distritos de riego puede disminuir la conectividad en paisajes agrícolas con espacios naturales, principalmente mediante la remoción de vegetación circundante y aquella entremezclada en la matriz de usos agropecuarios.

Para reflejar la integridad del paisaje a partir de su conectividad ecológica se aplicó un análisis de la CECN, el cual refleja la condición de conectividad del paisaje a partir de la distancia existente entre sus coberturas naturales y seminaturales, permitiendo así obtener una aproximación rápida sobre la continuidad de los hábitats requerida para el mantenimiento de la biodiversidad y las funciones ecosistémicas (UPRA, 2014c).

Para este análisis se tomaron todos los tipos de coberturas naturales y seminaturales del mapa de coberturas de la tierra de Colombia

(Ideam, 2010b), aplicándoles un análisis de fragmentación por métricas del paisaje. Sobre los núcleos de los fragmentos identificados se llevó a cabo el análisis de conectividad a través de la medición de la distancia euclidiana entre estos (UPRA, 2014c), de forma que las mayores distancias reflejan una menor conectividad en la matriz de usos agropecuarios. El resultado final es una matriz con valores entre 0 y 1, donde 1 representa la mayor conectividad entre las coberturas naturales. Para su posterior integración con los demás indicadores, esta matriz fue invertida para reflejar que aquellas áreas con menor conectividad tienen un mayor potencial para la adecuación de tierras.

#### 3.3.3.2.3.2. Prestación de servicios ecosistémicos

Los servicios de los ecosistemas a las poblaciones humanas se pueden considerar como un reflejo del funcionamiento de los ecosistemas, ya que son resultantes de los procesos ecológicos que soportan su prestación. Son provistos tanto por ecosistemas naturales y seminaturales como por ecosistemas altamente transformados (agroecosistemas), los cuales prestan principalmente servicios ecosistémicos de provisión tales como alimento, materias primas, recursos genéticos y bioquímicos.

No obstante, en este proceso no se han considerado estos últimos debido a la posibilidad de promover usos conflictivos del suelo, considerando además que la mayor magnitud y número de servicios ecosistémicos es prestado por ecosistemas con un nivel de conservación relativamente alto. Adicionalmente, se entiende que al proteger los ecosistemas estratégicos, bosques y otras áreas naturales y seminaturales se protege el mayor potencial de prestación de servicios ecosistémicos, tales como pesca, regulación climática, regulación hidrológica, control de inundaciones, depuración del agua, control biológico y polinización.

Con base en estas consideraciones, la variable índice de prestación de servicios ecosistémicos (IPSE) evalúa la funcionalidad del paisaje (cuena hidrográfica) para la prestación de servicios ecosistémicos a partir de la presencia de ecosistemas naturales y seminaturales, áreas con vocación de protección y áreas protegidas excluyentes en cada subzona hidrográfica. Para su construcción se utilizaron las capas de información que representan estos elementos, ya incluidas en otros indicadores<sup>8</sup>, y la capa de subzonas hidrográficas de Colombia (Ideam, 2013).

El diseño de esta variable evalúa la existencia de un equilibrio para contar con la prestación de servicios ecosistémicos para la adecuación de tierras (regulación hidrológica, control biológico, polinización), sin promover la degradación de los ecosistemas que los prestan. Por ende, aquellas subzonas hidrográficas con una proporción media (50 %) de ecosistemas y áreas protegidas excluyentes se consideraron como aquellas con un mayor potencial para que la adecuación de tierras haga un uso sostenible de los servicios ecosistémicos que ellos prestan. Por el contrario, las subzonas con una proporción de 0 % y 100 % recibieron el menor valor, reflejando menores servicios ecosistémicos disponibles

8. Coberturas de la tierra para protección, páramos y excluyentes legales (Sistema de Parques Nacionales Naturales, parques naturales regionales y reservas forestales protectoras nacionales y regionales).

o una menor aptitud por una mayor presencia de ecosistemas naturales y seminaturales.

### 3.3.4. Componente socioeconómico

Para ilustrar de manera agregada las características socioeconómicas en el ámbito municipal, que reflejen sus actuales condiciones territoriales (variables en el tiempo) y las capacidades político-administrativas del municipio, se diseñó el criterio único indicador de condiciones socioeconómicas municipales (ICSM).

La relación de cada variable que interviene en la elaboración del ICSM puede tener una relación directa o inversa frente al indicador. Por relación directa se entiende que la variable podría contribuir de manera positiva en la eventual decisión para proyectos de adecuación de tierras, ya sean gubernamentales o privadas, en un momento dado en un lugar definido; en este caso, la unidad de análisis es el municipio. Algebraicamente se refleja en un incremento en el valor numérico del ICSM.

Es de precisar que este indicador no pretende categorizar o priorizar de bueno a malo un municipio según su ICSM con relación a proyectos de irrigación desde la mirada social y económica del territorio; por el contrario, da la oportunidad de que un planificador pueda determinar según sus intereses la manera de priorizar los proyectos, como por ejemplo, si un inversor gubernamental quiere enfocarse en disminuir las brechas sociales y económicas de un territorio con proyectos de irrigación, priorizaría los valores bajos a medios del índice, ya que como se mencionó al principio del documento, la adecuación de tierras en Colombia es un servicio público.

De igual manera, cabe resaltar que este tipo de análisis con variables sociales y económicas no han sido tenidas en cuenta en las clasificaciones para riego consultadas, por lo cual, variables biofísicas y ambientales dan implícitamente un costo indirecto de los proyectos. Por ejemplo, zonas con pendientes relativamente inclinadas tienen potencial para sistemas de riego por presión, que generalmente tienen un alto grado de eficiencia, pero a su vez un alto costo de implementación; por esta razón y debido a su complejidad, se trató de dar a la ZTI un indicativo general con enfoque de territorio.

Para obtener el ICSM, el procedimiento empleado fue el método multiplicativo, cada variable se pondera y normaliza de manera individual, y posteriormente se realiza la sumatoria, conforme a la relación de cada variable con la aptitud para la zonificación de APAT. A continuación, se indica el procedimiento matemático por emplear en cada una de las variables conforme a su influencia, el proceso de concatenación y ponderación para generar el ICSM.

En el cuadro 14 se presentan los criterios socioeconómicos seleccionados para la generación del ICSM y se indica la relación de cada variable con la potencialidad para el desarrollo de eventuales proyectos de adecuación de tierras.

Cuadro 14. Criterios seleccionados en la ZTI para generar el ICSM en el componente socioeconómico

CRITERIO	VARIABLE	ATRIBUTO	RELACIÓN
Económico	Importancia de la actividad agropecuaria	PIB agropecuario municipal/PIB total del municipio	Directa
	ICR otorgado para adecuación de tierras	Monto del ICR otorgado en el municipio en los últimos dos años	Directa
Infraestructura	Isócronas viales a los centros poblados	Tiempo promedio de desplazamiento desde las zonas rurales hasta el casco urbano del municipio	Directa
	Isócronas de puertos fluviales	Tiempo promedio de desplazamiento desde las zonas rurales del municipio hasta el puerto fluvial más cercano	Directa
	Isócronas de puertos marítimos	Tiempo promedio de desplazamiento desde las zonas rurales del municipio hasta el puerto marítimo más cercano	Directa
	Cobertura rural de energía eléctrica	Índice de cobertura de energía eléctrica (ICEE) rural	Inversa
	Cobertura rural de acueducto	Porcentaje de cobertura del acueducto rural en el municipio	Inversa
Mano de obra	Índice de ruralidad	Índice de ruralidad municipal, con base el IDH 2011 del PNUD.	Directa
Tamaño de los predios rurales y formalidad de la propiedad	Área de predios de grandes extensiones	Porcentaje de área municipal de predios grandes, > 200 ha	Directa
	Área de predios de microfundio	Porcentaje de área municipal de predios de microfundio, < 3 ha	Inversa
	Informalidad de la propiedad rural	Porcentaje de informalidad de la propiedad rural en el municipio	Directa
Institucionalidad	Índice de desempeño integral municipal	Índice de desempeño integral municipal	Directa
	Participación de la inversión en el sector agropecuario	Inversión municipal del sector agropecuario en los años 2015 y 2016, en relación a la inversión total del municipio	Directa
Asociativas	Asociaciones y entidades solidarias, 2014	Número de asociaciones y entidades en el municipio	Directa
Seguridad	Accidentes e incidentes con minas antipersonas	Promedio municipal de accidentes e incidentes con minas antipersonas entre 2010 y 2014	Inversa
	Acciones armadas	Promedio municipal de incursiones armadas entre 2010 y 2014	Inversa
	Tasa de desplazamiento forzado de la población	Promedio municipal de desplazamiento forzado de la población entre 2010 y 2014	Inversa
	Tasa de homicidios	Promedio municipal de homicidios por cada mil habitantes entre 2010 y 2014	Inversa

Para estas variables no se puede determinar de manera concluyente si existe un efecto de causalidad para poder desarrollar proyectos de adecuación de tierras, solo se trata de revelar de manera agregada las condiciones existentes en el territorio, económicas, sociales y de administración política a nivel local. Además, como son variables que no son estáticas, en la medida que se genere nueva información o se actualice la misma se podrían obtener nuevos resultados, que no necesariamente guardarían la misma tendencia.

Para una mejor comprensión y análisis, se presenta cada uno de estos subcriterios y variables de manera detallada en las fichas técnicas del componente socioeconómico.

Por otro lado, al no disponer de la información en su totalidad o no estar actualizada, no se pudieron incluir para el cálculo del ICSM otros subcriterios y variables analizados, como los servicios complementarios de política agraria: asistencia técnica, comercialización, adopción de tecnología, educación, población económicamente activa, asociativas de tipo agropecuario, etc.

Es recomendable que este tipo de indicadores se actualicen con determinada periodicidad y se ajusten, en la medida de lo posible, con la inclusión de nuevas variables conforme a la pertinencia y disponibilidad de información. Por lo tanto, no se puede tener como un referente estático, razón por la cual es una primera versión que es objeto de mejoras, según la información disponible.

#### 3.3.4.1. Criterio económico

Se definió con base en dos variables: la importancia de la actividad agropecuaria y el índice de capitalización rural en adecuación de tierras en los años 2013-2014.

##### 3.3.4.1.1. Importancia de la actividad agropecuaria

Es el reflejo de la dinámica del sector agropecuario, expresado como la participación porcentual (1. Cultivo de café. 2. Cultivo de otros productos agrícolas. 3. Producción pecuaria y caza, incluidas las actividades veterinarias. 4. Silvicultura, extracción de madera y actividades conexas. 5. Pesca, producción de peces en criaderos y granjas piscícolas; actividades de servicios relacionadas con la pesca) con relación al valor agregado de todas las actividades económicas en cada municipio. Los datos empleados fueron los preliminares del año 2013 a precios corrientes.

En los municipios debe determinarse el peso del sector agropecuario, como actividad dependiente para la generación de ingresos en sus habitantes; de esta forma, en la percepción política del imaginario colectivo se determina el peso como intención y decisión de intervención pública.

Para la inversión en adecuación de tierras, es una variable exógena que define el entorno macroeconómico del sector agropecuario y un proxi de competitividad. En relación al desarrollo de proyectos

de adecuación de tierras, tiene una relación directa en la toma de decisiones de potencial inversión.

Su determinación se realizó con base en el PIB agropecuario municipal y el PIB total del municipio de acuerdo con el procedimiento descrito en la ficha metodológica.

#### 3.3.4.1.2. ICR municipal en adecuación de tierras 2013-2014

Ilustra el incentivo a la capitalización rural (ICR) otorgado en los años 2013 y 2014, como fomento para la inversión en adecuación de tierras, en cada uno de los municipios del país donde los productores realizaron una demanda efectiva del instrumento crediticio. Se presume que el crédito es un instrumento de política que tiene como propósito, entre otros, generar competitividad.

En los municipios hay que establecer si los productores agropecuarios consideran relevantes las inversiones en adecuación de tierras, como una demanda real por iniciativa privada para el potencial desarrollo de proyectos de adecuación de tierras.

Si los productores incurren en inversiones de adecuación de tierras mediante el crédito y con el pago de intereses al capital, con mayor probabilidad incursionarán en la incorporación del riego a su proceso

Fotografía: Juan Camilo Rodríguez.



productivo, con otros instrumentos de política agraria con mejores bondades financieras. En consecuencia, esta variable tiene una relación directa en la potencial inversión en proyectos de adecuación de tierras.

Su determinación se realizó con base en el monto de los ICR otorgados en el municipio en los últimos cinco años, de acuerdo con el procedimiento descrito en la ficha metodológica.

#### 3.3.4.2. Criterio de infraestructura

Como se ve en el cuadro 14, este criterio está conformado por cinco variables, las cuales se describen a continuación.

##### 3.3.4.2.1. Isócronas viales a centros poblados

Indica, mediante un análisis de aspectos como la disponibilidad, la cercanía de infraestructura vial y medios de transporte terrestre, el tiempo promedio de desplazamiento desde las zonas rurales de la jurisdicción político-administrativa al casco urbano del municipio.

Un aspecto relevante para analizar la competitividad agropecuaria es la disponibilidad de infraestructura vial, que permite reducir los tiempos de desplazamiento, y por consiguiente, los costos de producción y la oportunidad de acceder a los mercados, mejorando su eficiencia e incrementando el portafolio de negocios, la posibilidad de articulación y fomentando el crecimiento sostenido de las cadenas productivas.

Para el caso de los proyectos de adecuación de tierras, menores distancias de desplazamiento y mejor calidad de infraestructura vial no solo hace más atractivas las regiones para los inversionistas del sector, sino que también reduce los costos para el desarrollo de proyectos de adecuación de tierras.

En consecuencia, esta variable tiene una relación inversa con la potencial inversión en proyectos de adecuación de tierras: a menor tiempo de desplazamiento mayor posibilidad de desarrollo.

##### 3.3.4.2.2. Isócronas de puertos marítimos

Se definen a partir de la duración promedio en horas desde un punto de la zona rural a los puertos marítimos. Indica la disponibilidad y cercanía a la infraestructura portuaria marítima.

Un aspecto relevante para analizar la competitividad agropecuaria es la disponibilidad de infraestructura portuaria marítima, que permite potenciar el comercio internacional, con la posibilidad de reducir el costo de los insumos importados y ampliar las posibilidades de exportar los productos nacionales agropecuarios y agroindustriales a nuevos mercados.

Las oportunidades de comercio exterior requieren del desarrollo de proyectos de adecuación de tierras para reducir el riesgo climático y romper la estacionalidad de cosechas, para así poder contar con un suministro continuo y oportuno del portafolio de productos para los clientes.

Esta variable tiene una relación inversa con la potencial inversión en proyectos de adecuación de tierras: a menor tiempo de desplazamiento a los puertos marítimos, mayor probabilidad en su implementación.

#### 3.3.4.2.3. Isócronas de puertos fluviales

Se determinan a partir de la duración promedio en horas desde la zona rural a los puertos fluviales. Indica la disponibilidad y cercanía a medios de transporte que viabilizan la comercialización.

Un aspecto relevante para analizar la competitividad agropecuaria es la disponibilidad de infraestructura portuaria fluvial, que permite potenciar el comercio interno e internacional, con la posibilidad de reducir los costos de transporte en general, debido al gradiente topográfico del país y el bajo desarrollo vial, que se reflejan en unos altos costos de transporte terrestre y menor competitividad del país.

Esta variable tiene una relación inversa con la potencial inversión en proyectos de adecuación de tierras: a menores tiempos de desplazamiento a los puertos fluviales y, por consiguiente, menores costos de transporte, mayor probabilidad en su implementación.

#### 3.3.4.2.4. Cobertura del acueducto rural, recálculo 2012

Muestra la cobertura del acueducto en zonas rurales de cada municipio, con un recálculo al año 2012, con base en el censo poblacional del año 2005.

El recurso hídrico tiene múltiples usos, entre otros, el consumo humano y el agrícola con el riego; sin embargo, el primero es prioritario sobre cualquier otro uso, tanto que la única excepción legal para no disponer de una concesión de aguas es cuando se trata de un acueducto rural.

En este sentido, el recurso hídrico es un bien de uso limitado y rival para consumo humano o de riego, y si no están cubiertas las necesidades del primero, el desarrollo de proyectos de adecuación de tierras pasa a ser secundario.

#### 3.3.4.2.5. Índice de cobertura de energía eléctrica (ICEE) rural 2014

Muestra el porcentaje de cobertura de energía eléctrica a nivel rural en el municipio. Revela la cobertura del servicio de energía eléctrica en zonas rurales de cada municipio para el año 2014; de esta manera, se puede inferir si existe o no la disponibilidad de energía eléctrica para el desarrollo de proyectos de adecuación de tierras, potenciados por bombeo.

En algunas zonas del país, para la operación de los distritos de adecuación de tierras se requiere para su funcionamiento el empleo de equipos de bombeo, y por ello es pertinente contar con la información de la potencial disponibilidad de energía eléctrica, con el objetivo de poder emprender el desarrollo de proyectos de adecuación de tierras en estas regiones del país.

### 3.3.4.3. Criterio mano de obra

La manera de representar este subcriterio es con el índice de ruralidad. Para su estimación se tiene en cuenta la densidad poblacional, la distancia a ciudades intermedias y principales, para determinar la ruralidad de municipio, condición que puede indicar la prioridad o necesidad para desarrollar proyectos de adecuación de tierras. Se basa en las categorías definidas en el IDH 2011 del PNUD.

En los municipios más rurales, la actividad agropecuaria debe ser una gran generadora de empleo e ingresos para sus habitantes; así las cosas, se presume que en estos municipios el impacto socioeconómico de la implementación de proyectos de adecuación de tierras sea alto.

### 3.3.4.4. Criterio tamaño de los predios rurales y formalidad de la propiedad

El criterio relaciona la adecuación de tierras con los predios rurales, ya que para la irrigación tiene relación directa con el riego predial la eficiencia en los sistemas de riego, y socialmente, desde la potencialidad que puede tener un territorio para asociarse.

Se realizó con base en tres variables: el porcentaje de área de predios grandes, de predios pequeños y un indicativo de la informalidad.

#### 3.3.4.4.1. Área de predios de mayor tamaño, porcentaje de área de predios grandes

Los predios grandes para la ZTI son aquellos con una extensión mayor a 200 ha. En cada municipio se determinó el porcentaje de área de estos predios, condición de análisis cuando se pretende determinar la factibilidad de proyectos de adecuación de tierras por superficie.

El tamaño de la propiedad debe ser analizado en relación con el método de riego, para determinar su factibilidad de implementación, en especial en el riego por superficie. Por otro lado, la formalidad de la propiedad rural, a veces, es un requisito para el acceso a los incentivos para el desarrollo de proyectos de adecuación de tierras.

Esta variable tiene una relación directa con el potencial de implementación en proyectos de adecuación de tierras.

#### 3.3.4.4.2. Área de predios de menor tamaño, porcentaje de área de predios microfundio

Los predios de microfundio son aquellos con una extensión menor a 3 ha. En cada municipio se determinó el porcentaje de área de estos predios, condición de análisis cuando se pretende determinar la factibilidad de proyectos de adecuación de tierras por múltiples métodos, a excepción de los superficiales.

El tamaño de la propiedad debe ser analizado en relación con el método de riego, para determinar su factibilidad de implementación. También, la formalidad de la propiedad rural a veces es un requisito para el acceso a los incentivos para el desarrollo de proyectos de adecuación de tierras, y la mayor informalidad de la propiedad rural por lo general se presenta en los predios de minifundio y microfundio.

Por otra parte, para la construcción de proyectos de adecuación de tierras en las obras extraprediales (captación conducción y distribución), se requiere la constitución de servidumbres de paso y uso: a menor tamaño de los predios, mayor el número de actores para obtener estos permisos.

Esta variable tiene una relación inversa con el potencial de implementación en proyectos de adecuación de tierras.

#### 3.3.4.4.3. Porcentaje de informalidad de la propiedad rural

Para el desarrollo de proyectos de adecuación de tierras se debe demostrar el derecho real de dominio, para que los agricultores puedan acceder al instrumento de política o para otorgar las servidumbres durante la construcción y uso.

La formalidad de la propiedad, en muchos casos, es una condición dada en la fase de factibilidad para el potencial desarrollo de adecuación de tierras, lo cual puede limitar el desarrollo de este tipo de inversión tanto en el sector público como en el privado, por falta de legalidad y garantías.

Esta variable tiene una relación directa con el potencial de implementación en proyectos de adecuación de tierras.

#### 3.3.4.5. Criterio institucionalidad

Conformado por dos variables: el índice de desempeño integral municipal y la participación de la inversión en el sector agropecuario.

##### 3.3.4.5.1. Índice de desempeño integral municipal

Indica la capacidad de gestión del municipio como ente territorial, en términos políticos y administrativos. Se mide conforme a los principios estatales de eficacia y eficiencia.

Se analiza la gestión pública integral a nivel municipal desde su eficacia (ejecución), su eficiencia (impacto), el cumplimiento de requisitos legales, la gestión y capacidad administrativa, y el desempeño fiscal. Este índice condensa la capacidad de gestión pública del municipio y su disciplina administrativa y fiscal como potencial para el apalancamiento desde lo local para demandar la política de adecuación de tierras.

##### 3.3.4.5.2. Porcentaje de inversión en el sector agropecuario 2013-2014

La inversión pública de índole agropecuaria a nivel municipal indica su relevancia y prioridad de inversión como condiciones existentes para el apalancamiento financiero de recursos de cofinanciación en la inversión de proyectos de adecuación de tierras.

El desarrollo de proyectos de adecuación de tierras requiere coordinación y articulación de acciones públicas desde lo nacional hasta lo local, mediante la capacidad técnica, el apalancamiento de recursos y el acompañamiento a los grupos asociativos en las etapas

de formulación, implementación y operación de los proyectos. Así las cosas, en el ámbito local el presupuesto de inversión destinado al sector agropecuario puede indicar la prioridad política para emprender este tipo de inversiones.

#### 3.3.4.6. *Criterio asociativas*

Este criterio, que es de relación directa, hace referencia a la asociatividad presente de un territorio con la adecuación de tierras. Se establece con la variable asociaciones y entidades solidarias, la cual mide el número de entidades solidarias en el municipio; cabe mencionar que las asociaciones de usuarios de adecuación de tierras, en su mayoría, funcionan como entidades solidarias o sin ánimo de lucro, y sin sección de ahorro y crédito, razón por la cual indica la familiaridad de los habitantes con este tipo de entidades.

Para que la política de adecuación de tierras pueda cumplir con su propósito, entre otras, se requiere tener excelentes asociaciones de usuarios, en cuanto a su fortaleza organizacional y cohesión social. La política de adecuación de tierras no se puede limitar únicamente a ejecución de proyectos, esto es la cuota inicial, mas no el fin; por ello, la perdurabilidad y adecuada operación de los distritos de riego y drenaje depende principalmente de las asociaciones de usuarios, en una lógica de ejecución de proyectos.

#### 3.3.4.7. *Criterio seguridad*

##### 3.3.4.7.1. *Promedio de accidentes e incidentes por minas antipersonas 2010-2014*

Analiza las condiciones de seguridad como atractivo de inversión en la región. La percepción de la presencia de campos minados puede limitar significativamente el desarrollo de proyectos de adecuación de tierras, reduce el área de suelo para usos productivos y pone en peligro la integridad física de los seres humanos.

La inversión de origen público y privado se reduce en zonas rurales por temas de seguridad ciudadana. Además de ser una variable dinámica en las regiones, su análisis y seguimiento es relevante para la definición de inversión en proyectos de adecuación de tierras.

##### 3.3.4.7.2. *Promedio de acciones armadas 2010-2014*

Considera las condiciones de seguridad como atractivo de inversión en la región. La ocurrencia de acciones armadas puede limitar significativamente el desarrollo de proyectos de adecuación de tierras y magnifica la percepción de inseguridad en la zona.

La inversión de origen público y privado se reduce en zonas rurales por temas de seguridad ciudadana, más con acciones armadas por grupos al margen de la ley. Además de ser una variable dinámica en las regiones, su análisis y seguimiento es relevante para la definición de inversión en proyectos de adecuación de tierras.

La presencia de actores armados al margen de la ley puede dificultar el desarrollo de proyectos de adecuación de tierras, por condicionar las

discusiones sociales, impedir el ingreso de personal técnico a la zona, entre otras razones. En consecuencia, la percepción de estas condiciones en los actores de inversión es relevante para su decisión de desarrollo.

#### 3.3.4.7.3. Tasa de desplazamiento forzado 2010-2014

La expulsión forzada de la población por circunstancias de violencia impide generar condiciones de ocupación pacífica del territorio y acreditar el derecho real de dominio de la propiedad para el desarrollo de proyectos de adecuación de tierras.

El desplazamiento forzado se asocia con dificultades de arraigo de la población en el territorio e informalidad para acreditar el derecho real de dominio de la propiedad rural, lo que impide el desarrollo de proyectos productivos de largo plazo y el complemento de adecuación de tierras.

#### 3.3.4.7.4. Tasa de homicidios 2010-2014

La tasa de homicidios no discrimina el origen de los incidentes, pero sí da una idea de las condiciones generales de seguridad y tolerancia de las relaciones entre los pobladores. Así las cosas, para el desarrollo de proyectos de adecuación de tierras debe tenerse en cuenta como condición de seguridad ciudadana.

Para el desarrollo potencial de los proyectos de adecuación deben existir condiciones de seguridad e integridad física aceptables socialmente, para el arraigo de la población y la percepción de ambiente adecuado para los inversores.

### 3.3.5. Excluyentes y condicionantes

De acuerdo con la figura 1, dentro del modelo general de la ZTI existe un componente de análisis especial en función de la utilización del suelo, denominado componente de excluyente y condicionantes.

#### 3.3.5.1. Excluyentes para la zonificación

Esta categoría hace referencia a la información temática y espacial de tipo delimitador que, independientemente del potencial que tenga el territorio para una actividad como la adecuación de tierras, excluye espacialmente las zonas que presenten dichas temáticas, por la cual se diferencian en dos clases: los excluyentes legales y técnicos.

##### 3.3.5.1.1. Excluyentes legales

Se refiere a las áreas cobijadas por figuras de protección definidas en algunas normas legales vigentes que por criterios ambientales prohíben un uso determinado del suelo rural e implican la imposibilidad de implementar proyectos de adecuación de tierras, las cuales se definen en el cuadro 15.

Cuadro 15. Excluyentes legales para la ZTI

EXCLUYENTE LEGAL		CONCEPTO
Sistema Nacional de Áreas Protegidas (Sinap)	Sistema de Parques Nacionales Naturales (SPNN)	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, en el cual reglamenta el Sinap, que incluye las figuras de parques nacionales naturales, área natural única, reservas naturales, santuarios de fauna, santuarios de fauna y flora y vía parque. De conformidad con el artículo 30 del Decreto 622 de 1977, define las actividades prohibidas en estas áreas, entre las cuales se encuentra la de «desarrollar actividades agropecuarias o industriales incluidas las hoteleras, mineras y petroleras», por lo cual la presencia de estas áreas resulta prohibitiva para adelantar proyectos de adecuación de tierras.
	Parques naturales regionales (PNR)	El Decreto 2372 de 2010, compendiado en el Decreto 1076 de 2015, se considera un espacio geográfico en el que los ecosistemas de bosque mantienen su función, aunque su estructura y composición haya sido modificada y los valores naturales asociados se ponen al alcance de la población humana para destinarlos a su preservación, uso sostenible, restauración, conocimiento y disfrute. De acuerdo con la definición, el uso sostenible no hace parte de los propósitos de los PNR, por lo cual no se pueden establecer allí usos del suelo agrícolas o pecuarios. Por lo tanto, la presencia de estas áreas es considerada excluyente para la adecuación de tierras.
	Reservas forestales protectoras (RFP)	El Decreto 2372 de 2010, compendiado en el Decreto 1076 de 2015, considera un espacio geográfico en el que los ecosistemas de bosque mantienen su función. Según su reglamentación, el uso sostenible en las RFP se refiere al aprovechamiento forestal en forma de obtención de productos no maderables tales como frutos, fibras, semillas y exudados, de forma que la posibilidad de implementar proyectos de adecuación de tierras queda excluida.
Ecosistemas estratégicos	Páramos	De acuerdo con la Ley 1753 de 2015, por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018, «Todos por un nuevo país», en su artículo 173 establece que en las áreas delimitadas como páramos no se podrán adelantar actividades agrícolas. Asimismo, 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 a su cargo la obligación de brindar una protección más amplia y especial, dirigida específicamente a preservar este tipo de ecosistema. Lo anterior no solo porque es un tipo de bioma que no es común en el mundo, sino también en razón de los importantes servicios ambientales que presta, sumado a que en la actualidad es un ecosistema sometido a intervenciones negativas o disturbios que afectan su pervivencia.
Áreas de protección cultural y social	Áreas arqueológicas protegidas con declaratoria	Zonas a cargo del Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH), que se crean como espacios de conservación, divulgación e investigación en torno al patrimonio arqueológico y cultural de la nación y como patrimonio de la humanidad, por lo cual deben ser salvaguardados, protegidos y conservados por el Estado con el propósito de que sirva de testimonio de la identidad cultural nacional, tanto en el presente como en el futuro, según la ley general de cultura (Ley 397 de 1997, artículo 1.º de la Ley 1185 de 2008 y Decreto 1080 de 2015), razón por la cual se excluyen para proyectos de adecuación de tierras.
Urbano	Áreas urbanas y suburbanas	La Ley 388 de 1997 establece que los centros urbanos son aquellos espacios conformados por edificaciones y los espacios adyacentes a la infraestructura edificada, por lo cual no pueden ser objeto de actividades agrícolas, en el cual se excluye la adecuación de tierras.

### 3.3.5.1.2. Excluyentes técnicos

Son las áreas no cobijadas por figuras de protección definidas en normas legales vigentes, pero que por criterios técnicos ambientales y ecosistémicos se considera la restricción de implementar proyectos de adecuación de tierras, referidas desde el uso del territorio continental.

En el cuadro 16 se describen los excluyentes técnicos.

Cuadro 16. Excluyentes técnicos para la ZTI

EXCLUYENTE TÉCNICO		CONCEPTO
Ecosistemas estratégicos	Humedales	El Decreto 1640 de 2012 plantea, en su artículo 2, la existencia de ecosistemas de importancia estratégica para la conservación de recursos hídricos, entendiéndolos como aquellos que garantizan la oferta de servicios ecosistémicos relacionados con el ciclo hidrológico y en general con los procesos de regulación de disponibilidad del recurso hídrico en un área determinada. La Ley 1753 de 2016, en su artículo 172, establece que con base en la cartografía de humedales que determine el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), con el aporte de los institutos de investigación adscritos o vinculados, las autoridades ambientales podrán restringir, parcial o totalmente, el desarrollo de actividades agropecuarias de alto impacto, de exploración y explotación minera y de hidrocarburos, con base en estudios técnicos, económicos, sociales y ambientales, conforme a los lineamientos definidos por el MADS. Es de aclarar que, aunque la disposición de la delimitación del humedal dependerá de varias acciones, para la ZTI se excluyen estas áreas para determinación de clases de riego, ya que pueden ser una fuente alternativa para la irrigación, según lo establezcan las autoridades del tema.
	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 del Minambiente). Para su conservación, el Minambiente desarrolló el Programa Nacional para el Uso Sostenible, Manejo y Conservación de los Ecosistemas de Manglar, en el 2002. 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, exceptuando 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 de Minambiente). Al tener dichas restricciones para la adecuación de tierras se imposibilitan estas áreas, por lo cual se excluyen del área continental.
	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, establece que los propietarios de los predios rurales tienen la obligación de mantener en cobertura boscosa dentro del inmueble respectivo las áreas forestales protectoras, entendiéndose por estas, 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». De esta manera, considerando el principio de precaución y las disposiciones planteadas, la capa de rondas hídricas estará supeditada a ser considerada como exclusión legal para las actividades de adecuación de tierras, asumiendo el límite planteado desde la mirada de la planificación para la irrigación, mas no como una restricción para usos agropecuarios, ya que una vez sea delimitada, zonificada y sean determinados sus respectivos usos, expedido por la autoridad ambiental competente, se ajustará en una próxima versión.

Ecosistemas estratégicos	Bosque seco	<p>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 están sufriendo una rápida pérdida, fragmentación y degradación de sus ecosistemas, y por ello el Miambiente desarrolló el Plan de Acción Nacional de Lucha Contra la Desertificación y la Sequía (PAN) 2005, a través del cual se busca adelantar acciones para el manejo sostenible de los ecosistemas de las zonas secas, así como la aplicación de medidas prácticas que permitan prevenir, detener y revertir procesos degradativos y contribuir al desarrollo sostenible de las zonas afectadas. Aunque la legislación vigente no lo relaciona dentro de los ecosistemas estratégicos, este fue considerado como tal por la UPRA (2014c). En efecto, estos ecosistemas proveen importantes servicios ecosistémicos tales como la estabilización de los suelos, la regulación hídrica y climática, y la provisión de alimentos y madera, y son claves para la prevención de la desertificación (Pizano y García, 2014); por esta razón técnica se excluyen de las áreas para la ZTI.</p>
Coberturas naturales		<p>Para la ZTI se excluyeron, dentro del área continental, las categorías de bosques, áreas con vegetación herbácea y arbustiva, áreas abiertas sin o con poca vegetación, áreas húmedas continentales, y las áreas húmedas costeras, pertenecientes al mapa de coberturas, metodología Corine Land Cover 2009-2012 del Ideam, zonas que no tienen una reglamentación legal para excluir actividades agropecuarias, pero que de acuerdo con el concepto de exclusiones técnicas se tuvieron en cuenta por su componente natural del territorio.</p>



### 3.3.5.2. Condicionantes legales para la zonificación

Los condicionantes legales para la ZTI hacen referencia a las zonas cuyos factores de orden físico, ecosistémico, social y económico son de gran importancia, por lo cual tienen que ser tenidos en cuenta para el uso del suelo, sin que ello represente una restricción misma al uso o un cambio de potencialidad a la irrigación de un territorio para su implementación, de manera que se representa como un caracterizador, que para proyectos de adecuación de tierras implica acciones como consultas, planes específicos, análisis de ordenamiento, entre otras, para su adecuada implementación.

En el cuadro 17 se definen los condicionantes tenidos en cuenta para la ZTI.

Cuadro 17. Condicionantes legales para la ZTI

CONDICIONANTE	DESCRIPCIÓN
Áreas protegidas	<b>Distritos de manejo integrado (DMI):</b> de acuerdo con el artículo 14 del Decreto 2372 de 2010, compendiado en el Decreto 1076 de 2015, único del sector ambiental, son espacios geográficos en los que los paisajes y ecosistemas mantienen su composición y función, aunque su estructura haya sido modificada, y cuyos valores naturales y culturales asociados se ponen al alcance de la población humana para destinarlos a su uso sostenible, preservación, restauración, conocimiento y disfrute.
	<b>Distritos de conservación de suelos (DCS):</b> el Decreto 2372 de 2010, compilado por el Decreto 1076 de 2015, define que son espacios geográficos cuyos ecosistemas estratégicos, en la escala regional, mantienen su función, aunque su estructura y composición hayan sido modificadas; aportan esencialmente a la generación de bienes y servicios ambientales, cuyos valores naturales y culturales asociados se ponen al alcance de la población humana para destinarlos a su restauración, uso sostenible, preservación, conocimiento y disfrute, por las restricciones debidas a su orientación de manejo para la recuperación de suelos alterados o degradados o la prevención de fenómenos que causen alteración o degradación en áreas especialmente vulnerables por sus condiciones físicas o climáticas, o por la clase de utilidad que en ellas se desarrolla.
	<b>Áreas de recreación:</b> conforme al artículo 15 del Decreto 2372 de 2010, compendiado en el Decreto 1076 de 2015, único del sector ambiental, son espacios geográficos en los que los paisajes y ecosistemas estratégicos en la escala regional mantienen la función, aunque su estructura y composición hayan sido modificadas, con un potencial significativo de recuperación, y cuyos valores naturales y culturales asociados se ponen al alcance de la población humana para destinarlos a su restauración, uso sostenible, conocimiento y disfrute; por esa razón, esta categoría impone restricciones similares a las de los distritos de manejo integrado.
Áreas protegidas	<b>Reservas naturales de la sociedad civil (RNSC):</b> conforme al artículo 1 del Decreto 1996 de 1999, corresponde 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.
	<b>Zonas de protección y desarrollo de los recursos naturales renovables y del medioambiente:</b> por medio de la Resolución 1628 de 2015 y de la Resolución 1814 de 2015 del MADS, mediante las cuales se declaran las zonas de protección como medida de precaución de carácter nacional (áreas protegidas nacionales en proceso de declaratoria por parte de PNN) y de carácter regional (áreas protegidas regionales en proceso de declaratoria por parte de las corporaciones autónomas regionales).

<p>Zonas de reserva forestal nacional</p>	<p><b>Zonas de reserva forestal nacional de la Ley 2 de 1959:</b> se compone de siete zonas de reserva forestal nacional (ZRFN): ZRFN del Pacífico, ZRFN Central, ZRFN del Río Magdalena, ZRFN de la Sierra Nevada de Santa Marta, ZRFN de la Serranía de los Motilones, ZRFN del Cocuy y ZRFN de la Amazonia. Para el estudio se manejó como condicionante, dado que está establecido mediante resolución que, para un cambio en el uso del suelo, se requiere de una solicitud de sustracción de reserva forestal.</p> <p><b>Sustracciones de las reservas forestales de la Ley 2 de 1959:</b> de acuerdo con el numeral 18, artículo 5 de la Ley 99 de 1993, en concordancia con el Decreto Ley 3570 de 2011, facultó al hoy MADS a reservar, alinderar y sustraer las reservas forestales nacionales. La sustracción se evalúa y otorga exclusivamente para la actividad que la solicitó; por este motivo, las zonas sustraídas son solo 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.</p>
<p>Distinciones internacionales</p>	<p><b>Reservas de la biósfera:</b> de acuerdo con la «Convención sobre la protección del patrimonio mundial, cultural y natural» (&lt;<a href="http://www.unesco.org">www.unesco.org</a>&gt;), los Estados parte se obligan a prestar su 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 (cinturón andino, El Tuparro, Sierra Nevada de Santa Marta, Ciénaga Grande de Santa Marta, Seaflower).</p> <p><b>Ramsar:</b> la «Convención sobre los humedales de importancia internacional», conocida como Convención Ramsar, es un tratado intergubernamental desarrollado para coordinar las acciones en el ámbito nacional y la cooperación internacional para garantizar la conservación y el uso racional de los humedales de importancia regional (en el trayecto de rutas de aves migratorias) y sus recursos. Colombia, mediante la Ley 357 de 1997, aprueba la «Convención relativa a los humedales de importancia internacional, especialmente como hábitat de aves acuáticas» y se obliga como parte contratante de la convención a elaborar y aplicar su planificación de forma que favorezca la conservación de los humedales incluidos en la lista y, en la medida de lo posible, el uso racional de los humedales de su territorio (artículo 3), así como a fomentar la conservación de los humedales y de las aves acuáticas creando reservas naturales en aquellos (artículo 4).</p>
<p>Áreas de interés cultural y social</p>	<p><b>Tierras de las comunidades negras:</b> son las titulaciones colectivas de las comunidades negras. De acuerdo con el artículo 5.º 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».</p> <p><b>Áreas de reserva de la Ley 70:</b> de acuerdo con el artículo 1.º de la Ley 70 de 1993, «La presente ley tiene por objeto reconocer a las comunidades negras que han venido ocupando tierras baldías en las zonas rurales ribereñas de los ríos de la cuenca del Pacífico, de acuerdo con sus prácticas tradicionales de producción y el derecho a la propiedad colectiva. Asimismo, tiene como propósito establecer mecanismos para la protección de la identidad cultural y de los derechos de las comunidades negras de Colombia como grupo étnico, y el fomento de su desarrollo económico y social, con el fin de garantizar que estas comunidades obtengan condiciones reales de igualdad de oportunidades frente al resto de la sociedad colombiana».</p>

**Zonas de reserva campesina:** según el artículo 80 de la Ley 160 de 1994, «Son zonas de reserva campesina las áreas geográficas seleccionadas por la junta directiva del Incora, teniendo en cuenta las características agroecológicas y socioeconómicas regionales. En los reglamentos respectivos se indicarán las extensiones mínimas y máximas que podrán adjudicarse, determinadas en unidades agrícolas familiares, el número de estas que podrá darse o tenerse en propiedad, los requisitos, las condiciones y obligaciones que deberán acreditar y cumplir los ocupantes de los terrenos. En las zonas de reserva campesina la acción del Estado tendrá en cuenta, además de los anteriores principios orientadores, las reglas y criterios sobre ordenamiento ambiental territorial, la efectividad de los derechos sociales, económicos y culturales de los campesinos, su participación en las instancias de planificación y decisión regionales y las características de las modalidades de producción».

**Áreas de resguardos indígenas:** los resguardos indígenas son propiedad colectiva de las comunidades indígenas, a favor de las cuales se constituyen; conforme a los artículos 63 y 329 de la Constitución Política, tienen el carácter de inalienables, imprescriptibles e inembargables. El resguardo indígena es una institución legal y sociopolítica de carácter especial, conformada por una o más comunidades indígenas, con un título de propiedad colectiva que goza de las garantías de la propiedad privada, que posee su territorio y se rige para el manejo de este y su vida interna por una organización autónoma amparada por el fuero indígena y su sistema normativo propio (artículo 21, Decreto 2164 de 1995). El condicionante se fundamenta en lo establecido por Constitución Política de Colombia (artículos 63 a 329), la Ley 21 de 1991 y el Convenio OIT 169 de 1989.

**Paisaje cultural cafetero:** está inscrito en la lista de patrimonio mundial desde el 25 de junio de 2011, y ratificado por el Gobierno nacional mediante la Resolución 2079 del Ministerio de Cultura, del 7 de octubre de 2011, cuyo artículo 3 dice: «Velar para que se conserven integralmente los valores universales excepcionales que ameritaron la inclusión del paisaje cultural cafetero en la lista de patrimonio mundial de la Unesco».

**Áreas arqueológicas protegidas:** las áreas arqueológicas protegidas presentan un alto potencial arqueológico que debe ser protegido según la Ley General de Cultura y cada una de estas áreas contiene un plan de manejo arqueológico definido por el Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH), en donde permite la realización de labores de agricultura tradicional y restringe el desarrollo de agricultura mecanizada en las áreas de potencial muy alto.

### 3.4. Integración de componentes y criterios para la ZTI

En el capítulo anterior, se describió la importancia de los diferentes componentes, con los criterios, los subcriterios y las variables correspondientes, los cuales son la base temática para la generación de la zonificación propuesta. Para realizar un análisis general a la zonificación, es necesario integrar los componentes; con el fin de lograr dicho propósito, se debe partir de las integraciones básicas: integración de variables para conformar un criterio o subcriterio; integración de subcriterios para conformar criterios y finalmente, integración de los criterios para conformar cada componente.

A continuación, se describen los procesos realizados para el análisis y la integración de las estructuras de información de la ZTI.

### 3.4.1. Integración para el componente físico

La integración del componente físico se desarrolló en dos etapas, ya que la evaluación de las variables edafológicas y topográficas se realizó de manera independiente.

La evaluación de este criterio edafológico se llevó a cabo mediante la multiplicación de los valores de los índices de calificación de cada una de las variables que lo componen: los índices de calificación toman un valor entre cero (0) y uno (1), donde cero (0) representa la menor potencialidad y uno (1), la mayor potencialidad para desarrollar proyectos de riego; adicionalmente, guardan una relación estrecha con los métodos de riego potencialmente desarrollables.

Los valores cercanos a cero (0) se asocian a sistemas de riego presurizados, con aplicación de agua localizada, bajo impacto erosivo sobre el suelo, que, en términos generales, representa tierras con mayores restricciones para la aplicación del riego y demanda métodos específicos de aplicación. Los valores cercanos a uno (1) se asocian a todos los métodos, incluidos los de aplicación de agua superficial, además de los presurizados antes mencionados. Así, las áreas con índices de calificación cercanas a uno (1) son tierras con las menores restricciones para el desarrollo de proyectos de riego y permiten cualquier método de aplicación de agua con fines de riego agropecuario.

Los valores de los índices fueron asignados y consensuados en grupo por especialistas en irrigación, generando así una base de conocimiento cuyo motor de inferencia es el modelo espacial.

Estos índices de calificación de rangos de clases se multiplican con las demás variables del mismo criterio y, finalmente, por el índice de calificación del criterio. Se puede expresar por medio de la ecuación 7:

$$E = ICE \times (ICV1 \times ICV2 \times ICVi \times \dots \times ICVn) \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

$E$  = calificación del criterio edafológico

$ICE$  = índice de calificación del criterio edafológico

$Vi$  = índice de calificación del atributo de cada variable asociada al criterio edafológico

De manera equivalente, la evaluación del criterio topográfico se llevó a cabo mediante la multiplicación de los valores de los índices de calificación de cada una de las variables que lo componen. Los índices de calificación toman un valor entre cero (0) y uno (1), donde (0) representa la menor potencialidad, y uno (1), la mayor potencialidad para desarrollar proyectos de riego; además, guardan una relación estrecha con los métodos de riego potencialmente desarrollables.

Los valores cercanos a cero (0) se asocian a sistemas de riego presurizados, con aplicación de agua localizada, bajo impacto erosivo sobre el suelo, que, en términos generales, representa tierras con mayores restricciones para la aplicación del riego y demanda la implementación de métodos de aplicación de agua localizados, prácticas de manejo de conservación y alta tecnificación. Los valores cercanos a (1) se asocian a todos los métodos, incluidos los de aplicación de agua superficial, además de los presurizados antes mencionados. De esta forma, las áreas con índices de calificación cercanas a uno (1) son tierras con las menores restricciones para el desarrollo de proyectos de riego y permiten cualquier método de aplicación de agua con fines de riego agropecuario.

Estos índices de calificación de rangos de clases se multiplican con las demás variables del mismo criterio y, finalmente, por el índice de calificación del criterio. Se puede expresar por medio de la ecuación 8:

$$E = ICE \times (ICV1 \times ICV2 \times ICVi \times \dots \times ICVn) \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde:

$E$  = calificación del criterio topográfico

$ICE$  = índice de calificación del criterio topográfico

$Vi$  = índice de calificación del atributo de cada variable asociada al criterio topográfico

Una vez obtenidas las calificaciones especializadas de los criterios edafológicos y topográficos, se integraron por método multiplicativo ponderado, para obtener por cada entidad espacial un atributo numérico, el cual se agrupó en rangos de datos por medio del algoritmo del método de clasificación de intervalos geométricos del programa ArcGIS. Este algoritmo crea cortes de clase definidos por el investigador, basados en los intervalos de clase que tienen una serie geométrica, y crea intervalos geométricos, al minimizar la suma de cuadrados del número de elementos de cada clase, con lo cual se cerciora de que cada rango de clase tenga aproximadamente el mismo número de valores en cada clase y que el cambio entre intervalos sea bastante coherente; este algoritmo fue diseñado para visualizar agrupaciones de datos continuos. Este método de clasificación ha sido utilizado por diferentes autores para visualizar datos continuos.

Con base en lo anteriormente descrito, como resultado de la clasificación de los datos se agruparon los datos en seis rangos, que para la ZTI se denominaron «tipos de tierras para irrigación», los cuales se describen a continuación.

#### *3.4.1.1. Tipos de tierras con fines de riego*

Los tipos de tierras deben estar íntimamente ligados a la aplicabilidad de los diferentes métodos de riego. Características específicas tales como pendiente natural del terreno, textura de los suelos, capacidad de retención de humedad de los suelos, profundidad de los suelos,

salinidad, disponibilidad de agua, tamaño de los predios y, en particular, longitud del recorrido disponible en el sentido del riego por superficie, entre otras, han sido tenidas en cuenta para la delimitación de los seis tipos de tierras para riego descritos en el cuadro 18.

Cuadro 18. Tipos de tierra con fines de riego

TIPO	DESCRIPCIÓN
Tipo 1: irrigables, para la mayoría de métodos de Irrigación	Suelos profundos, aptos para nivelación de tierras, con pendientes entre 0 % y 0,5 %, de textura media, con excelente drenaje interno y adecuada capacidad de retención de humedad. Los suelos no están afectados por salinidad ni por presencia de sodio. No se recomiendan aquellos cultivos que requieran inundación continua, dado el peligro de excesivas pérdidas de agua por percolación profunda y de bajas eficiencias de aplicación. Se pueden emplear todos los métodos de riego por superficie, con excepción de aquellos que requieran inundación permanente, como las melgas en curvas de nivel para arroz y las melgas reticulares o pozas para arroz. No tiene restricción alguna para el empleo de los métodos de riego a presión: aspersión en cualquier modalidad, microaspersión y goteo.
Tipo 2: irrigables, con especificaciones particulares para riegos por superficie	Suelos de texturas gruesas a finas, profundos o no, aptos relativamente para nivelación de tierras, con pendientes entre planas a ligeramente planas. Pueden estar o no afectados por salinidad o por presencia de sodio. Por su naturaleza, son tierras que permitirían el riego por superficie a melgas en curvas de nivel y melgas reticulares o pozas, ya que la aplicación de otros métodos de riego puede generar pérdidas excesivas de agua por escorrentía superficial. No obstante, en esta clase de tierras se pueden establecer todos los métodos de riego a presión: aspersión, microaspersión y goteo, sin ninguna limitación.
Tipo 3: irrigables, con especificaciones de riego especializadas	La topografía en esta clase de tierras es ligeramente plana, pero la textura de los suelos es liviana, los suelos no presentan afectación de sales ni de sodio, pero por su condición textural exhiben peligro de erosión hídrica. La aplicación de riegos frecuentes limita el empleo de métodos de riego por superficie; además, la aplicación de estos métodos de riego en suelos livianos conlleva pérdidas considerables de agua por percolación profunda. Al utilizar métodos de riego por superficie, el tamaño de los predios puede ofrecer limitaciones, por cuanto, en términos generales, en este tipo de suelos la longitud del recorrido en el sentido del riego necesariamente tiene que ser corta. Por su parte, los métodos de riego a presión –aspersión, microaspersión y goteo– no tienen ninguna limitante en esta clase de tierras.
Tipo 4: irrigable, con altas especificaciones y limitaciones	La pendiente de las tierras en esta tipología empieza a limitar los sistemas de riego por superficie. Sus suelos pueden estar entre textura y profundidad variadas, así como también su capacidad de retención de humedad. Presentan peligro de erosión hídrica entre moderado y severo. Exhiben buen drenaje y no presentan problemas de salinidad ni de sodio. Para lograr eficiencias de riego aceptables, se deben tomar precauciones especiales en el manejo del agua. En terrenos con pendientes planas, la aplicación de algunos métodos de riego por superficie, como pozas, exige que los suelos sean profundos y que la nivelación de tierras se lleve a cabo en terrazas para garantizar sostenibilidad en el tiempo y el espacio y, para estas pendientes relativamente suaves, cuando las tierras no sean niveladas, se pueden emplear métodos de riego por superficie adecuados, como surcos en contorno para cultivos en hileras o acequias en contorno para cultivos densos, siempre y cuando los diseños sean adecuados y se adelanten prácticas apropiadas de conservación de suelos. Por otra parte, para terrenos con tierras ligeramente onduladas, el riego por superficie es prácticamente imposible; se puede, sin embargo, emplear el método de riego por corrugaciones, solamente si su diseño es adecuado y si son orientadas por las curvas de nivel del terreno. En las tierras de este tipo, el empleo de métodos de riego a presión –aspersión, microaspersión y goteo– no tiene limitaciones.

Tipo 5: irrigable, para sistemas de riego de elevada eficiencia y presurizados	Las pendientes en esta clase se caracterizan porque pueden llegar hasta terrenos fuertemente inclinados, con suelos poco profundos y de textura variada. Por su condición natural, sus suelos son bien drenados y no ofrecen peligro de salinidad ni de sodio. En esta clase, las limitaciones de agua son severas y exige la aplicación de métodos de riego de elevada eficiencia. Exhiben un peligro severo de erosión hídrica y, por esta razón, los métodos de riego por superficie no son aplicables en esta clase de tierras. Dependiendo del tipo de cultivo que se establezca, se puede emplear riego por aspersión, por microaspersión o por goteo. Puesto que las pendientes de estos terrenos son considerables, ciertos tipos de riego por aspersión, como los cañones viajeros o el pivote central, tienen un uso muy restringido; su empleo se recomienda en pendientes simples e inferiores al 20 %. Cuando las pendientes son complejas y están entre 20 % y 35 %, se prefiere el empleo de aspersión convencional. No obstante, para cultivos perennes, como frutales, el riego por goteo puede ser empleado en terrenos con pendientes hasta de 45 %.
Tipo 6: sin clasificación	De acuerdo con el alcance de la escala de estudio, esta tipología requiere un mayor nivel de detalle de la información, pues puede encontrarse con altas limitaciones edafológicas o topográficas, que precisa conocer a una escala mayor la información para recomendar un sistema de riego en particular.

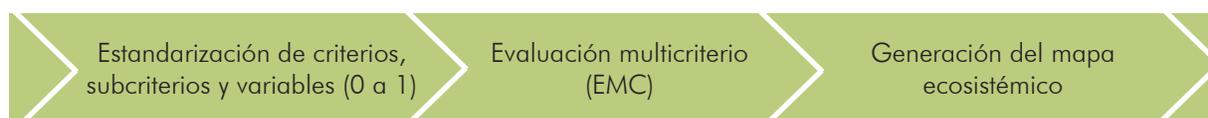
### 3.4.2. Integración del componente recurso hídrico

Los criterios hídricos que conforman este componente se representan y leen espacialmente de manera independiente en el mapa, no hay proceso de integración cartográfico entre los mismos (ver el anexo).

### 3.4.3. Integración del componente ecosistémico

La integración de los indicadores y criterios descritos en la sección 3.3.3. se llevó a cabo mediante un proceso de tres pasos representado en el esquema general de la figura 3. Se partió de los insumos de información ya especificados, los cuales ya se encontraban espacializados; estos insumos fueron preparados y estandarizados, y posteriormente integrados con los demás indicadores mediante una evaluación multicriterio (EMC), a partir de la cual se obtuvo el mapa ecosistémico para la zonificación con fines de irrigación.

Figura 3. Proceso para la obtención del mapa ecosistémico de la ZTI



#### 3.4.3.1. Estandarización

El proceso para la integración de los criterios en la ZTI inició con la estandarización de cada uno de ellos en una escala de 0 a 1, a partir de la clasificación original de los valores de los insumos de información utilizados, aplicando los respectivos procedimientos de preparación de cada indicador que se describieron en la sección 3.3.3. La estandarización se realizó mediante una reclasificación de los valores originales en tres clases, mediante el método estadístico de clasificación



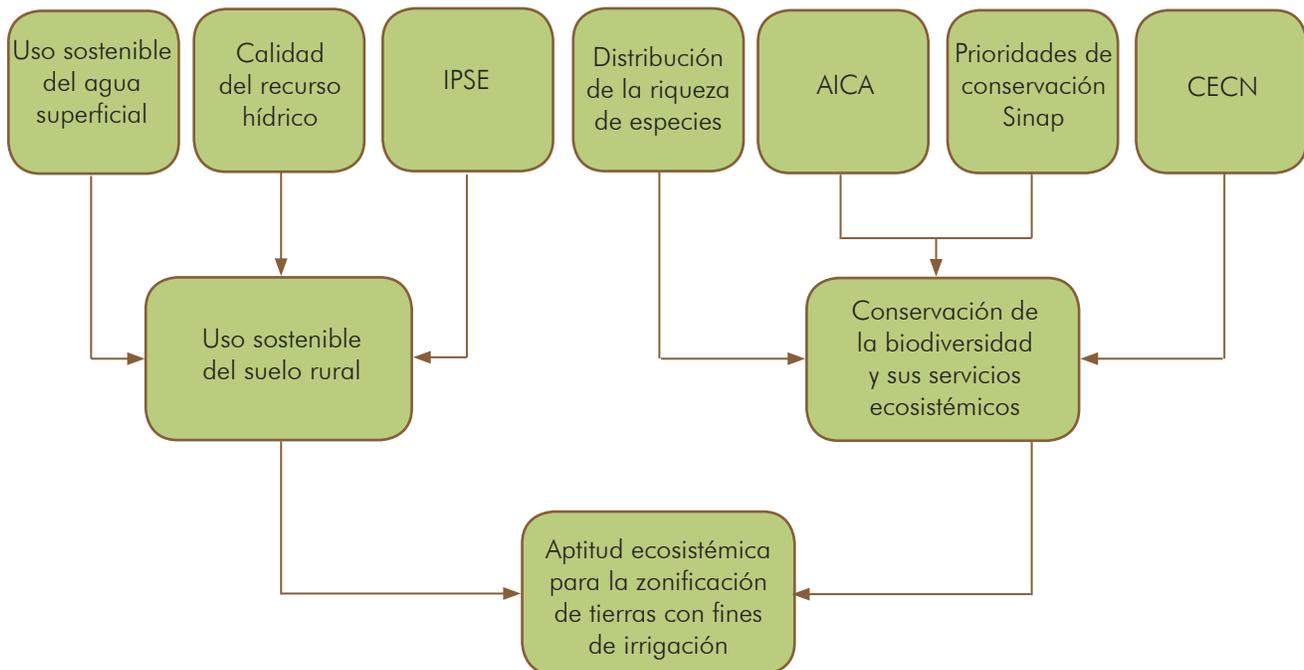
La integración de los indicadores mediante la EMC siguió el esquema que se muestra en la figura 4, en donde se puede apreciar que el modelo supone un cambio en relación con la forma en que se delinearon los criterios temáticos, debido a que el índice de prestación de servicios ecosistémicos (IPSE) se integró en el criterio 1.

Teniendo en cuenta la definición de este indicador se puede ver que responde a elementos conceptuales de los dos criterios: los servicios ecosistémicos son resultado de procesos y funciones ecosistémicas, y por lo tanto, reflejan la integridad ecológica del paisaje desde el atributo de su funcionamiento, pero al mismo tiempo son objeto de aprovechamiento por parte de las poblaciones humanas, por lo cual deben ser sujetos de un uso sostenible. Esta dualidad es resultado del carácter mismo de los servicios ecosistémicos: los beneficios que la sociedad obtiene de la biodiversidad.

Se decidió entonces integrar el IPSE con los indicadores del criterio 1, ya que su relación con el potencial ecosistémico para irrigación se acerca más a la evaluación de condiciones para el uso sostenible del suelo rural en el ámbito de la subzona hidrográfica.

Lo anterior se tomó como una oportunidad de aportar un elemento de análisis adicional a este criterio, el cual es el énfasis de la zonificación, teniendo en cuenta además que la mayoría de indicadores se integran en el criterio 2.

Figura 4. Esquema de integración de indicadores y subcriterios en la EMC



Previo a la evaluación multicriterio se llevó a cabo la ponderación de los indicadores, asignando a cada uno un peso relativo de 0 a 1 dentro de su respectivo criterio y de los criterios dentro del componente ambiental. Esta valoración se realizó de acuerdo con la importancia atribuida al tema respectivo dentro del enfoque de trabajo y la calidad de la información utilizada para su aplicación. Esta última fue valorada según los indicios sobre su calidad, principalmente la resolución espacial o escala cartográfica y la metodología para su elaboración. El cuadro 20 muestra los pesos definidos para la aplicación de la EMC. Se puede observar que el criterio 1 tiene mayor peso que el criterio 2, y que los indicadores considerados más importantes fueron los de uso sostenible del agua superficial y prioridades de conservación Sinap.

Cuadro 20. Pesos asignados a indicadores y subcriterios para la EMC

CRITERIO EMC	PONDERACIÓN DEL CRITERIO	INDICADOR	PONDERACIÓN DEL INDICADOR
1. Uso sostenible del suelo rural	1,0	Uso sostenible del agua superficial	1,0
		Calidad del agua superficial	0,8
		Índice de prestación de servicios ecosistémicos (IPSE)	0,8
2. Conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos	0,8	Distribución de la riqueza de especies	0,8
		Áreas importantes para la conservación de las aves (AICA)	0,9
		Prioridades de conservación Sinap	1,0
		Conectividad estructural de las coberturas naturales (CECN)	0,7

La multiplicación de los dos criterios de aptitud se realizó sin aplicar una reclasificación previa de sus valores, ya que estos estaban estandarizados en una escala de 0 a 1. Sus resultados se clasifican en tres categorías de aptitud (alta, media y baja), las cuales fueron obtenidas de forma que tuvieran una proporción similar del área del país. Esta categorización tiene el propósito de mostrar, en una forma simplificada, cómo se distribuye el potencial para irrigación desde el componente ecosistémico en la extensión del territorio nacional continental, resultados que se especifican en el anexo.

#### 3.4.4. Integración del componente socioeconómico

Según lo descrito en el numeral 3.3.4., este componente muestra un solo criterio que es el indicador de condiciones socioeconómicas municipales (ICSM), el cual se calcula estableciendo, para cada variable, un índice, valorado entre 0 y 1, de acuerdo con su influencia directa (ecuación 9) o indirecta (ecuación 10) en la potencialidad para la adecuación de tierras.

$$\text{Índ} = 1 - \frac{X_{\text{municipio } n} - X_{\text{municipio mín.}}}{X_{\text{municipio máx.}} - X_{\text{municipio mín.}}} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde:

$\text{Índ}$  = valor del índice cuando la relación es directa

$X_{\text{municipio } n}$  = valor de la variable  $X$  en el municipio  $n$

$X_{\text{municipio máx.}}$  = valor máximo de la variable  $X$  en relación al universo de  $n$  municipios

$X_{\text{municipio mín.}}$  = valor mínimo de la variable  $X$  en relación al universo de  $n$  municipios

$$\text{Índ} = 1 - \frac{X_{\text{municipio } n} - X_{\text{municipio mín.}}}{X_{\text{municipio máx.}} - X_{\text{municipio mín.}}} \quad (\text{Ecuación 10})$$

Donde:

$\text{Índ}$  = valor del índice cuando la relación es inversa

$X_{\text{municipio } n}$  = valor de la variable  $X$  en el municipio  $n$

$X_{\text{municipio máx.}}$  = valor máximo de la variable  $X$  en relación al universo de  $n$  municipios

$X_{\text{municipio mín.}}$  = valor mínimo de la variable  $X$  en relación al universo de  $n$  municipios

Establecido dicho indicador, se realiza el cálculo del ICSM de acuerdo con la ecuación 11:

$$\text{ICSM} = \sum_{i=0}^n \frac{(\text{Ind}_1 + \text{Ind}_2 \dots + \text{Ind}_n + \text{Ind}_n)}{n} \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde:

$\text{ICSM}$  = índice de condiciones socioeconómicas

$\text{Ind}_n$  = indicador de la variable  $X$  en el municipio  $n$

$n$  = número de variables socioeconómicas en el municipio  $n$

Es pertinente mencionar que no se podría recomendar o aseverar en cuáles municipios se debería priorizar la inversión pública en adecuación de tierras, dependiendo de los resultados del ICSM; esta es una decisión fundamental en la particularidad de la política agraria colombiana: qué se va a priorizar: la búsqueda de competitividad o la equidad social en el sector rural colombiano, o la combinación de estos dos propósitos.

Para facilitar la lectura del ICSM, si el resultado se acerca a cero (0), indica que aquellos municipios presentan condiciones no tan

deseadas en temas económicos, sociales y políticos, en cuyo caso sería necesario priorizar inversiones de política pública tendientes a mejorar las condiciones de vida de los habitantes, dotar de bienes públicos la región y fortalecer los gobiernos locales.

En cambio, si el resultado del ICSM se acerca a uno (1), señala que esos municipios poseen condiciones no óptimas, pero sí estables en temas económicos, sociales y políticos, por lo cual habría que priorizar inversiones de política pública tendientes al fomento del aparato productivo para generar competitividad y, por esta vía, se esperaría una retribución social en temas de bienestar.

Una vez calculado el ICSM, se procedió a asignar este valor a cada municipio espacialmente, donde se clasificaron y dispusieron con base en el índice en cuartiles para facilidad de interpretación visual.

Fotografía: Juan Camilo Rodríguez.

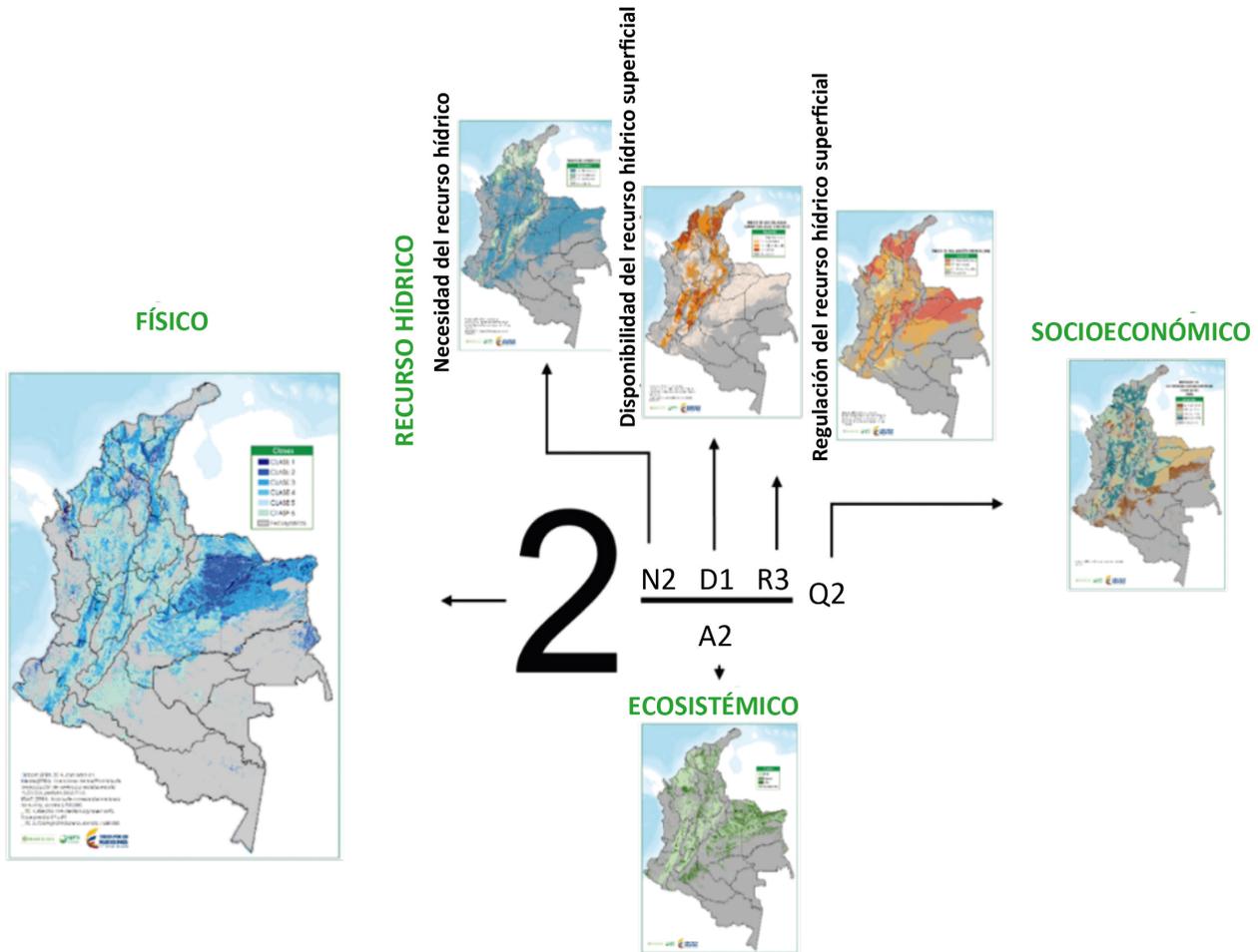




# 4. ZONIFICACIÓN GENERAL DE TIERRAS CON FINES DE IRRIGACIÓN (ZTI): RESULTADOS

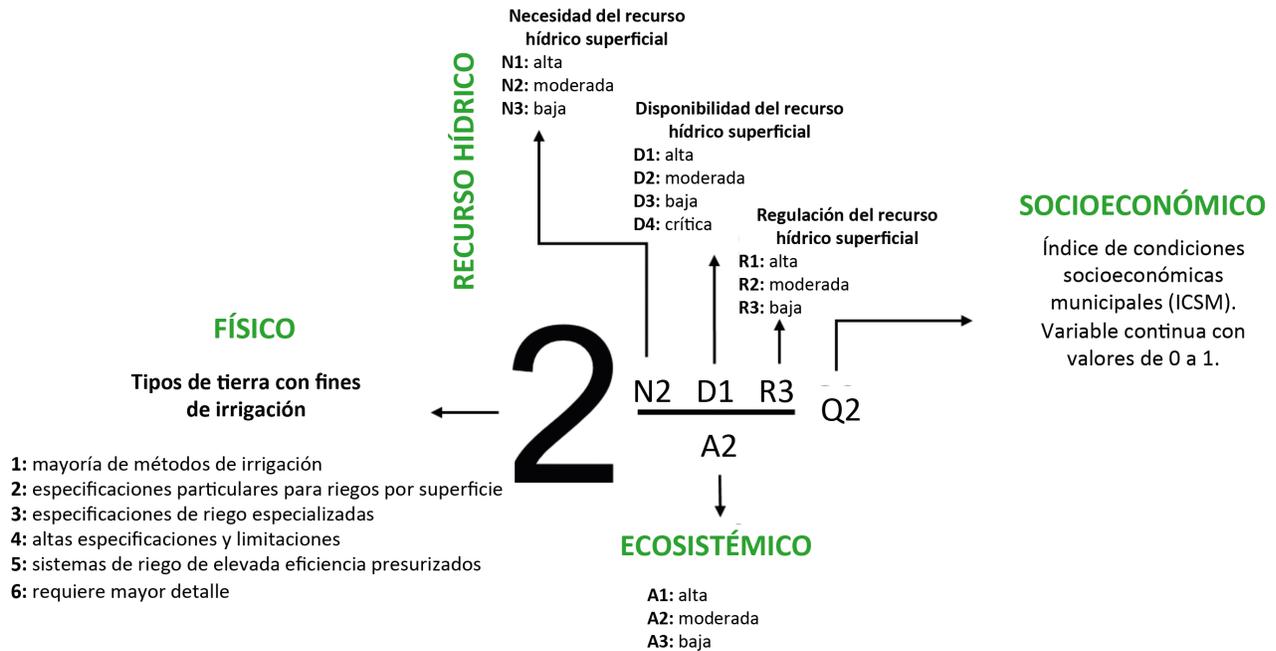
El resultado de la zonificación se basa, a nivel espacial, en un conjunto de seis mapas, de acuerdo con su concepto cartográfico (figura 5).

Figura 5. Esquema interpretativo del resultado de la ZTI



Los resultados se interpretan en función de sus componentes, teniendo en cuenta que el resultado final está conformado por un delimitador (físico) y tres caracterizadores (recurso hídrico, ecosistémico y socioeconómico); estos son explicados detalladamente en el anexo. A cada componente se le asignó una nomenclatura, la cual brinda una interpretación integrada de una zona determinada por consultar (figura 6).

Figura 6. Esquema de la nomenclatura integral para la ZTI



Teniendo en cuenta la base de datos generada como resultado del mapa de ZTI, la lectura del código integrado se lee de acuerdo con el ejemplo de la figura 7.

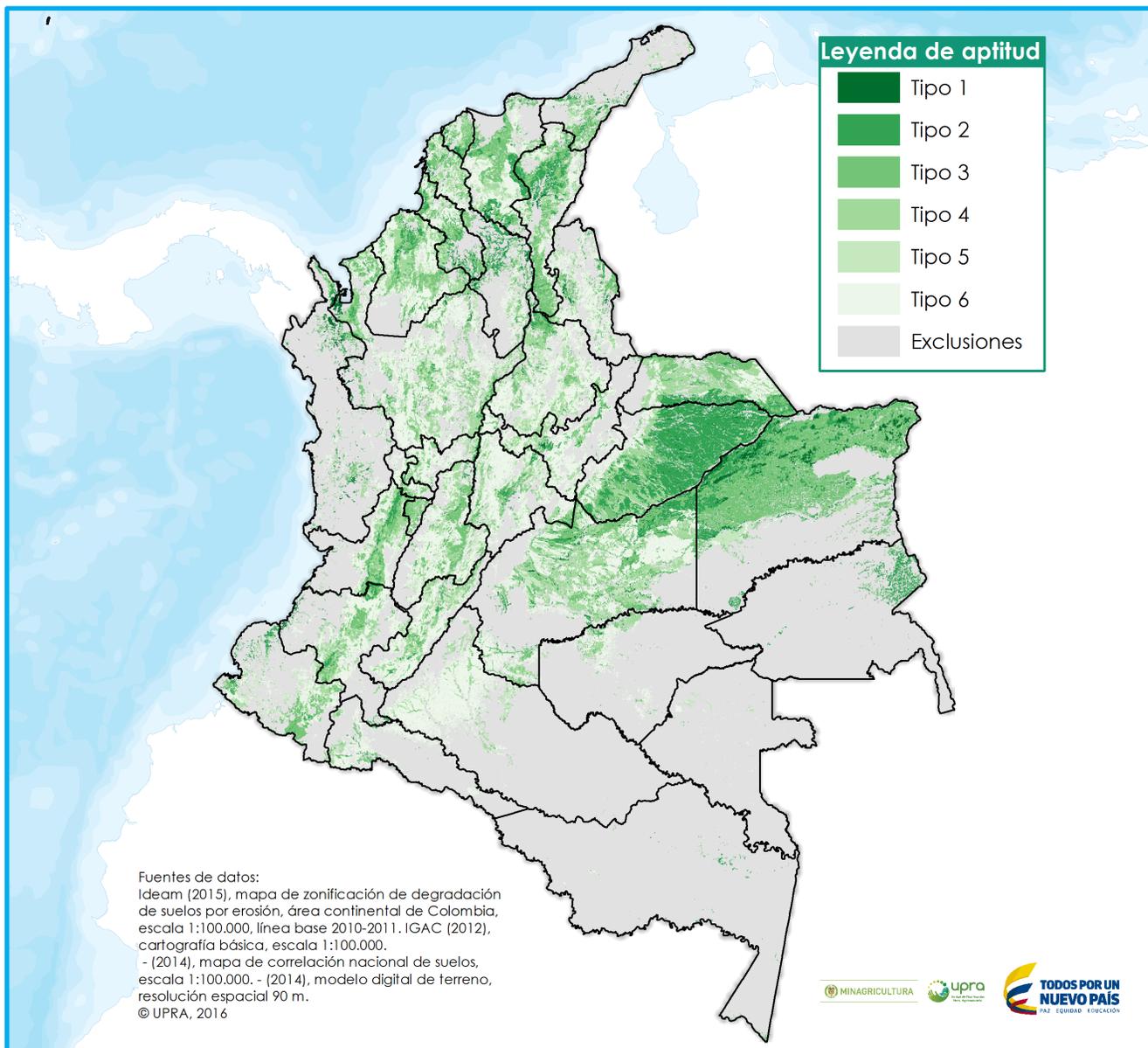
Figura 7. Ejemplo de interpretación del código del mapa de ZTI

Código: 2 [N1 D1 R2 / A3] Q3	
Componente físico	Tipo 2, irrigable con especificaciones particulares para riegos por superficie
Necesidad del recurso hídrico	N1_Alta
Disponibilidad del recurso hídrico	D1_Alta
Regulación del recurso hídrico	R2_Moderada
Componente ecosistémico	A3_Baja
Componente socioeconómico	Q3
<b>Delimitador Caracterizador</b>	

Para conocer y consultar la capa geográfica, por favor consultar la página web <[www.upra.gov.co](http://www.upra.gov.co)>, en el hipervínculo de «Sistema de información», «Ordenamiento productivo», «Adecuación de tierras».

### 4.1. Componente físico

#### RESULTADO



### COMPONENTE FÍSICO

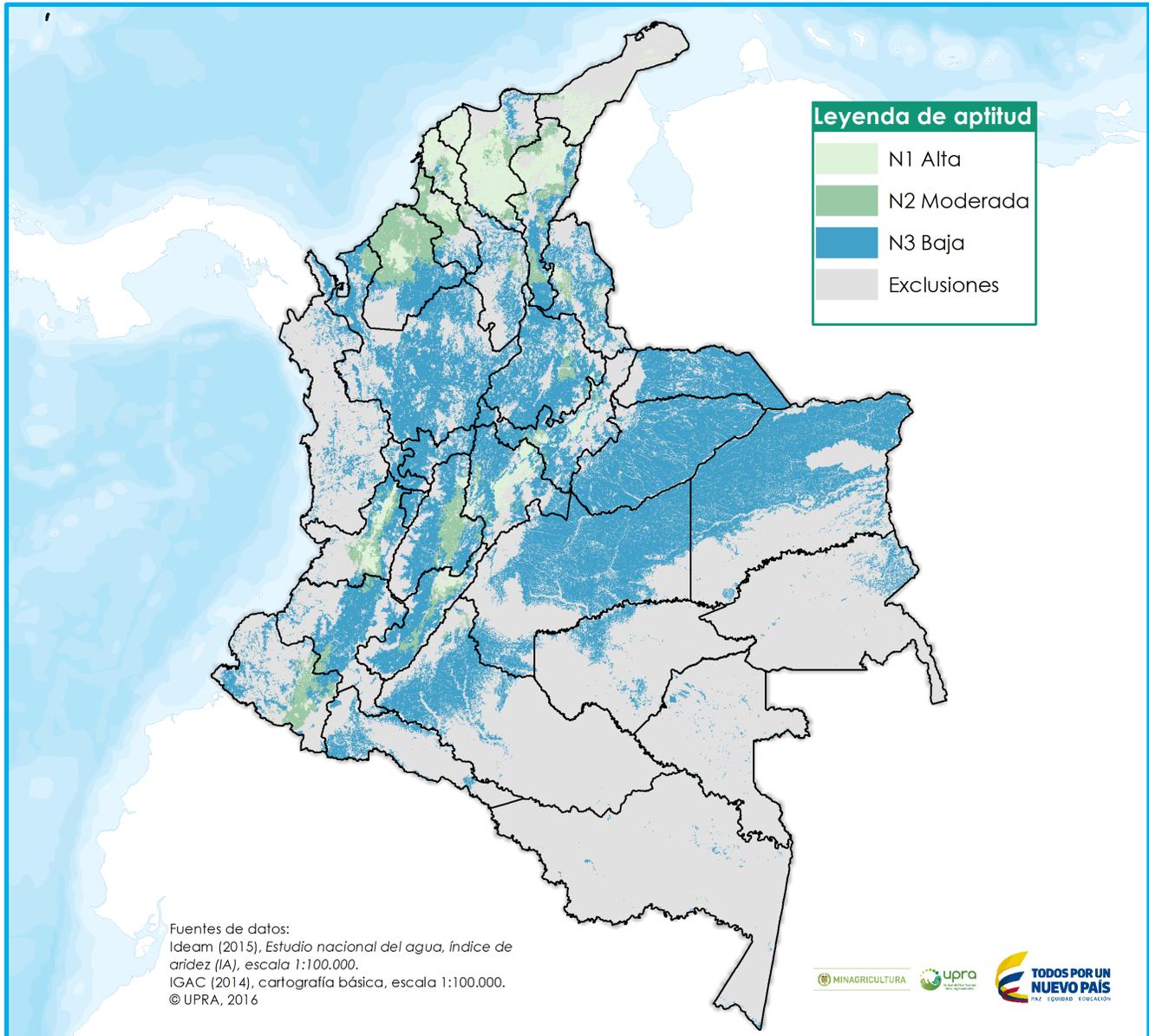
Resultado	Área (ha)	% país
Tipo 1	860.299	0,8
Tipo 2	5.912.774	5,2
Tipo 3	10.961.764	9,6
Tipo 4	7.580.832	6,6
Tipo 5	2.575.503	2,3
Tipo 6	15.808.349	13,9

El país cuenta con el 24,5 % de tierras con fines de irrigación, equivalente a 27.891.173 ha, donde la tipología 3 predomina, con el 9,6 % del territorio continental, correspondiente a las zonas irrigables con especificaciones de riego especializadas.

## 4.2. Componente recurso hídrico superficial

### 4.2.1. Necesidad del recurso hídrico superficial

#### RESULTADO



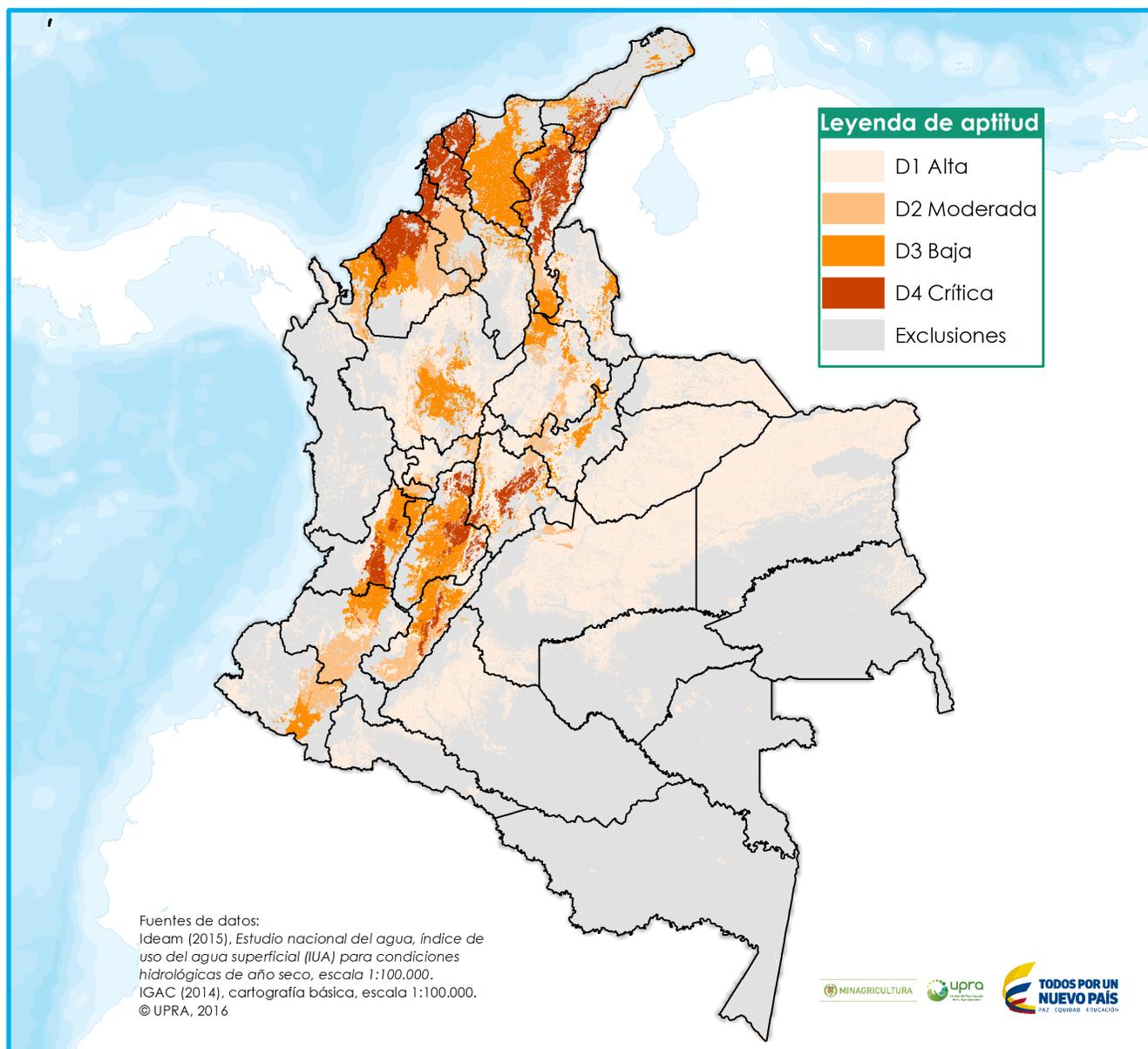
## NECESIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL COMPONENTE RECURSO HÍDRICO

Resultado	Área (ha)	% país
N1: alta	4.208.875	3,7
N2: moderada	4.320.089	3,8
N3: baja	35.170.435	930,8

En términos generales, el sector agropecuario tiene una necesidad hídrica en 43.699.399 ha, predominando la necesidad baja (N3), en términos anuales acumulados.

4.2.2. Disponibilidad del recurso hídrico superficial

RESULTADO



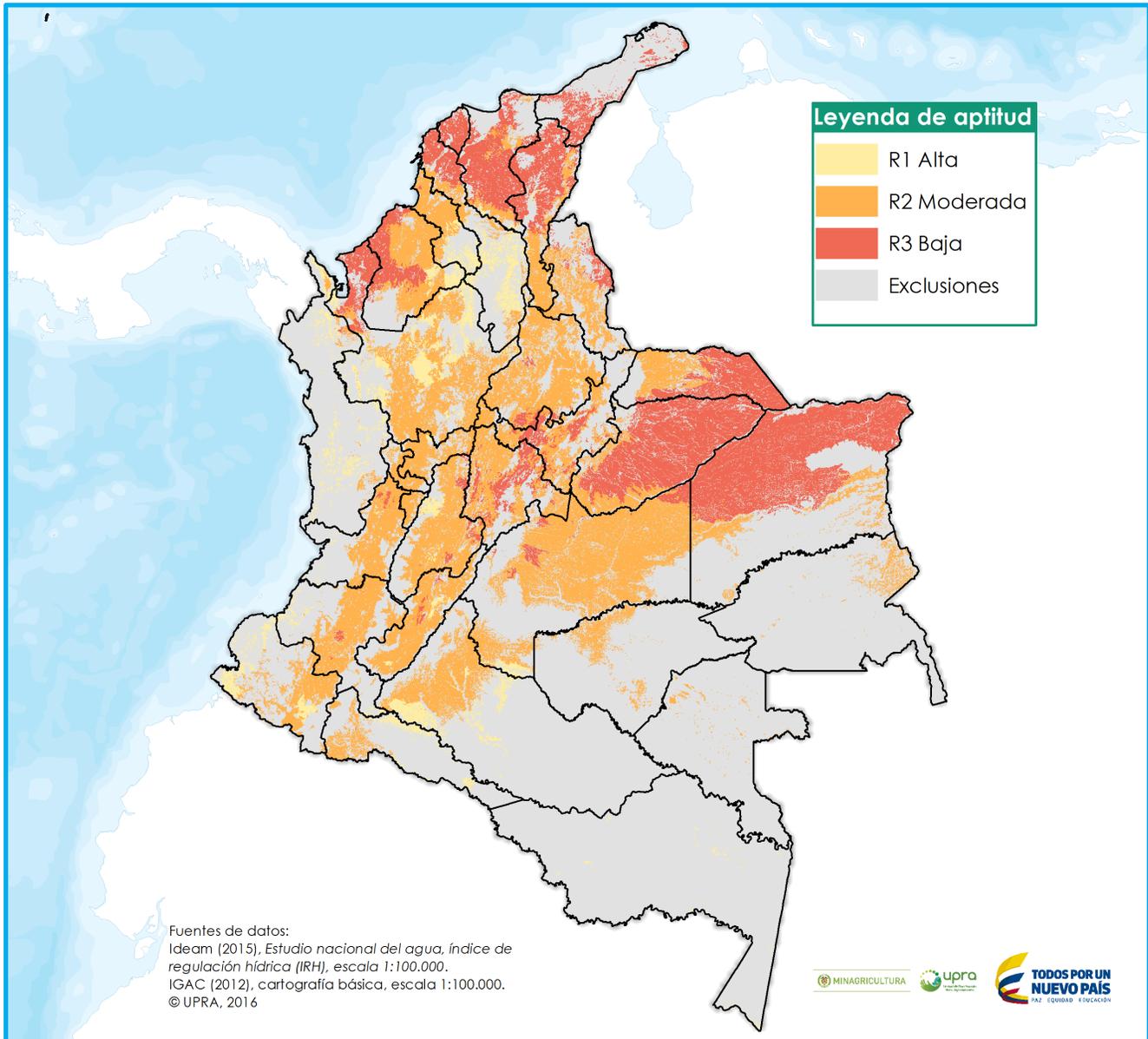
**DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL**  
COMPONENTE RECURSO HÍDRICO

Resultado	Área (ha)	% país
D1: alta	29.120.419	25,5
D2: moderada	4.010.815	3,5
D3: baja	7.044.744	6,2
D4: crítica	3.523.424	3,1

De acuerdo con la disponibilidad hídrica del país, el sector agropecuario puede disponer medianamente del recurso en 33.131.234 ha (D1 y D2) y tiene una disponibilidad insuficiente en 10.568.288 ha (D3 y D4).

4.2.3. Regulación del recurso hídrico superficial

RESULTADO



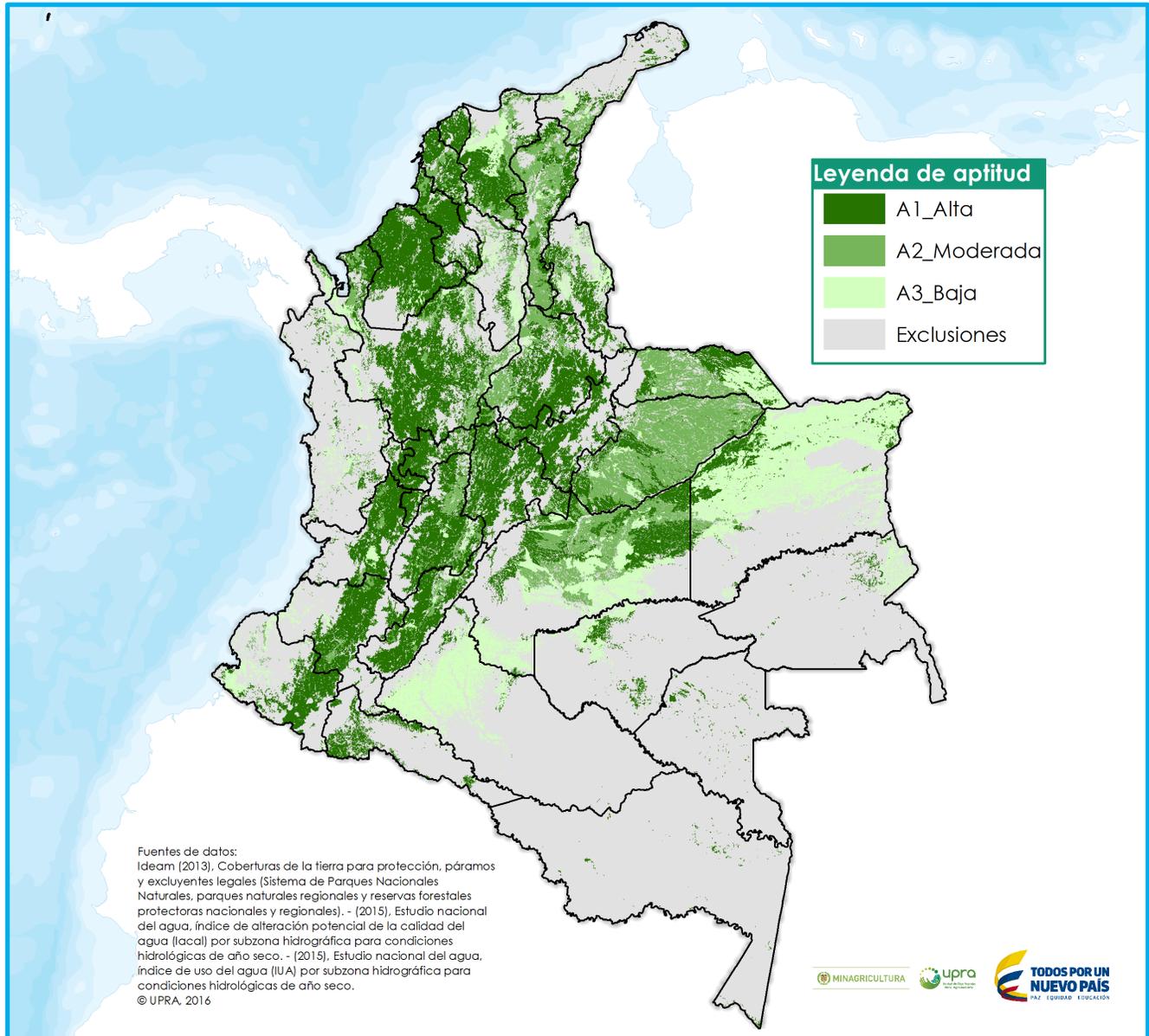
**REGULACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL**  
COMPONENTE RECURSO HÍDRICO

Resultado	Área (ha)	% país
R1: alta	3.709.314	3,3
R2: moderada	25.399.887	22,3
R3: baja	14.590.321	12,8

Aunque Colombia posee algunas zonas con baja necesidad y alta disponibilidad hídrica superficial, la mediana regulación de sus cuencas, con 39.990.208 ha (R2 y R3), hacen que se tenga en cuenta este criterio para proyectos de adecuación de tierras.

### 4.3. Componente ecosistémico

#### RESULTADO



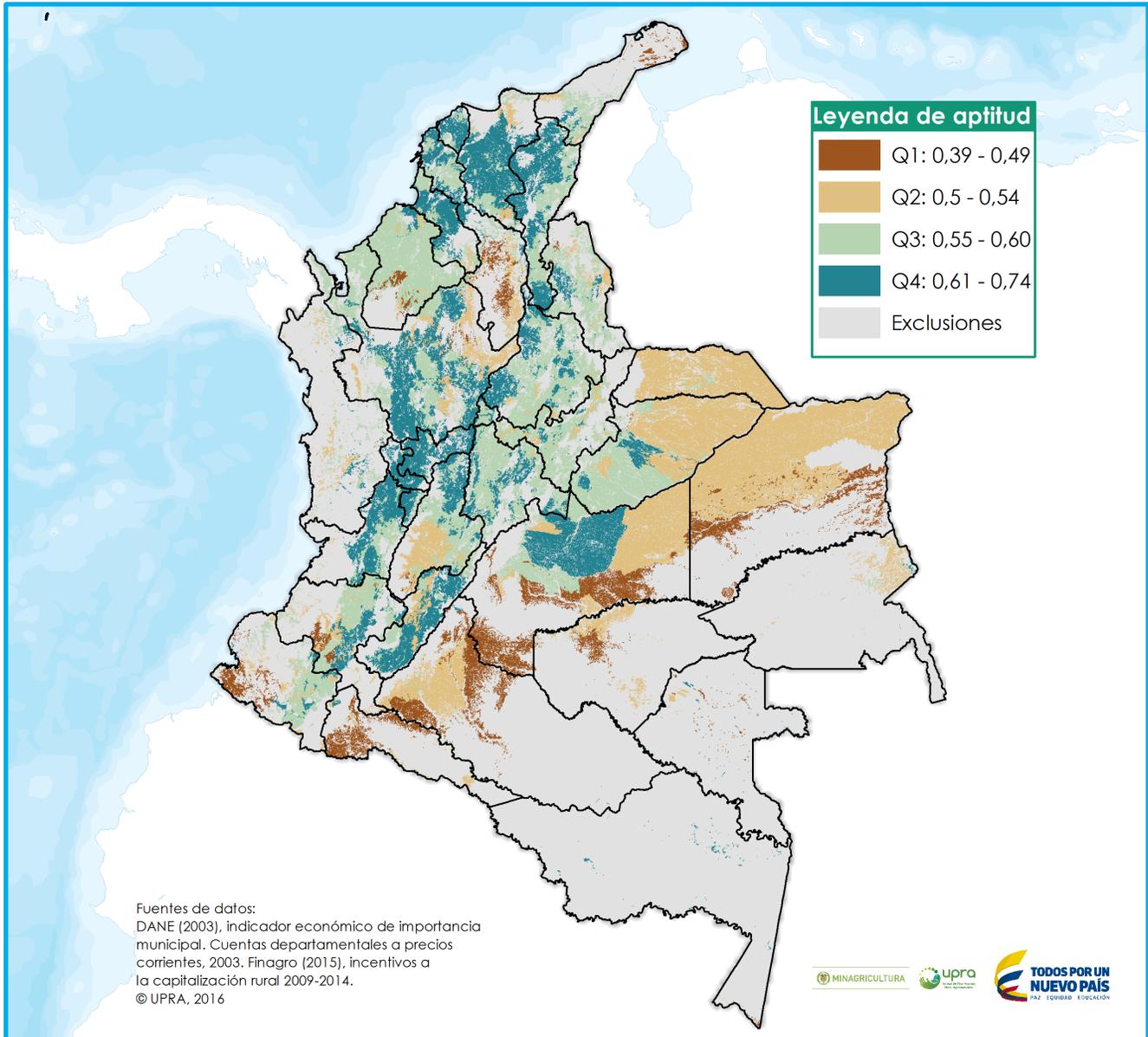
### COMPONENTE ECOSISTÉMICO

Resultado	Área (ha)	% país
A1: alta	23.085.676	20,2
A2: media	9.412,882	8,3
A3: baja	11.200.722	9,8

Cabe resaltar que aunque Colombia es un país con grades áreas de intervención humana, para la adecuación de tierras tiene una aptitud ecosistémica con diferentes grados en 43.699.280 ha.

#### 4.4. Componente socioeconómico

##### RESULTADO



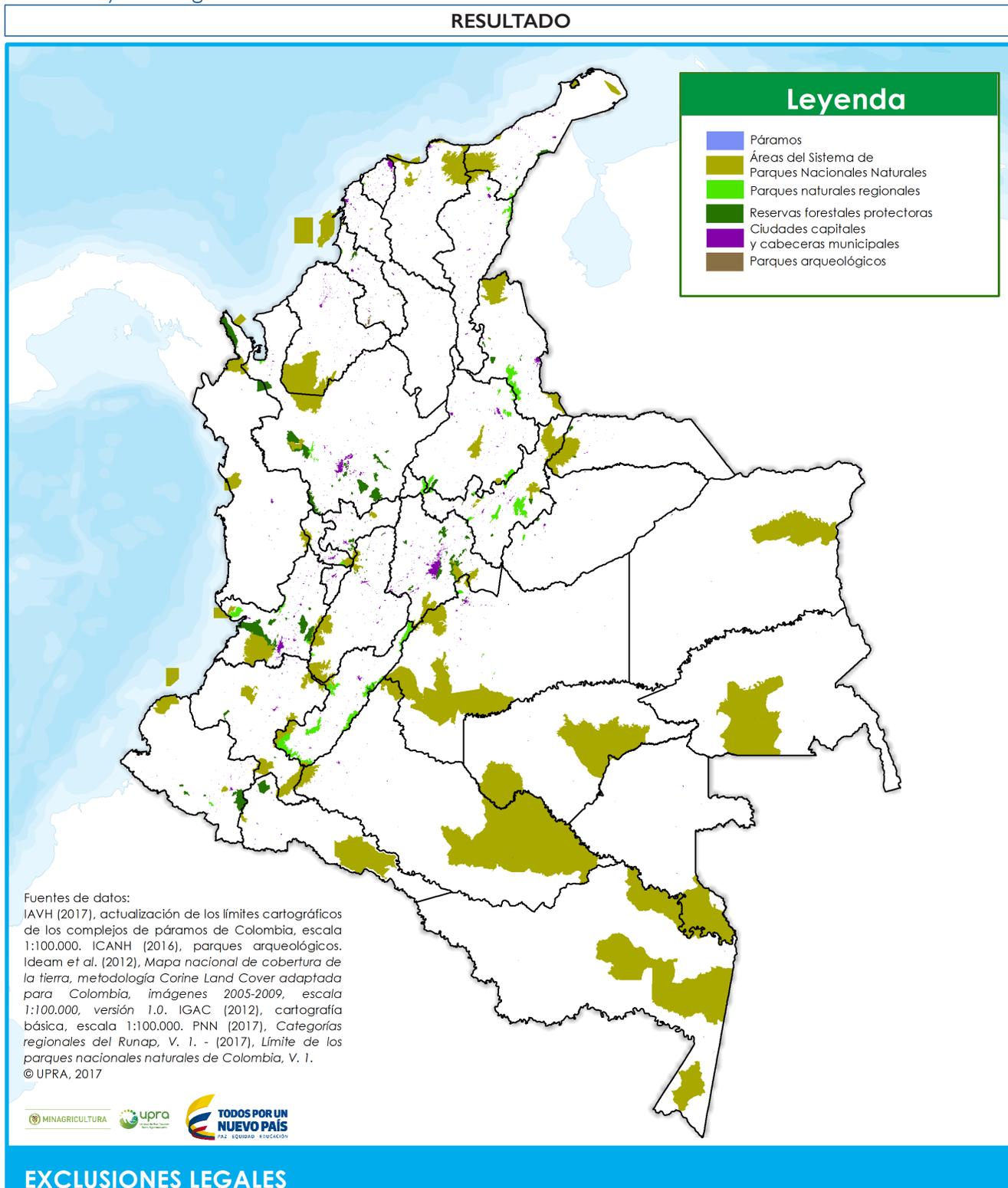
### COMPONENTE SOCIOECONÓMICO

Resultado	Área (ha)	% país
Q1: cuartil 1	4.454.448	3,9
Q2: cuartil 2	14.146.186	12,4
Q3: cuartil 3	14.022.022	12,3
Q4: cuartil 4	11.073.327	9,7

Aunque la distribución de este componente es relativa, los valores del ICMS variaron entre 0,39 y 0,74. Cabe recordar que estos valores están en función de los reportes de las variables a nivel municipal, son dinámicos y se clasifican estadísticamente por cuartiles.

## 4.5. Excluyentes y condicionantes de la ZTI

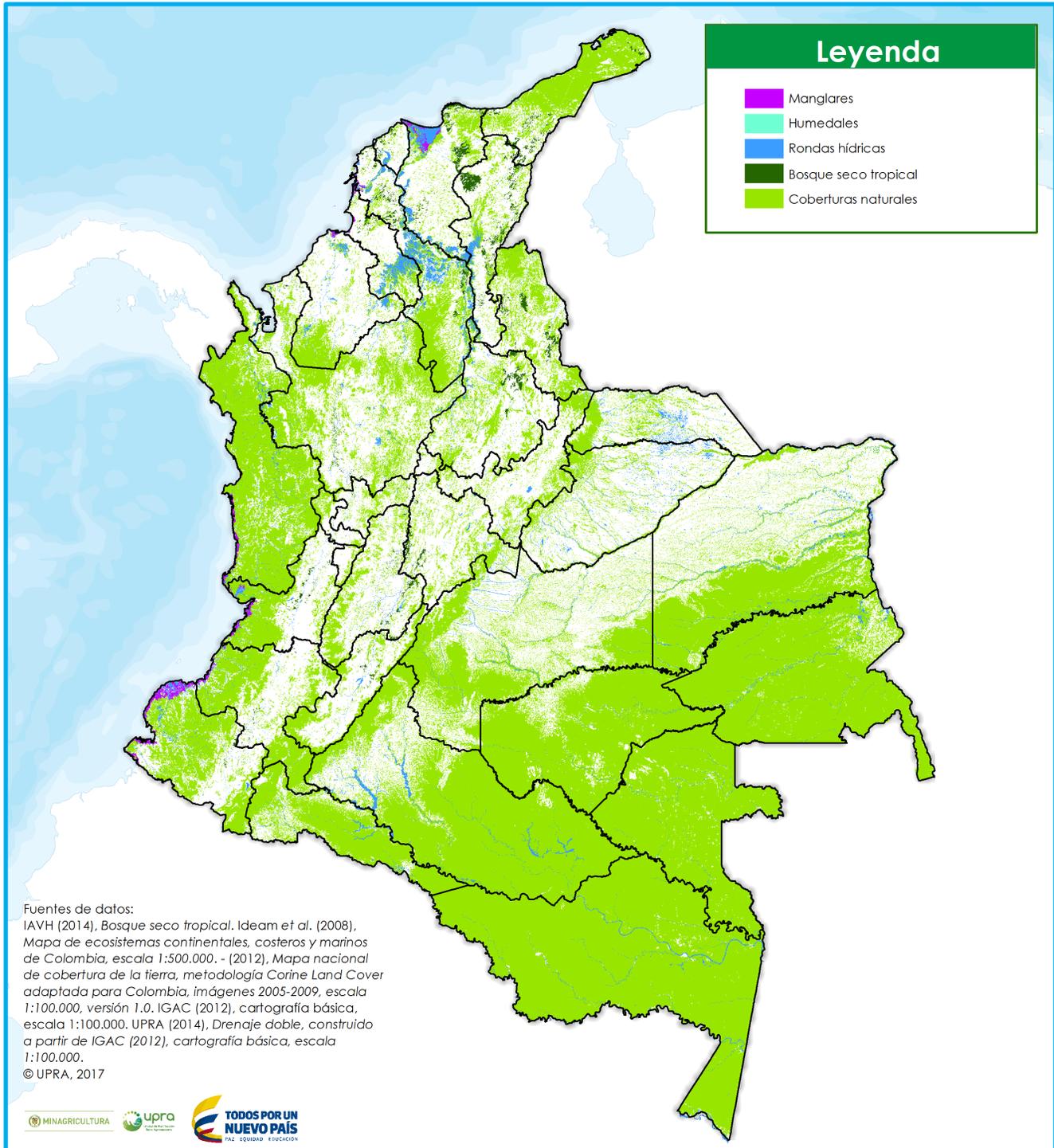
### 4.5.1. Excluyentes legales



Para la ZTI, en Colombia se excluye legalmente el 14,2 % del área continental para proyectos de adecuación de tierras (16.242.601 ha).

4.5.2. Excluyentes técnicos

RESULTADO



**Leyenda**

- Manglares
- Humedales
- Rondas hídricas
- Bosque seco tropical
- Coberturas naturales

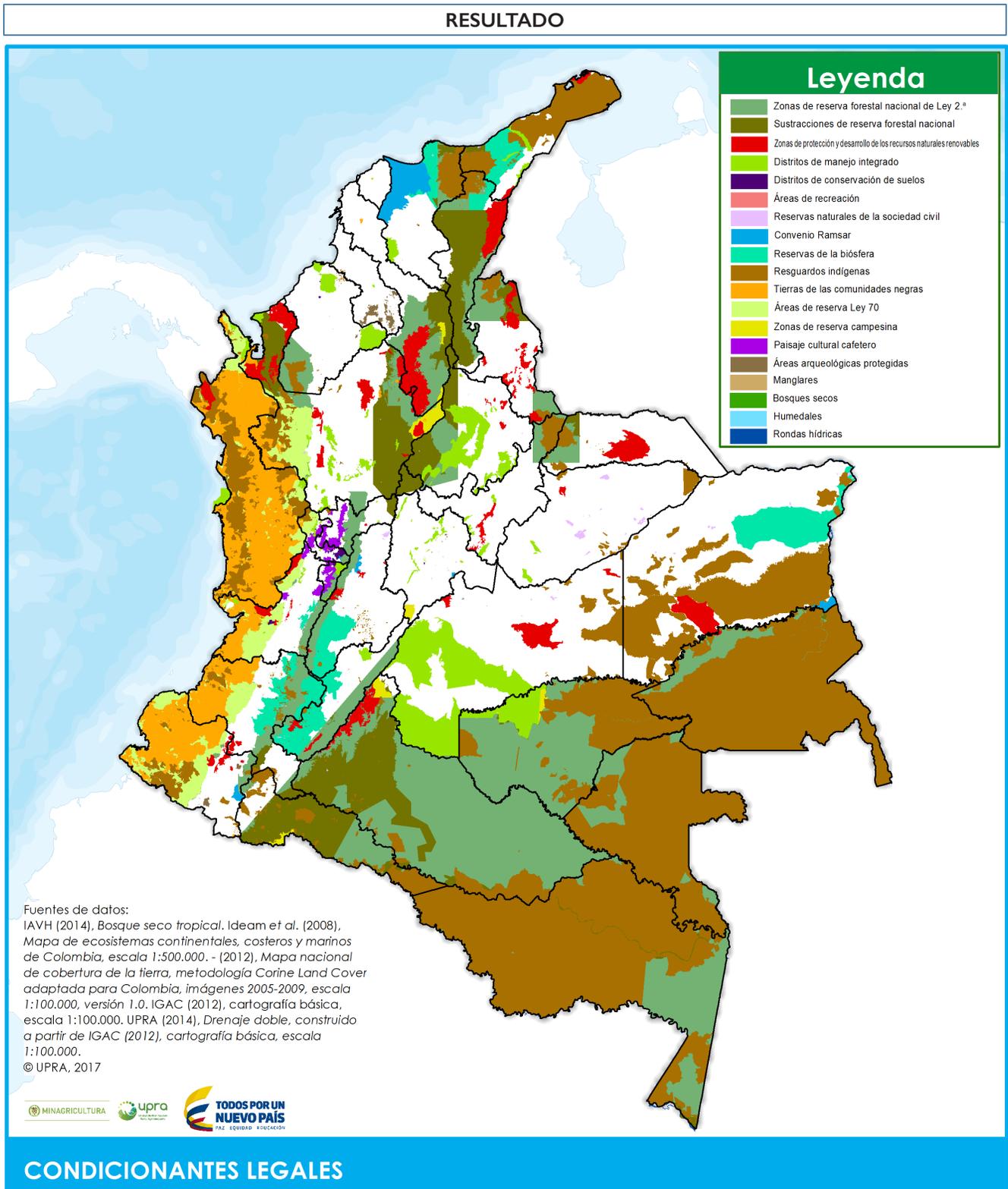
Fuentes de datos:  
 IAVH (2014), *Bosque seco tropical*. Ideam et al. (2008), *Mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia*, escala 1:500.000. - (2012), *Mapa nacional de cobertura de la tierra, metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia, imágenes 2005-2009*, escala 1:100.000, versión 1.0. IGAC (2012), *cartografía básica*, escala 1:100.000. UPRA (2014), *Drenaje doble, construido a partir de IGAC (2012), cartografía básica*, escala 1:100.000.  
 © UPRA, 2017



**EXCLUSIONES TÉCNICAS**

Para la ZTI, se excluye técnicamente para proyectos de adecuación de tierras el 47,5 % del área continental (54.127.876 ha).

4.5.3. Condicionantes legales



Colombia presenta distintas condiciones de uso del territorio, las cuales se definieron en función de la ZTI.

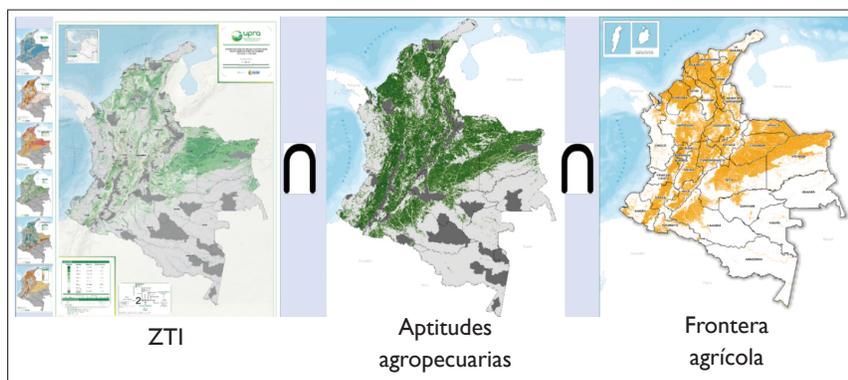


# 5. ÁREAS POTENCIALES CON FINES DE IRRIGACIÓN PARA PRIORIZACIÓN DE PROYECTOS DE ADECUACIÓN DE TIERRAS

Como instrumento de planificación, se delimitaron las áreas potenciales de adecuación de tierras (APADT) con fines de irrigación a partir de la zonificación presentada en esta investigación, como línea base para la identificación y priorización para los proyectos de adecuación de tierras en Colombia.

Para el establecimiento de las áreas potenciales, se realizó una intersección entre el mapa ZTI, la sumatoria de mapas de aptitud de cultivos realizados al año 2017 por la UPRA y el mapa de frontera agrícola (figura 8).

Figura 8. Intersección de mapas para la generación de APADT

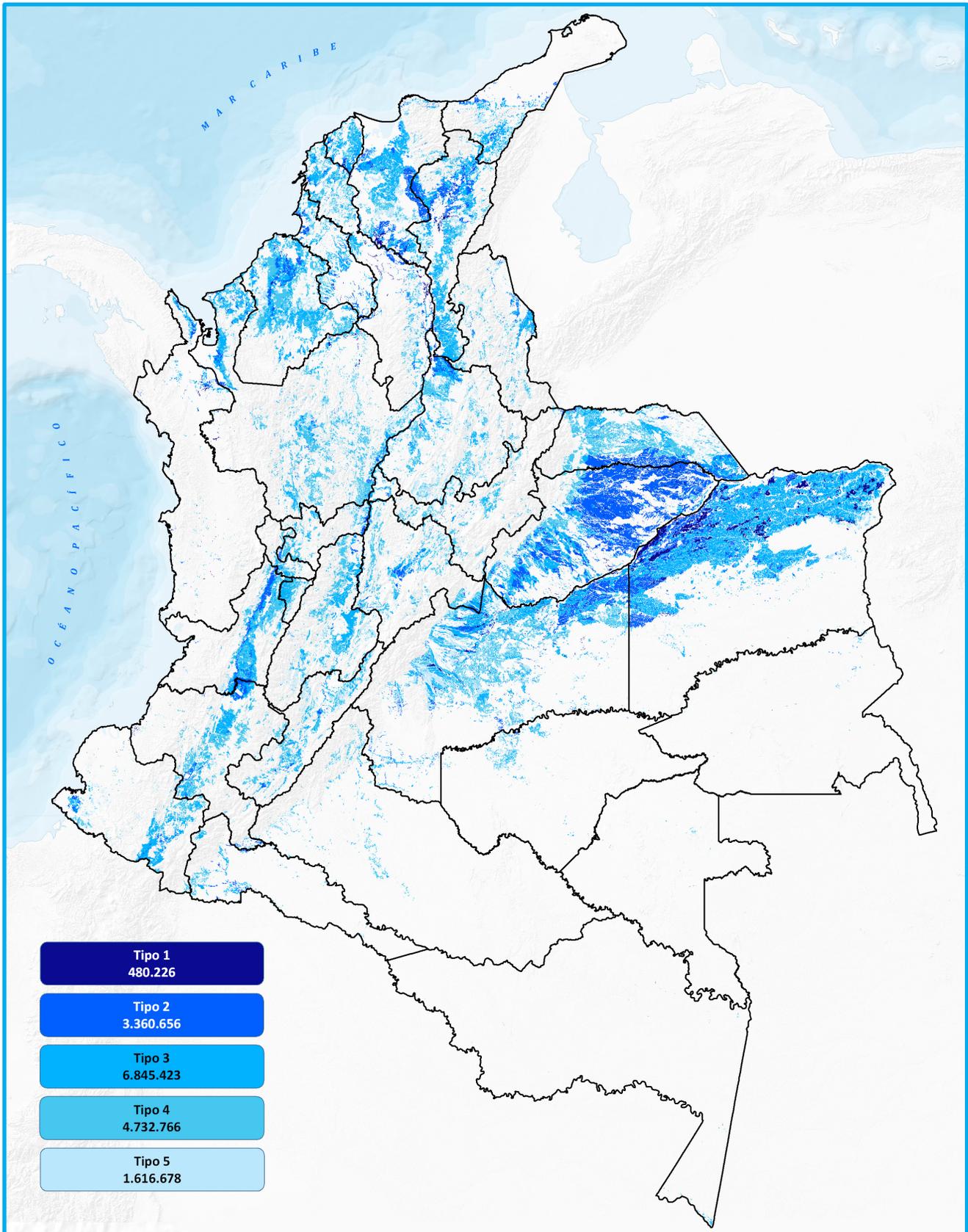


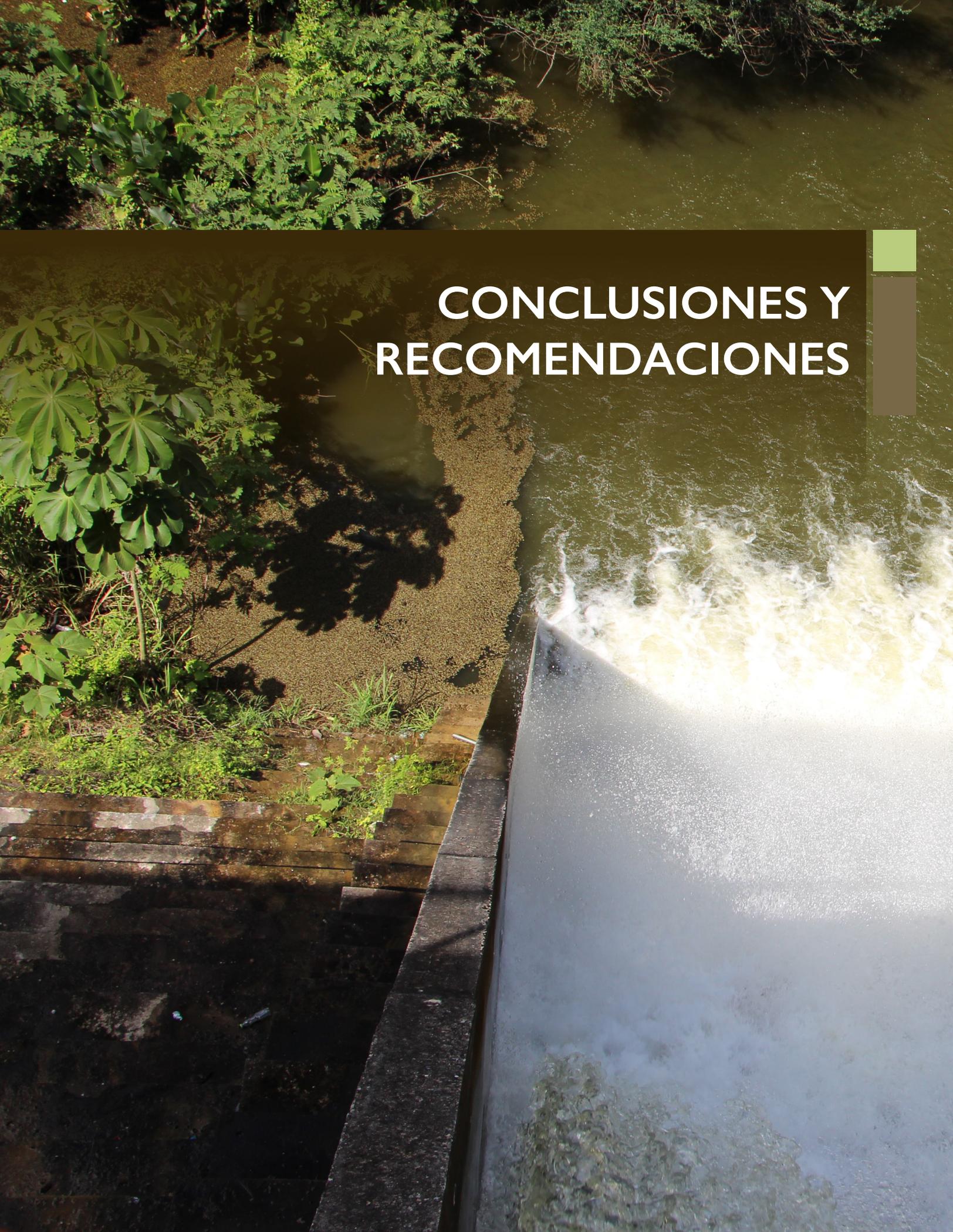
Como resultado, se obtuvo el mapa de APADT que se presenta a continuación, con un total de 17.035.749 ha, es decir, 15 % del territorio colombiano, distribuidas por tipologías de la siguiente manera:

- Tipo 1, con 480.226 ha
- Tipo 2, con 3.360.656 ha
- Tipo 3, con 6.845.423 ha
- Tipo 4, con 4.732.766 ha
- Tipo 5, con 1.616.678 ha

Según las condiciones biofísicas del territorio, predominan las tierras tipo 3, correspondientes al 6 % del territorio colombiano, la cual indica un potencial para sistemas de riego especializados, en función de las condiciones edafológicas y topográficas del lugar, donde se presentan tierras de topografía ligeramente a moderadamente plana, con textura livianas, que no presenten afectación de sales y sodio, y que por su condición textural son vulnerables a erosión hídrica. Para la aplicación de riegos frecuentes, se limita la utilización de métodos de riego por inundación; de igual manera, la aplicación de estos métodos de riego en suelos livianos conlleva pérdidas considerables de agua por percolación profunda, al utilizar métodos de riego por superficie. Los métodos de riego a presión (aspersión, microaspersión y goteo) no tienen ninguna limitante en esta tipología de tierras.

ÁREAS POTENCIALES DE ADECUACIÓN DE TIERRAS CON FINES DE IRRIGACIÓN





# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En los estudios anteriores de zonificación consultados, por lo general, se hace un gran énfasis en la definición o selección de regiones óptimas a escalas detalladas para el desarrollo de proyectos de adecuación de tierras, con base en variables hidrológicas y biofísicas, que aunque son fundamentales, dejan de lado el supuesto de la racionalidad del recurso hídrico, ecosistémico y socioeconómico, influyente para la toma de decisiones en cuanto a la planificación.

Por ello, es relevante considerar que el presente estudio contenga el análisis en estos aspectos porque permite complementar y enriquecer el análisis de otras situaciones, al poder realizar una estimación de las posibles oportunidades esperadas en determinadas regiones, con la posibilidad de priorizar un proyecto a discreción del tomador de decisión, lo que lo convierte en una herramienta para planificación en la adecuación de tierras.

Es importante resaltar que la ZTI fue un proceso de identificación y aplicación de distintos componentes dentro de la zonificación, lo cual constituye un elemento innovador en los procesos de planificación para la adecuación de tierras que se han llevado a cabo en el país e incluso en el ámbito internacional. El esfuerzo se ha concentrado en la elaboración de un marco metodológico, a través de la identificación de componentes y criterios, y con la construcción de una base conceptual sólida, apuntando, más allá de estos primeros resultados, a un proceso de planificación territorial sectorial que continúe en los próximos años.

Desde el componente ecosistémico, se ha realizado una primera aproximación conceptual y metodológica a la integración de criterios ecosistémicos para la identificación de áreas con aptitud para la adecuación de tierras. De acuerdo con los criterios técnicos y legales ecosistémicos definidos, se obtuvo que un área total de 70.370.476 ha en el país se excluyen de la posibilidad de implementar proyectos de adecuación de tierras, mientras que las restantes tienen algún grado de aptitud para ese fin.

En cuanto al componente socioeconómico, para efectos de estudios regionales de prefactibilidad y de eficiencia al estimar las bondades de inversión, es necesario estudiar con detalle la información en términos de infraestructura de adecuación de tierras, con el fin de determinar los costos de inversión y operación, al igual que la validación de los costos de producción y estimativos de rendimiento. No obstante, los resultados obtenidos permiten apreciar de manera generalizada una condición social y económica en la irrigación, con relación al ICSM, ya que se trata de un indicador multidimensional que refleja un estado actual de condiciones municipales, que es un proxy del desarrollo económico, social y de la responsabilidad en manejo político y administrativo por parte de las autoridades locales. Su interpretación, para efectos de inversión pública, como ya se había mencionado, debe ser responsabilidad de las instancias políticas o privadas, conforme a la prioridad de inversión, en términos del fomento de la competitividad o de equidad social.

En un sentido general, se considera que la zonificación realizada adquirirá más valor aún cuando se pueda cruzar con los resultados de las zonificaciones de tipos de utilización de la tierra de cadenas

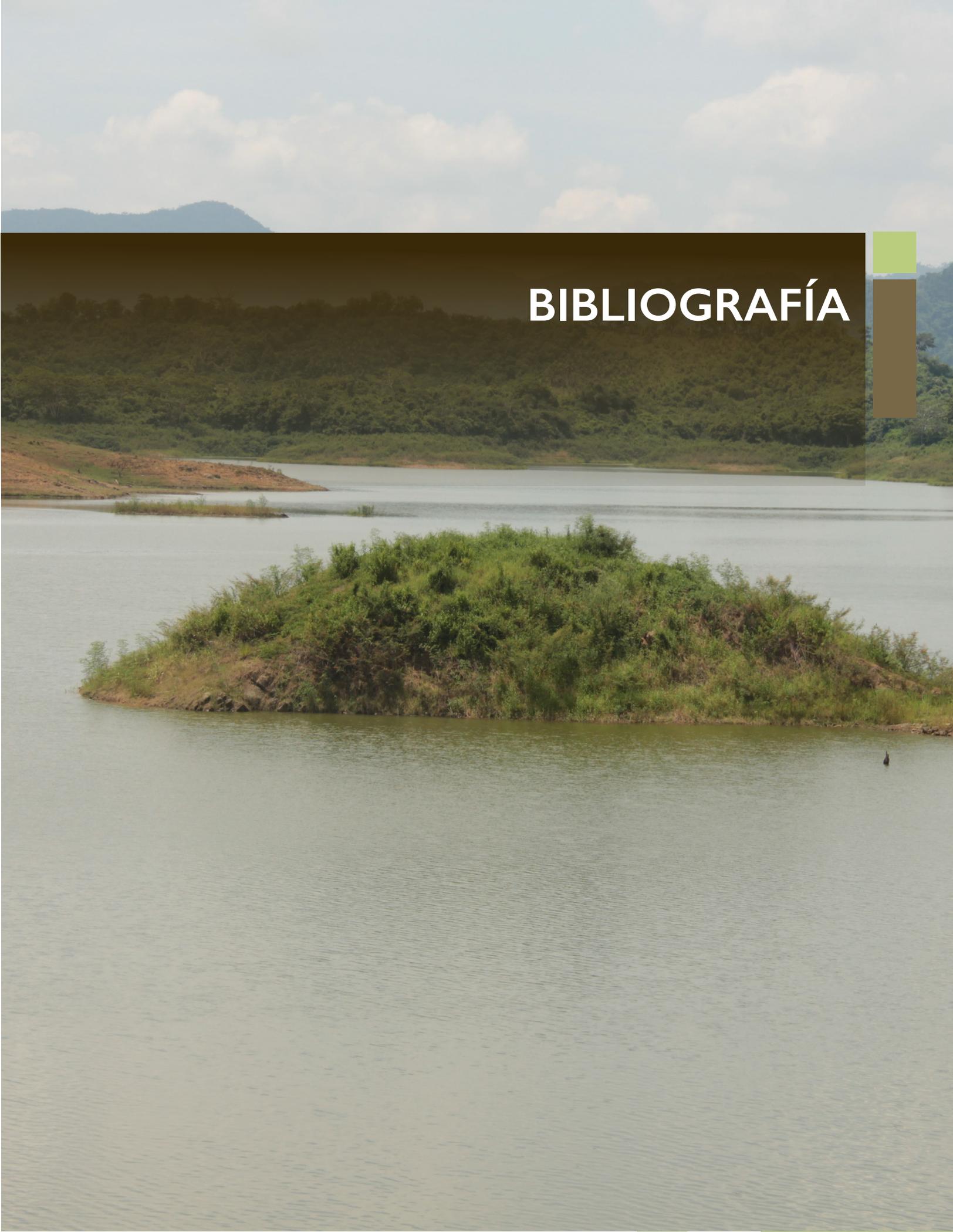
productivas que la UPRA viene adelantando. Esos análisis suplirían la necesidad de contar con una referencia de uso adecuado del suelo con la que no se contó para esta primera versión de la zonificación, ya que incluirían de esa forma criterios complementarios a la vocación agrológica del suelo.

Por tal razón, se considera necesario seguir avanzando en la construcción metodológica para la aplicación de la zonificación. Es indispensable reforzar la metodología aplicada en este proceso, especialmente mediante la participación de expertos y actores interesados en sus resultados, para trabajar sobre la base de lo aquí propuesto, en términos de una validación conceptual y metodológica, y de procedimientos específicos como la ponderación de indicadores y criterios. En este sentido, se considera importante involucrar tanto a actores del sector agropecuario como del sector ambiental.

La aptitud para la adecuación de tierras depende en gran parte de recursos naturales y servicios ecosistémicos cuya condición es dinámica en el tiempo, principalmente el agua, y depende en gran parte de las condiciones ambientales del territorio, especialmente de la cuenca hidrográfica. Ese carácter dinámico se hace aún más evidente en el marco del actual cambio climático, el cual ha agudizado la variabilidad climática en nuestro país. Sin lugar a dudas, debe asegurarse que este marco cambiante sea tenido en cuenta en la planificación del sector agropecuario y del subsector de adecuación de tierras, en cualquiera de las fases de planificación.

Debido también a ese carácter dinámico del territorio y de los recursos hídricos, se recomienda que este proceso de zonificación sea actualizado periódicamente, en un principio cada cinco años, como herramienta de identificación de áreas por priorizar, y en momentos posteriores, como herramienta para el monitoreo de las condiciones de favorabilidad para programas y proyectos que ya hayan comenzado a implementarse.

Sin lugar a dudas, esa actualización requerirá de información actualizada, fundamentalmente en lo relacionado con el recurso hídrico. En este sentido, la UPRA debe articularse con las demás entidades encargadas de la generación de información sobre recursos naturales y servicios ecosistémicos en el país, para generar requerimientos de información actualizada, la cual debe seguir mejorando en su nivel de detalle y calidad, en el caso de la información que ya se viene generando, pero también requiriendo y generando información novedosa (indicadores) en los casos en que sea necesario.



# BIBLIOGRAFÍA

Alberta Agriculture, Food and Rural Development. (2004a). *Procedures manual for the classification of land for irrigation in Alberta*. Alberta (Canadá): Alberta Agriculture, Food and Rural Development, 101 pp.

-. (2004b). *Standards for the classification of land for irrigation in the province of Alberta*. Alberta (Canadá): Alberta Agriculture, Food and Rural Development, 28 pp.

Alberta Environment and Sustainable Resource Development. (2012). *Water act. Guideline for preparing agricultural feasibility reports for irrigation projects*. Alberta (Canadá): Alberta Environment and Sustainable Resource Development, 14 pp.

BirdLife International y Conservation International. (2005). *Áreas importantes para la conservación de las aves en los Andes tropicales: sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad*. Serie de Conservación de BirdLife no. 14. Quito (Ecuador).

Consejo Superior de la Judicatura. (2010). *Constitución Política de Colombia 1991. Actualizada con los actos legislativos hasta 2010*. Bogotá, D. C. (Colombia): Consejo Superior de la Judicatura.

Corzo, G. (2008). *Áreas prioritarias para la conservación in situ de la biodiversidad continental en Colombia*. Bogotá, D. C. (Colombia): Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales.

Dengiz, O. (2006). «Comparison of different irrigation methods based on parametric evaluation approach». En *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, núm. 30, pp. 21-29.

Empresa Brasileira de Investigación Agropecuaria (Embrapa). (2008). *Avaliação detalhada do potencial de terras para irrigação nas áreas de reassentamento de colonos do Projeto Jusante, área 3, Glória*. Recife (Brasil): Embrapa Solos, pp. 110.

-. (2011). *Sistema brasileiro de classificação de terras para irrigação enfoque na região semiárida*. 2.ª edición. Río de Janeiro (Brasil): Embrapa Solos, 164 pp.

-. (2014a). «Geotecnologias aplicadas do zoneamento agroecológico do estado do Mato Grosso do Sul». En *Soc. & Nat.*, 26, vol. 1, núm. 17, Uberlândia (Brasil), pp. 171-187.

-. (2014b). «Uso de imagens orbitais e suborbitais na caracterização da variabilidade espacial da produtividade». En *RB Gráfica Digital Eireli*. Brasília, DF (Brasil).

Franco, A. M.; Devenish, C.; Barrero, M. C. y Romero, M. H. (2009). «Colombia». En: C. Devenish, D. F.; Díaz Fernández, R. P.; Clay, I. Davidson e I. Yépez Zabala (Eds.). *Important Bird Areas Americas. Priority sites for biodiversity conservation*. Quito (Ecuador): BirdLife International.

Galindo, G.; Pedraza, C.; Betancourt, F.; Moreno, R. y Cabrera, E. (2007). *Planeación ambiental del sector hidrocarburos para la conservación de la biodiversidad en los llanos de Colombia*. Convenio de cooperación 05-050. Bogotá, D. C. (Colombia): IAVH.

Groves, C.; Valutis, L.; Vosick, D.; Neely, B.; Wheaton, K.; Touval, J. y Runnels, B. (2000). *Diseño de una geografía de la esperanza. Manual para la planificación de la conservación ecorregional*. Segunda ed., vol. I y II. s. l.: The Nature Conservancy.

Gurrutxaga, M. y Lozano, P. (2008). «Evidencias sobre la eficacia de los corredores ecológicos: ¿solucionan la problemática de la fragmentación de hábitats?». En *Observatorio Medioambiental*, vol. 11, pp 171-183.

Hasan Reza, M. I. y Abdullah, S. A. (2011). «Regional index of ecological integrity: a need for sustainable management of natural resources». En *Ecological Indicators*.

Holzapfel, E.; Arumí, J.; Rodríguez, A. y Da Silva, V. (2012). «Geographic information system supported farm irrigation system design and planning». En *Water Resources and Irrigation Management (WRIM)*, vol. 1, núm. 1. Campina Grande (Brasil): Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas & Instituto Nacional do Semiárido, pp. 7-14.

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAVH). (2015a). BioModelos. Recuperado de <[http://biomodelos.humboldt.org.co/home/about\\_us](http://biomodelos.humboldt.org.co/home/about_us)>.

-. (2015b). *Áreas importantes para la conservación de las aves (AICAs)* [sic]. Bogotá, D. C. (Colombia): IAVH.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). (2010a). *Estudio nacional del agua 2010*. Bogotá, D. C. (Colombia): Ideam.

-. (2010b). *Leyenda nacional de coberturas de la tierra. Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia, escala 1:100.000*. Bogotá, D. C. (Colombia): Ideam. 72 pp.

-. (2013). *Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia*. Bogotá, D. C. (Colombia): Ideam.

-. (2015a). *Estudio nacional del agua 2014*. Bogotá, D. C. (Colombia). 496 pp.

-. (2015b). *Zonificación de la degradación de suelos por erosión. Área continental de Colombia, escala 1:100.000. Línea base 2010-2011*. Bogotá, D. C. (Colombia): Ideam.

IGAC, MADR, MADS, MVCT, Incoder, Corpoica, Ideam, UAESPNN, IAVH, Invemar, Sinchi, Ingeominas, DNP, DANE, ICA, ANH, ICANH, Asocars, Conservación Internacional, CIAT, Fedecafé y Fedearroz.

(2012). *Conflictos de uso del territorio colombiano, escala 1:100.000*. Bogotá, D. C. (Colombia): IGAC.

Instituto Colombiano de Desarrollo Rural (Incoder). (2008). *Manual de normas técnicas básicas para proyectos de adecuación de tierras*. Bogotá, D. C. (Colombia): Incoder.

Lal, R. (2001). «Soil degradation by erosion». En *Land Degradation & Development*, vol. 12, núm. 6, pp. 519-539, doi:10.1002/ldr.472.

Mackey, B. (s. f.). «La integridad ecológica: un compromiso hacia la vida en la Tierra». En P. Corcoran (Ed.), *La carta de la Tierra en acción*. Ámsterdam: KIT Publishers BV. Recuperado de <<http://www.earthcharterinaction.org/invent/images/uploads/Mackey.pdf>>.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). (s. f.). *Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE)*. Bogotá, D. C. (Colombia): MADS.

Márquez Calle, G. (2003). *Ecosistemas estratégicos de Colombia*. Recuperado de <<http://www.sogeocol.edu.co/documentos/07ecos.pdf>>.

Martín-López, B.; Gómez-Baggethun, E. y Montes, C. (2009). «Un marco conceptual para la gestión de las interacciones naturaleza-sociedad en un mundo cambiante». En *Cuaderno Interdisciplinar de Desarrollo Sostenible (Cuides)*, núm. 3. Recuperado de <<http://www.ecomilenio.es/wp-content/uploads/2010/10/Martin-et-al-2009-CUIDES.pdf>>.

Martín-López, B.; González, J.; Díaz, S.; Castro, I. y García-Llorente, M. (2007). «Biodiversidad y bienestar humano: el papel de la diversidad funcional». En *Ecosistemas*, vol. 16, núm. 3, pp. 69-80.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT). (2010a). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Bogotá D. C. (Colombia): MAVDT, 124 pp.

-. (2010b). *Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible*. Bogotá, D. C. (Colombia): MAVDT, 71 pp.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) e Instituto Nacional de Adecuación de Tierras (INAT). (2003). *Guía ambiental para la construcción y operación de proyectos de adecuación de tierras*. Bogotá, D. C. (Colombia): MAVDT e INAT.

Mitchell, M. E.; Bennett, E. y González, A. (2013). «Linking landscape connectivity and ecosystem service provision: current knowledge and research gaps». En *Ecosystems*, vol. 16, núm. 5, pp. 894-908. doi:10.1007/s10021-013-9647-2.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2002). *Política Nacional para Humedales Interiores de Colombia. Estrategias para su conservación y uso sostenible*. Bogotá, D. C. (Colombia): MMA.

MMA e IAVH. (1999). *Humedales interiores de Colombia. Bases técnicas para su conservación y uso sostenible*. Bogotá, D. C. (Colombia): MMA e IAVH.

Mustafa A. A. et al. (2011). «Land suitability analysis for different crops: a multi criteria decision making approach using remote sensing and GIS». En *Researcher*, vol. 3, núm. 12. Recuperado de <<http://www.sciencepub.net/researcher>>, pp. 24.

Noss, R. (2000). «High-risk ecosystems as foci for considering biodiversity and ecological integrity in ecological risk assessments». En *Environmental Science & Policy*, vol. 3, núm. 6, pp. 321-332.

NSW Agriculture. (2002). *Agricultural land classification. The State of New South Wales*. M. Dignand (Ed.). Wagga Wagga (Australia): NSW Agriculture, 15 pp.

Organización de las Naciones Unidas (ONU). (1992). *Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB)*. s. l.: ONU.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (1979). *Soil survey investigations for irrigation*. Roma (Italia), 190 pp.

-. (1985). «Guidelines: land evaluation for irrigated agriculture». En *FAO Soils Bulletin* 55.

-. (2014). *Informe FAO Argentina: asistencia técnica y apoyo en la definición de una metodología multicriterio para la identificación de potenciales áreas de riego complementario*. s. l.: FAO.

Pizano, C. y García, H. (Eds.). (2014). *El bosque seco tropical en Colombia*. Bogotá, D. C. (Colombia): IAVH.

Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNNC). (2008). *Estrategia nacional de monitoreo del Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia*. Bogotá, D. C. (Colombia): PNNC.

-. (2012). *Prioridades de conservación nacional*. Bogotá, D. C. (Colombia): PNNC. Recuperado de <<http://geonetwork.parquesnacionales.gov.co/geonetwork/srv/spa/main.home?uuid=c3e28657-f00b-4bdf-b54e-066699d8bd1f>>.

Proaves. (2014). *El estado de las aves en Colombia 2014: evaluando las prioridades de conservación y protección de la avifauna colombiana. Conservación colombiana 20*. Bogotá, D. C. (Colombia): Fundación Proaves.

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). (2013). *Consolidación de la metodología general de evaluación de tierras para la zonificación con fines agropecuarios a nivel nacional*. Bogotá, D. C. (Colombia): UPRA.

-. (2014a). *Lineamientos, criterios e instrumentos generales para el proceso de adecuación de tierras*. Bogotá, D. C. (Colombia): UPRA.

-. (2014b). Lineamientos, criterios e instrumentos generales y específicos para el proceso de adecuación de tierras. Bogotá, D. C. (Colombia): UPRA.

-. (2014c). *Zonificación para plantaciones forestales con fines comerciales: Colombia, escala 1:100.000. Memoria técnica*. Bogotá, D. C. (Colombia): UPRA.

-. (2015a). *Línea base de la Dirección de Uso Eficiente del Suelo y Adecuación de Tierras*. Bogotá, D. C. (Colombia): s. e.

-. (2015b). *Lineamientos, criterios e instrumentos técnicos específicos para la etapa de preinversión de proyectos de adecuación de tierras*. Bogotá, D. C. (Colombia): UPRA.

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) y Servicio de Conservación de los Recursos Naturales (NRCS). (2003). *Soil survey of San Luis Obispo County, California, Carrizo Plain Area*. California (EUA): USDA-NRCS, 620 pp.

-. (2006). *Soil Survey of Harper County, Oklahoma*. Oklahoma (EUA): USDA-NRCS, 648 pp.

-. (2007a). *Soil Survey of Kay County, Oklahoma*. Oklahoma (EUA): USDA-NRCS, 127 pp.

-. (2007b). *Soil Survey of Stanislaus County, California, Northern Part*. California (EUA): USDA-NRCS, 352 pp.

-. (2015). *Illustrated guide to soil taxonomy*. Versión 2. Nebraska (EUA): USDA-NRCS.

Vélez, L. y Gómez, A. (2008). «Un marco conceptual y analítico para estimar la integridad ecológica a escala de paisaje». En *ARBOR Ciencia, Pensamiento y Cultura*, vol. 184, núm. 729, pp. 31-44.

Verheye, W. (2009). «Land evaluation systems other than the FAO system». En *Land Use, Land Cover and Soil Sciences*, vol. II. Bélgica: Unesco-EOLSS Publishers, pp. 9.



# ANEXO FICHAS METODOLÓGICAS

### Estructura general de las fichas

COMPONENTE	CRITERIO	VARIABLE
FÍSICO	Edafológico	Textura del suelo
		Estructura del suelo
		Profundidad del horizonte superficial
		Paisaje
		Fertilidad del suelo
		Salinidad del suelo
		Reacción del suelo (pH)
		Grado de erosión actual del suelo
	Topográfico	Pendiente del terreno
		Tamaño del predio
Longitud del recorrido para riego superficial		
RECURSO HÍDRICO	No aplica	Necesidad del recurso hídrico superficial
		Disponibilidad del recurso hídrico superficial
		Regulación del recurso hídrico superficial
ECOSISTÉMICO	Uso sostenible del suelo rural	Uso sostenible del agua superficial
		Calidad del agua superficial
	Conservación de la biodiversidad y sus servicios ecosistémicos	Distribución de la riqueza de especies
		Áreas importantes para la conservación de las aves (AICA)
		Prioridades de conservación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (Sinap)
		Conectividad estructural de las coberturas naturales (CECN)
		Índice de prestación de servicios ecosistémicos (IPSE)
SOCIOECONÓMICO	Infraestructura	Isócronas viales a centros poblados
		Isócronas de puertos marítimos
		Isócronas de puertos fluviales
		Cobertura del acueducto rural, recálculo 2012
		Índice de cobertura de energía eléctrica (ICEE) rural 2014
	Mano de obra	Índice de ruralidad
	Tamaño de los predios rurales y formalidad de la propiedad	Porcentaje de área de predios grandes
		Porcentaje de área de predios microfundio
		Porcentaje de informalidad de la propiedad rural
	Institucionalidad	Índice de desempeño integral municipal
		Porcentaje de inversión en el sector agropecuario 2013-2014
	Asociativas	Asociaciones y entidades solidarias 2014
	Seguridad	Promedio de accidentes e incidentes por minas antipersonas 2010-2014
		Promedio de acciones armadas 2010-2014
		Tasa de desplazamiento forzado 2010-2014
		Tasa de homicidios 2010-2014

FICHA METODOLÓGICA DE CRITERIO	
COMPONENTE: FÍSICO	
CRITERIO: EDAFOLÓGICO	
TIPO DE CRITERIO: Delimitador	
VARIABLES ASOCIADAS AL CRITERIO	Textura del suelo
	Estructura del suelo
	Profundidad del horizonte superficial
	Paisaje
	Fertilidad del suelo
	Salinidad del suelo
	Reacción del suelo (pH)
	Grado de erosión actual del suelo

### DEFINICIÓN

Características físicas y químicas que afectan la idoneidad del suelo para la producción sostenible de agricultura bajo riego y cuyo análisis permite determinar la extensión de la tierra para tal fin. Estas características fueron seleccionadas y analizadas bajo el panorama actual y bajo un análisis predictivo, una vez la tierra fuera objeto de la aplicación de agua de riego.

Las variables edafológicas para la determinación de la zonificación se han dividido en variables permanentes y modificables en el tiempo. Las variables permanentes son aquellas que han sido determinadas por los materiales parentales y por algunos factores de formación que no pueden cambiar en el corto plazo; adicionalmente, se caracterizan porque, en general, no son alterables con la práctica del riego. Las variables modificables son aquellas que pueden ser alteradas a través de acciones llevadas a cabo en forma regular sobre el suelo, que pueden ser ocasionadas por la adecuación de tierras antes de la aplicación del riego; además, también pueden ser modificadas por medio de las prácticas del manejo del agua del riego.

### IMPORTANCIA DEL CRITERIO

La evaluación y el análisis del recurso suelo es la base de cualquier proyecto de riego, constituye el primer paso y es el factor determinante para establecer su viabilidad, de aquí que sean las variables edafológicas, junto con el criterio topográfico, las que delimiten las áreas y determinen la potencialidad de las mismas.

Se tuvieron en cuenta ocho (8) variables edafológicas, todas ellas relevantes para la clasificación de tierras en materia de adecuación de las mismas, algunas relacionadas directamente con características hidrodinámicas del suelo y otras, con características que afectan el establecimiento de cultivos.

### LIMITANTES DE LA EVALUACIÓN DEL CRITERIO

La información de suelos existente no presenta una cobertura total del territorio nacional a una escala unificada, por lo cual no se posee información de algunas características de interés para riego y drenaje que normalmente son determinadas en estudios de escala semidetallada (1:25.000) o mayores, y donde actualmente se encuentran a escala general (1:100.000).

Inicialmente se contempló trabajar con dieciocho (18) variables: textura, estructura, profundidad del horizonte superficial, tipo de relieve, porosidad, densidad aparente, presencia de  $\text{CaCO}_3$  en la superficie del suelo, infiltración básica, conductividad hidráulica saturada, retención de humedad, fertilidad del suelo, drenaje interno del suelo, profundidad del nivel freático, salinidad del suelo, sodio intercambiable, reacción del suelo (pH), densidad y tamaño de las rocas en la zona de raíces, y grado de erosión actual del suelo, pero dada la ausencia de información, de estas, se seleccionaron ocho (8).

Dada la escala nacional de trabajo, 1:100.000, y la ausencia de información de variables relevantes para riego, el índice de calificación del criterio, que afecta directamente la influencia de este en la zonificación, se vio disminuido frente al criterio topográfico. La clasificación de un área con una potencialidad específica puede cambiar con nueva información sobre el comportamiento y la respuesta del suelo cuando el riego esté disponible o se adelanten prácticas de manejo.

**ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DEL CRITERIO:** 0,7

### METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

La evaluación de este criterio se llevó a cabo mediante la multiplicación de los valores de los índices de calificación de cada una de las variables que lo componen; los índices de calificación toman un valor entre cero (0) y uno (1), donde cero (0) representa la menor potencialidad y uno (1), la mayor potencialidad para desarrollar proyectos de riego. Adicionalmente, guardan una relación estrecha con los métodos de riego potencialmente desarrollables; los valores cercanos a cero (0) se asocian a sistemas de riego presurizados, con aplicación de agua localizada, bajo impacto erosivo sobre el suelo, que en términos generales se traduce en tierras con mayores restricciones para la aplicación del riego y demanda métodos específicos de aplicación; los valores cercanos a uno (1) se asocian a todos los métodos, incluidos los de aplicación de agua superficial, además de los presurizados antes mencionados. Las áreas con índices de calificación cercanas a uno (1) son tierras con las menores restricciones para el desarrollo de proyectos de riego y permiten cualquier método de aplicación de agua con fines de riego agropecuario. Los valores de los índices de calificación fueron asignados por especialistas, lo que permite generar una base de conocimiento cuyo motor de inferencia es el modelo espacial.

Estos índices de calificación de rangos de clases se multiplican con las demás variables del mismo criterio y, finalmente, por el índice de calificación del criterio. Se puede expresar por medio de la siguiente ecuación:

$$E = ICE \times (ICV1 \times ICV2 \times ICVi \times \dots \times ICVn)$$

Donde:

$E$  = calificación del criterio edafológico

$ICE$  = índice de calificación del criterio edafológico

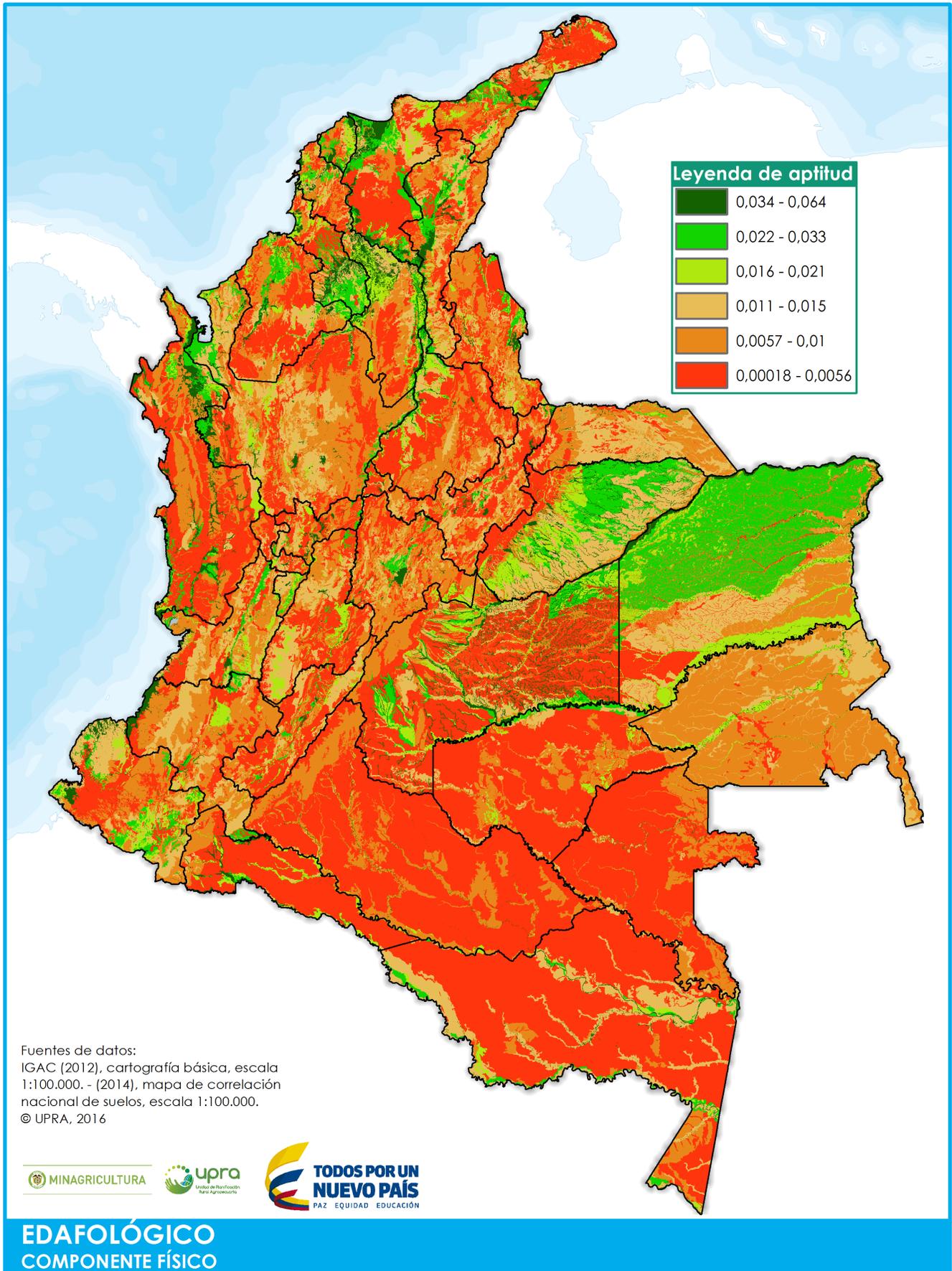
$V_i$  = índice de calificación del atributo de cada variable asociada al criterio edafológico

### RANGOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE CALIFICACIÓN

Componente	Criterio	Índice de calificación
Físico	Edafológico	0,7

### FUENTES DE INFORMACIÓN

Autores del documento.



## FICHA METODOLÓGICA DE VARIABLE

COMPONENTE: FÍSICO	
CRITERIO: EDAFOLÓGICO	
VARIABLE: TEXTURA DEL SUELO	
TIPO DE VARIABLE: Delimitador	
ATRIBUTOS ASOCIADOS A LA VARIABLE	Arenosa
	Franco arenosa
	Franca
	Franco arcillosa
	Arcillo limosa
	Arcillosa

**DEFINICIÓN**

Característica física permanente del suelo. Describe las proporciones relativas de tres grupos de tamaño de partículas o fracciones menores a 2 mm, definidas en arena, limo y arcilla.

**IMPORTANCIA DE LA VARIABLE**

La importancia de esta variable respecto a la clasificación de tierras para el riego radica en su relación con las dos condiciones generales que se requieren del mismo para promover la producción de cultivos irrigables, las cuales son:

- La textura debe ser adecuada para permitir las operaciones de cultivos necesarios y oportunos.
- La capacidad de retención de humedad disponible debe ser adecuada y estar acorde con el método propuesto de riego y los patrones de los cultivos.

Por su naturaleza, guarda estrecha relación con otras variables físicas del suelo tales como la infiltración, la conductividad hidráulica, la capacidad de retención de humedad, entre otras.

**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 que dificulta la asignación de un valor único y representativo de la unidad. Se adopta la textura del primer horizonte del perfil con el componente taxonómico de mayor representatividad de la unidad cartográfica del suelo. Estas asunciones disminuyen la precisión y obvian los cambios de textura a lo largo del perfil (vertical) y dentro de cada unidad cartográfica de suelos (horizontal). Por lo tanto, es posible tener algunos sectores dentro de cada unidad de suelos con texturas de diferente calificación.

**ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE: 1****METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN**

La evaluación de esta variable se realizó con base en criterio experto: las texturas se agruparon en seis (6) rangos de clase y a cada uno de los rangos se le asignó un índice de calificación entre cero (0) y uno (1), donde los valores más altos fueron asignados a texturas en las que

la aplicación del riego resulta más eficiente por su relación directa con una alta capacidad de retención de humedad y, en general, por ser la idónea para el desarrollo de la mayoría de cultivos; asimismo, son las menos susceptibles a afectaciones negativas como compactación y anegamientos.

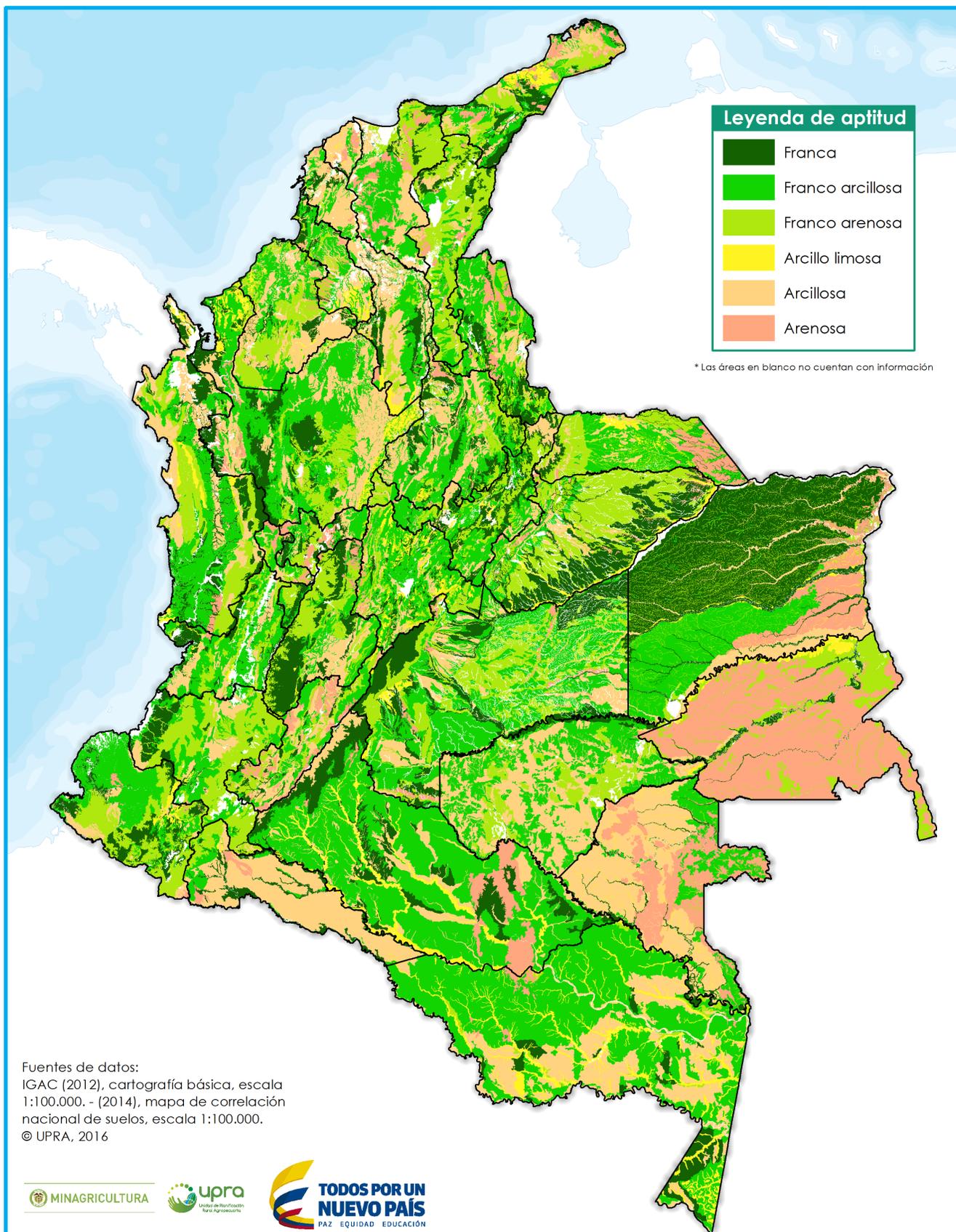
### RANGOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE CALIFICACIÓN

Variable	Característica	Índice de calificación
Textura del suelo	Arenosa	0,4
	Franco arenosa	0,7
	Franca	1
	Franca arcillosa	0,8
	Arcillosa limosa	0,6
	Limosa	0,5

Se asigna un número de rangos igual que a sus relacionados. Los seis atributos de textura han sido recomendados por la FAO (1979, 1985).

### FUENTES DE INFORMACIÓN

IGAC. (2014). *Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000.*



**Legenda de aptitud**

	Franca
	Franco arcillosa
	Franco arenosa
	Arcillo limosa
	Arcillosa
	Arenosa

\* Las áreas en blanco no cuentan con información

Fuentes de datos:  
IGAC (2012), cartografía básica, escala 1:100.000. - (2014), mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000.  
© UPRA, 2016



**VARIABLE TEXTURA DEL SUELO**  
COMPONENTE FÍSICO - CRITERIO EDAFOLÓGICO

### FICHA METODOLÓGICA DE VARIABLE

COMPONENTE: FÍSICO

CRITERIO: EDAFOLÓGICO

VARIABLE: ESTRUCTURA DEL SUELO

TIPO DE VARIABLE: Delimitador

ATRIBUTOS ASOCIADOS A LA VARIABLE

Granular y migajosa

En bloques o en bloques subangulares

Prismática y columnar

Laminar

Sin estructura (masiva, grano suelto)

#### DEFINICIÓN

Característica física permanente que describe la naturaleza y la forma como se acomodan las partículas del suelo para constituir agregados. Una gran cantidad de poros de mayor tamaño y llenos de aire se asocia con agregados estables y a un suelo productivo.

#### IMPORTANCIA DE LA VARIABLE

La estructura del suelo afecta directamente la aireación, el movimiento del agua en el suelo, la conducción térmica, el crecimiento radicular y la resistencia a la erosión. El agua es el componente elemental que afecta la estructura del suelo con mayor importancia debido a su solución y precipitación de minerales, y a sus efectos en el crecimiento de las plantas.

#### 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 que dificulta la asignación de un valor único y representativo de la unidad. Se adopta la estructura del primer horizonte del perfil con el componente taxonómico de mayor representatividad de la unidad cartográfica del suelo. Estas asunciones disminuyen la precisión y obvian los cambios de estructura a lo largo del perfil (vertical) y dentro de cada unidad cartográfica de suelos (horizontal). Por lo tanto, es posible tener algunos sectores dentro de cada unidad de suelos con estructuras de diferente calificación.

Su determinación no se realiza por métodos de laboratorio estándar, por lo que está sujeta a la subjetividad de quien califica la estructura, asignando una calificación cualitativa. Para efectos de la presente zonificación, se asigna un índice numérico de calificación transformándola a cuantitativa.

**ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE:** 0,6

#### METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

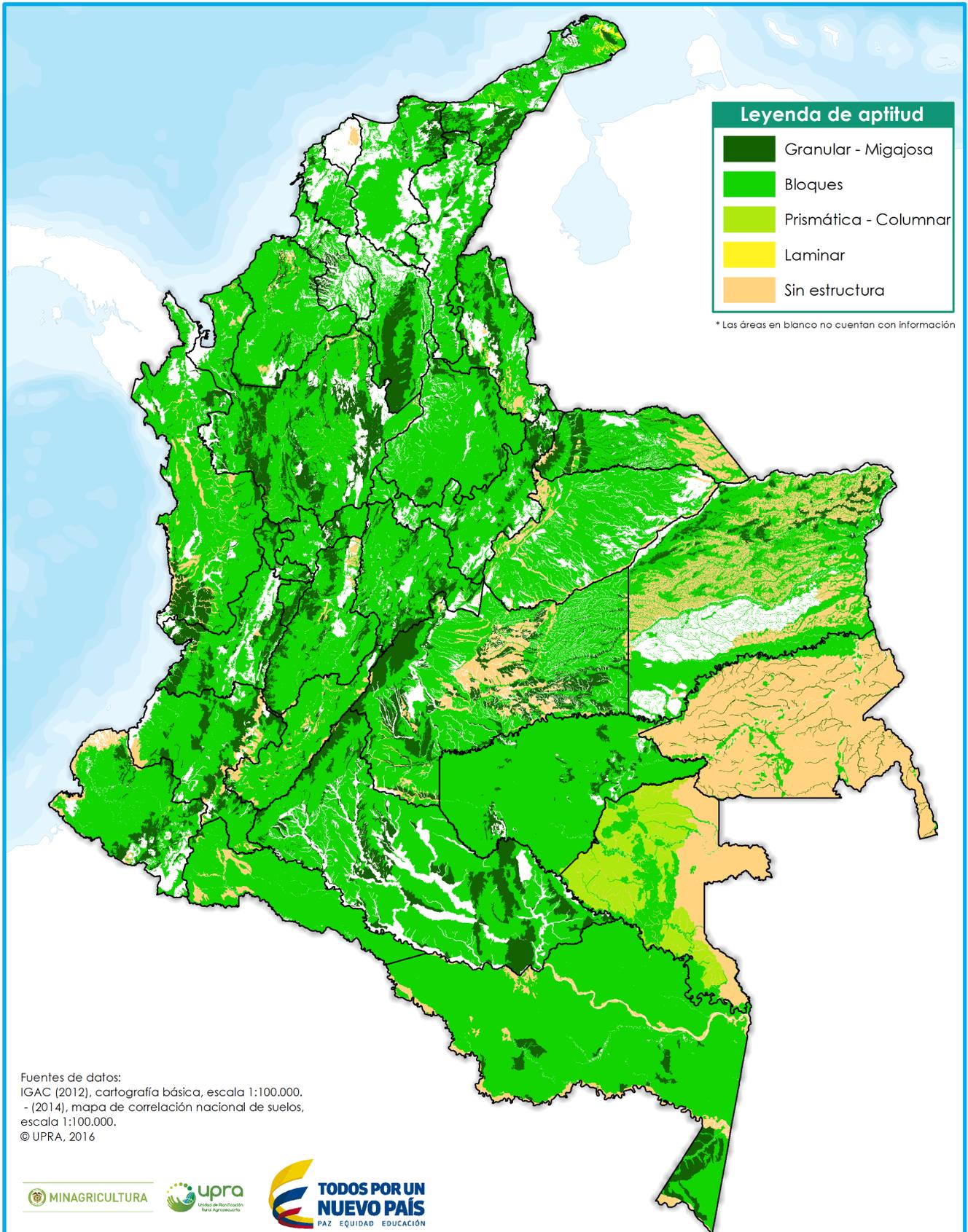
La evaluación de esta variable se realizó con base en criterio experto: las estructuras se agruparon en cinco (5) rangos de clase y a cada uno de los rangos se le asignó un índice de calificación entre cero (0) y uno (1), donde los valores más altos fueron asignados a estructuras en las que la aplicación del riego resulta más adecuada y por lo tanto, son menos susceptibles a afectaciones negativas.

**RANGOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE CALIFICACIÓN**

Variable	Característica	Índice de calificación
Estructura del suelo	Granular y migajosa	1
	En bloques o en bloques subangulares	0,8
	Prismática y columnar	0,6
	Laminar	0,3
	Sin estructura (masiva, grano suelto)	0,9

**FUENTES DE INFORMACIÓN**

IGAC. (2014). *Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000.*



**VARIABLE ESTRUCTURA DEL SUELO**  
**COMPONENTE FÍSICO - CRITERIO EDAFOLÓGICO**

## FICHA METODOLÓGICA DE VARIABLE

COMPONENTE: FÍSICO

CRITERIO: EDAFOLÓGICO

VARIABLE: PROFUNDIDAD DEL HORIZONTE SUPERFICIAL

TIPO DE VARIABLE: Delimitador

ATRIBUTOS ASOCIADOS A LA VARIABLE

Poco profundo (&lt; 25 cm)

Moderadamente profundo (25-75 cm)

Profundo (&gt; 75 cm)

**DEFINICIÓN**

Medida de longitud vertical tomada desde la superficie del suelo hasta el límite del primer horizonte identificado y definido en el perfil.

**IMPORTANCIA DE LA VARIABLE**

Para fines de riego y drenaje, esta variable es de particular importancia en el diseño de nivelación de tierras para aplicación de métodos de riego por superficie y, desde luego, en la toma de decisiones sobre si un determinado predio está o no en condiciones de ser sometido a un proceso de nivelación sin que se altere negativamente su nivel de productividad.

De manera adicional, la profundidad del horizonte define las propiedades que determinan en gran parte el volumen de agua que el suelo puede almacenar para las plantas. Con frecuencia, a mayor profundidad, mayor densidad aparente y menor porosidad de tamaños medios y grandes. La raíz de las plantas profundizará hasta donde las condiciones de aireación y drenaje le permitan respirar adecuadamente.

En sistemas de riego presurizado (goteo/microaspersión), la profundidad del suelo pasa a segundo término.

**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 que dificulta la asignación de un valor único y representativo de la unidad. Se adopta la profundidad del primer horizonte del perfil con el componente taxonómico de mayor representatividad de la unidad cartográfica del suelo. Estas asunciones disminuyen la precisión y obvian los cambios de profundidad dentro de cada unidad cartográfica de suelos. Por lo tanto, es posible tener algunos sectores dentro de cada unidad de suelos con profundidades del horizonte superficial diferentes.

La profundidad del horizonte superficial es una de las características del suelo que presentan mayor variabilidad espacial porque está estrechamente ligada con la topografía, específicamente la pendiente, las coberturas *in situ* y las áreas que afectan la escorrentía; además, es susceptible de ser modificada por acciones antrópicas o naturales en cortos periodos de tiempo.

**ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE:** 0,6

## METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

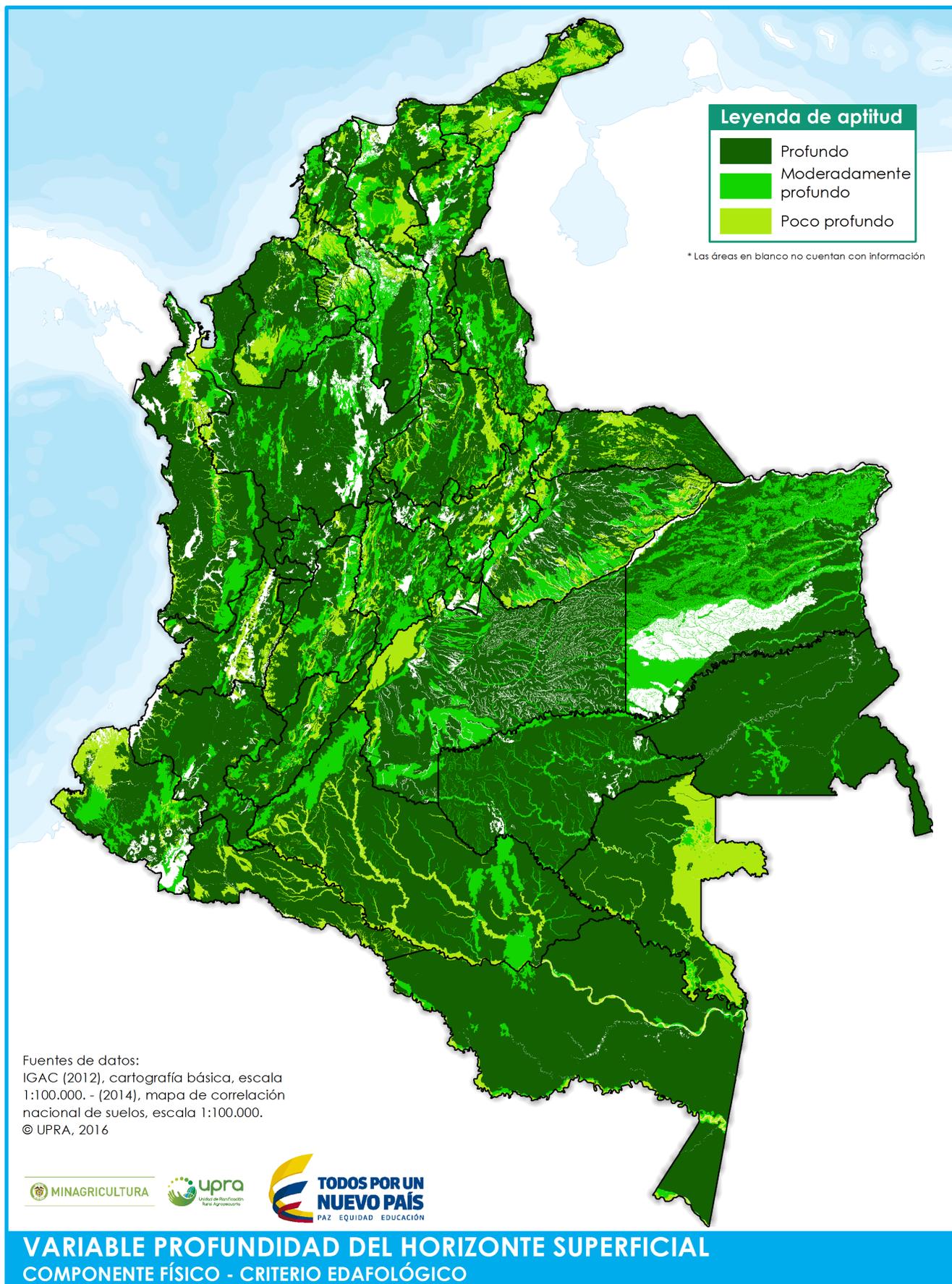
La evaluación de esta variable se realizó con base en criterio experto: las profundidades se agruparon en tres (3) rangos de clase y a cada uno de los rangos se le asignó un índice de calificación entre cero (0) y uno (1), donde los valores más altos fueron asignados a las mayores profundidades en las que la aplicación del riego resulta más adecuada, presenta menos limitaciones y por ende son menos susceptibles a afectaciones negativas.

## RANGOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE CALIFICACIÓN

Variable	Característica	Índice de calificación
Profundidad del horizonte superficial (cm)	Poco profundo (< 25)	0,5
	Moderadamente profundo (25-75)	0,9
	Profundo (> 75)	1

## FUENTES DE INFORMACIÓN

IGAC. (2014). *Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000.*



FICHA METODOLÓGICA DE VARIABLE

COMPONENTE: FÍSICO

CRITERIO: EDAFOLÓGICO

VARIABLE: PAISAJE

TIPO DE VARIABLE: Delimitador

ATRIBUTOS ASOCIADOS A LA VARIABLE

A: altiplanicie, altillanura

L: lomerío

M: montaña

S: superficie de aplanamiento (peneplanicie, penillanura)

P: piedemonte

R: planicie/llanura

V: valle

**DEFINICIÓN**

Porción de espacio que está constituido por una repetición de tipos de relieve idénticos o por asociación de tipos de relieve diferentes. El paisaje hace parte del sistema genético categorizado de Alfred Zinck, adoptado por el IGAC y adaptado a las características del país.

**IMPORTANCIA DE LA VARIABLE**

El tipo y la forma de la topografía, la posición relativa y las condiciones de la vecindad son variables que permiten caracterizar un tipo de paisaje; la integración de estos factores proporciona información integral que permite determinar el tipo de irrigación más adecuado según las geoformas del terreno a nivel macro.

**LIMITANTES DE LA EVALUACIÓN DE LA VARIABLE**

Para los levantamientos de suelos regionales y locales no se tiene en cuenta la información de geoestructura y ambiente morfogenético debido a que esta es de tipo subcontinental y continental. Por lo tanto, y de acuerdo con la categorización del sistema Zinck, se deberá tener en cuenta la información a partir del paisaje geomorfológico; a la categoría del paisaje se le implementó el ambiente morfogenético específico de cada uno de ellos. Se evalúa el nivel tres (3) de cinco (5) en la clasificación Zinck.

La definición del paisaje se determina en campo por un experto sin recurso a mediciones exactas, por lo que la subjetividad introduce incertidumbre en esta variable.

**ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE:** 0,6

**METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN**

La evaluación de esta variable se realizó con base en criterio experto: los paisajes definidos por el IGAC, en total doce (12), se reclasificaron en siete (7) rangos de clase y a cada uno de los rangos se le asignó un índice de calificación entre cero (0) y uno (1), donde los valores más altos fueron asignados a los paisajes en los que la aplicación del riego resulta más adecuada, presenta menos limitaciones y por consiguiente son menos susceptibles a afectaciones negativas. Se tuvieron presentes, de manera implícita, todos los factores caracterizadores del paisaje y

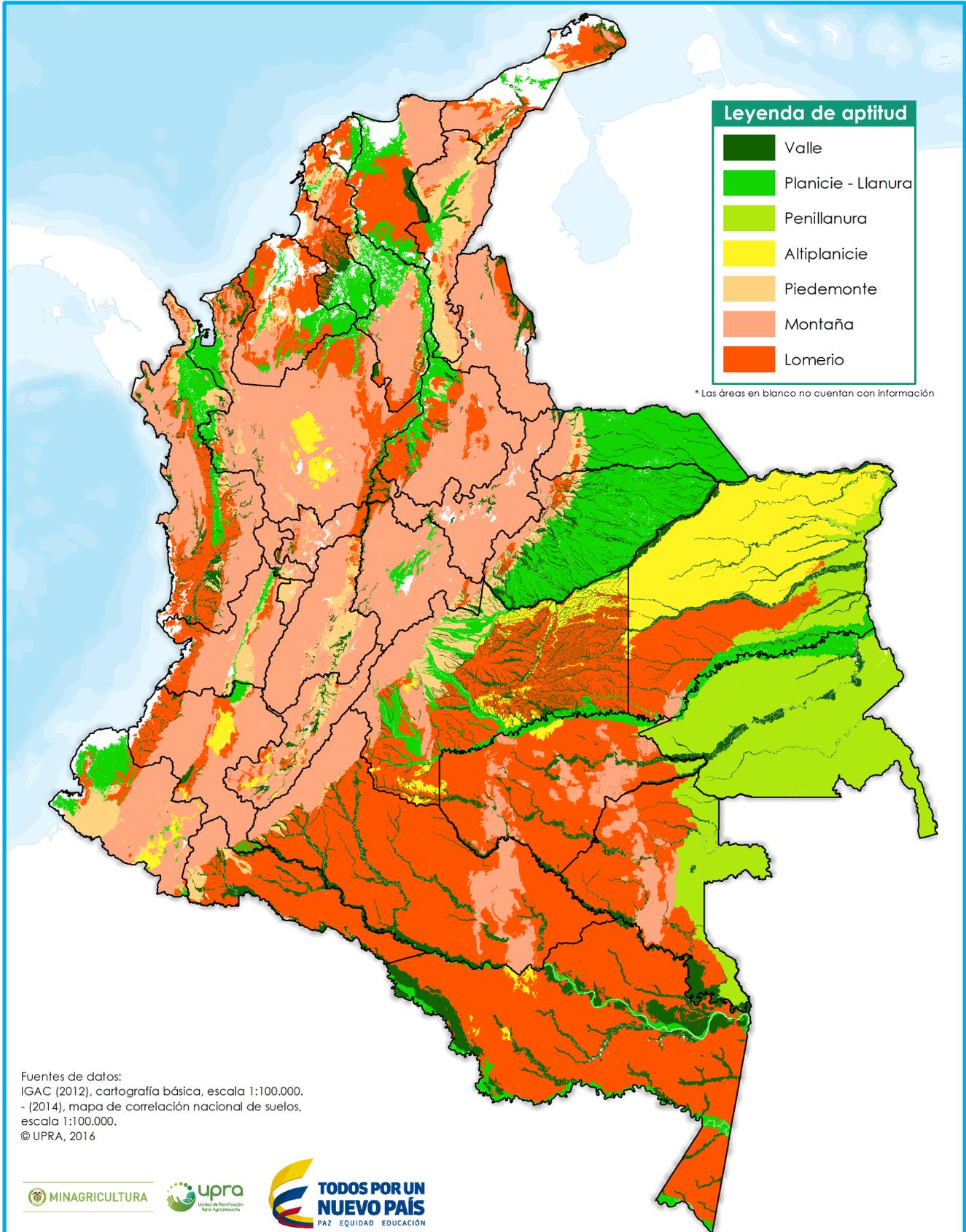
su relación con el desarrollo de proyectos agropecuarios productivos, así como la aplicación de riego en estos, como por ejemplo fertilidad, susceptibilidad a la erosión, facilidad en mecanización, entre otros.

### RANGOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE CALIFICACIÓN

Variable	Característica	Índice de calificación
Paisaje	A: altiplanicie, altillanura	0,7
	L: lomerío	0,3
	M: montaña	0,4
	S: superficie de aplanamiento (peneplanicie, penillanura)	0,8
	P: piedemonte	0,5
	R: planicie/llanura	0,9
	V: valle	1

### FUENTES DE INFORMACIÓN

IGAC. (2014). *Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000.*



**VARIABLE PAISAJE**  
COMPONENTE FÍSICO - CRITERIO EDAFOLÓGICO

FICHA METODOLÓGICA DE VARIABLE	
COMPONENTE: FÍSICO	
CRITERIO: EDAFOLÓGICO	
VARIABLE: FERTILIDAD DEL SUELO	
TIPO DE VARIABLE: Delimitador	
ATRIBUTOS ASOCIADOS A LA VARIABLE	Fertilidad baja
	Fertilidad media
	Fertilidad alta

## DEFINICIÓN

Expresión de la cantidad de nutrientes y su nivel de disponibilidad para ser aprovechado por las plantas. Su valoración involucra las siguientes variables: pH, saturación de aluminio, capacidad de intercambio catiónico, porcentaje de saturación de bases, bases totales, porcentaje de carbón orgánico en función del clima (frío, medio, cálido), cantidad de fósforo, potasio, sales y sodio.

## IMPORTANCIA DE LA VARIABLE

El grado de fertilidad es dinámico y es influenciado por otros factores agronómicos y de manejo tales como el patrón de cultivos, prácticas de mecanización, manejo del agua de riego, entre otras. En un proyecto de adecuación de tierras, la fertilización de los suelos ocupará un lugar de especial importancia y deberá estar en armonía con los métodos de riego seleccionados. Las cantidades de fertilizantes que se aplican a un suelo en forma convencional son muy superiores a aquellas utilizadas por medio de fertirrigación con riego localizado y, además, cuando el fertilizante se aplica con el agua de riego, su absorción por las plantas es mucho más eficiente y, por consiguiente, son mucho más altos los niveles de producción esperados. Debido a esto, es un factor que deberá considerarse siempre en un plan de adecuación de tierras para riego y drenaje.

## LIMITANTES DE LA EVALUACIÓN DE LA VARIABLE

La fertilidad es considerada una característica cambiante. Sin embargo, puede ser un problema permanente si el suelo presenta condiciones críticas que impidan un suministro adecuado de nutrientes para las plantas; las condiciones de criticidad básicamente se establecen por los costos de mejoramiento de la fertilidad.

La mayoría de las unidades cartográficas de suelos en los estudios generales representan asociaciones o complejos de suelos, lo que dificulta la asignación de un valor único y representativo de la unidad. Se adopta la fertilidad del primer horizonte del perfil con el componente taxonómico de mayor representatividad de la unidad cartográfica del suelo. Estas asunciones disminuyen la precisión y obvian los cambios de textura a lo largo del perfil (vertical) y dentro de cada unidad cartográfica de suelos (horizontal). Por lo tanto, es posible tener algunos sectores dentro de cada unidad de suelos con texturas de diferente calificación.

**ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE:** 0,7

## METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

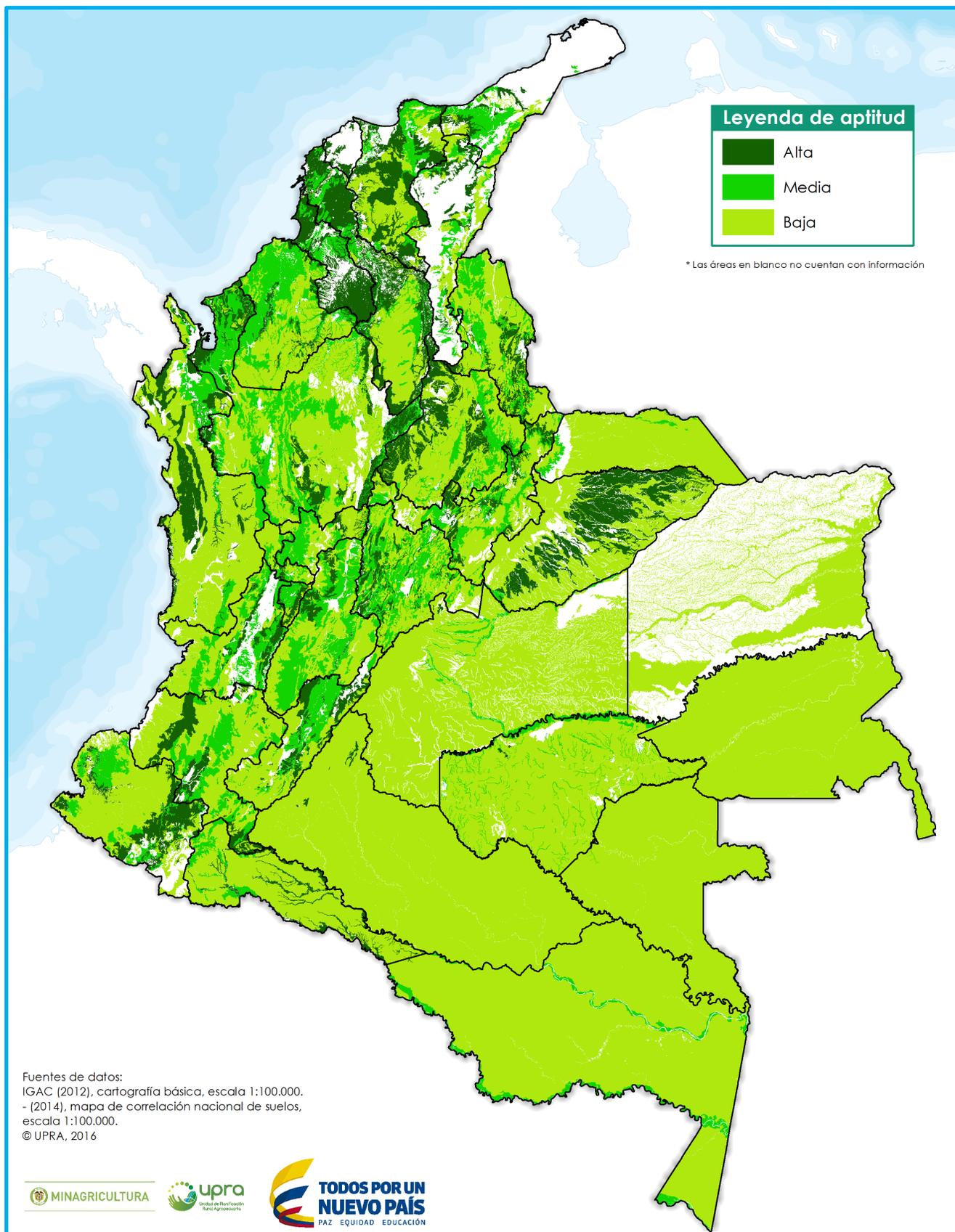
La evaluación de esta variable se realizó con base en criterio experto: los niveles de fertilidad se agruparon en tres (3) rangos de clase y a cada uno de los rangos se le asignó un índice de calificación entre cero (0) y uno (1), donde los valores más altos fueron asignados a fertilidades en las que la aplicación del riego resulta más eficiente, en este caso con fertilidades altas, dado que es el que menos exigencias en sistemas de aplicación de agua presenta, y en general, por ser la idónea para el desarrollo de la mayoría de cultivos. Asimismo, estas son las menos susceptibles a afectaciones negativas como afectaciones por salinidad, sodicidad o pérdida de fertilidad.

## RANGOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE CALIFICACIÓN

Variable	Característica	Índice de calificación
Fertilidad del suelo	Baja	0,5
	Media	0,8
	Alta	1

## FUENTES DE INFORMACIÓN

IGAC. (2014). *Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000.*



Fuentes de datos:  
IGAC (2012), cartografía básica, escala 1:100.000.  
- (2014), mapa de correlación nacional de suelos,  
escala 1:100.000.  
© UPRA, 2016



**VARIABLE FERTILIDAD DEL SUELO**  
**COMPONENTE FÍSICO - CRITERIO EDAFOLÓGICO**

FICHA METODOLÓGICA DE VARIABLE

COMPONENTE: FÍSICO

CRITERIO: EDAFOLÓGICO

VARIABLE: SALINIDAD DEL SUELO

TIPO DE VARIABLE: Delimitador

ATRIBUTOS ASOCIADOS A LA VARIABLE

ATRIBUTO	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE) (dS/m)	SATURACIÓN DE SODIO (%)
No salina	< 2	< 15
Ligeramente salina	2-4	< 15
Moderadamente salina	4-8	< 15
Fuertemente salina	8-16	< 15
Muy fuertemente salina	> 16	< 15

**DEFINICIÓN**

Concentración de sales solubles que existe en la solución del suelo, la cual produce un aumento del potencial osmótico del agua del suelo, lo que afecta la absorción del agua por las plantas, así que las mismas deben consumir una energía extra para poder extraer el agua de la solución del suelo en el que se concentran las sales; paralelamente, existe la posibilidad de que estas concentraciones presenten toxicidad. Se mide indirectamente por medio de la conductividad eléctrica, la cual está en relación directa con su contenido de sales. Los suelos salinos son una restricción de la actividad agropecuaria.

**IMPORTANCIA DE LA VARIABLE**

Aunque el potencial osmótico que se desarrolla en un ambiente de salinidad de los suelos tiene una magnitud pequeña en comparación con los potenciales matricial, de presión y gravitacional, la toxicidad generada por el ambiente salino sí afecta significativamente la producción de los cultivos. En este sentido, el conocimiento de la salinidad de los suelos resulta de gran importancia en el proceso de clasificación de las tierras para riego y drenaje, y en los casos en que sea técnica y económicamente factible se pueden proyectar los sistemas de riego con una lámina adicional de agua para lixiviación de sales y así mantener un ambiente adecuado para los cultivos en su zona de raíces.

La salinidad del suelo va a ejercer una marcada influencia en la zonificación de áreas potenciales de adecuación de tierras para riego y drenaje; la selección del sistema productivo deberá tener en cuenta los niveles de tolerancia de las distintas especies vegetales, y este a su vez ejercerá influencia sobre los métodos de riego. Más aún, si existe la potencialidad de los suelos de permitir lixiviación de sales, se deberá definir si tal lixiviación se llevará a cabo con flujo saturado o no saturado, y esta definición estará ligada a la disponibilidad de agua en el área y al método de riego. Por otra parte, cuando el sodio se encuentra en altas concentraciones en el suelo, su dispersión genera un deterioro de las propiedades físicas de este, reflejadas en una disminución de

la velocidad de flujo de agua a través del suelo, es decir, se afectan negativamente la infiltración y la conductividad hidráulica con todas sus consecuencias.

Las técnicas de recuperación de suelos salinos y salinos sódicos están basadas en el lavado de sales por medio de la aplicación de agua a través del riego y de la evacuación de estas a través del drenaje.

### 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 que dificulta la asignación de un valor único y representativo de la unidad. Se adopta la salinidad del primer horizonte del perfil con el componente taxonómico de mayor representatividad de la unidad cartográfica del suelo. Estas asunciones disminuyen la precisión y obvian los cambios de la salinidad a lo largo del perfil (vertical) y dentro de cada unidad cartográfica de suelos (horizontal). Por lo tanto, es posible tener algunos sectores dentro de cada unidad de suelos con estructuras de diferente calificación.

La variable puede tener dos interpretaciones con enfoque de aptitud para riego y drenaje; la primera corresponde al desarrollo de proyectos en áreas donde no se presenten afectaciones por salinidad y la segunda corresponde al desarrollo de proyectos en zonas afectadas por salinidad, con miras a la recuperación de estas zonas. Para efectos del presente trabajo, se optó por el primer enfoque, dejando la recuperación como objeto de estudios más detallados.

**ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE:** 0,7

### METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

La evaluación de esta variable se realizó con base en criterio experto: los niveles de salinidad se agruparon en cinco (5) rangos de clase y a cada uno de los rangos se le asignó un índice de calificación entre cero (0) y uno (1), donde los valores más altos fueron asignados a zonas sin salinidad o con baja presencia de sales, en las que no se demanda un proceso de recuperación, y en general, por presentar menores restricciones para el desarrollo de la mayoría de cultivos.

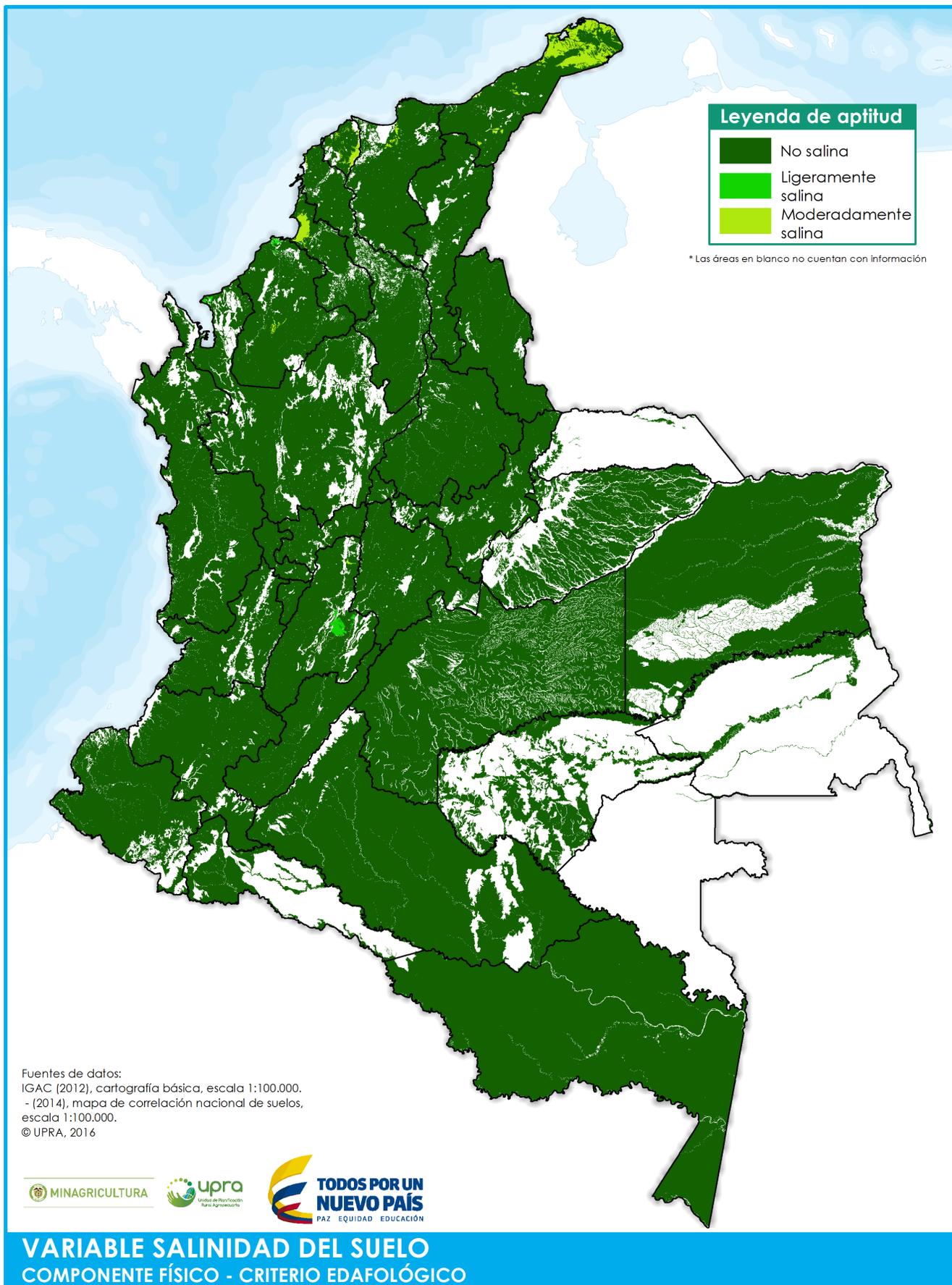
Se deja claridad de que los valores bajos de esta variable presentan un alto potencial para el desarrollo de proyectos de riego con miras a recuperación y rehabilitación de suelos; sin embargo, esto demandaría mayores inversiones y estudios más detallados, por lo que estas situaciones se deben estudiar de manera particular.

## RANGOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE CALIFICACIÓN

Variable	Característica			Índice de calificación
	Atributo	Conductividad eléctrica (CE) (ds/m)	Saturación de sodio (%)	
Salinidad del suelo	No salinidad	< 2	< 15	1
	Ligeramente salina	2-4	< 15	0,9
	Moderadamente salina	4-8	< 15	0,8
	Fuertemente salina	8-16	< 15	0,6
	Muy fuertemente salina	> 16	< 15	0,3

### FUENTES DE INFORMACIÓN

IGAC. (2014). *Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000.*



### FICHA METODOLÓGICA DE VARIABLE

COMPONENTE: FÍSICO

CRITERIO: EDAFOLÓGICO

VARIABLE: REACCIÓN DEL SUELO (pH)

TIPO DE VARIABLE: Delimitador

ATRIBUTOS ASOCIADOS A LA VARIABLE

pH < 5,0

pH 5,0-6,5

pH 6,5-8,4

pH > 8,4

#### DEFINICIÓN

Expresión del grado de acidez o alcalinidad, que está definido como el logaritmo negativo en base 10 de la actividad del ion hidrógeno. Es una característica modificable.

#### IMPORTANCIA DE LA VARIABLE

El pH de un suelo tiene una gran influencia en muchas de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, ya que controla la disponibilidad de nutrientes esenciales presentes en el suelo. El pH ácido limita la disponibilidad de nitrógeno, fósforo, azufre, calcio, magnesio, sodio y molibdeno. La disponibilidad de boro, cobre y zinc se puede ver afectada por valores de pH inferiores a 5,0 y superiores a 7,0, en tanto que la disponibilidad de hierro puede ser afectada por valores de pH superiores a 6,5.

El pH del suelo aporta información de suma importancia en diversos ámbitos de la edafología. Uno de los más importantes procede del hecho de que las plantas tan solo pueden absorber los minerales disueltos en el agua, mientras que la variación del pH modifica el grado de solubilidad de los minerales.

#### 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 que dificulta la asignación de un valor único y representativo de la unidad. Se adopta el pH del primer horizonte del perfil con el componente taxonómico de mayor representatividad de la unidad cartográfica del suelo. Estas asunciones disminuyen la precisión y obvian los cambios de pH dentro de cada unidad cartográfica de suelos; por lo tanto, es posible tener algunos sectores dentro de cada unidad cartográfica de suelos con pH del horizonte superficial diferentes.

El pH puede afectar la disponibilidad de los nutrientes en distinto grado y forma. Se puede decir que los sistemas radiculares de las plantas absorben los nutrientes que se encuentran disueltos en el agua del suelo. Valores extremos de pH, ya sea por acidez, exceso de calcio o alcalinidad, pueden provocar la precipitación de ciertos elementos químicos, con lo que permanecen en forma no disponible para las plantas. Cuando se trata de nutrientes esenciales, resulta obvio señalar que la especie vegetal padecerá problemas para alimentarse, por lo que se afectará negativamente a su desarrollo y producción. En el caso de los cultivos, tal hecho puede arruinar las cosechas si no se adoptan medidas correctivas.

**ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE: 0,5****METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN**

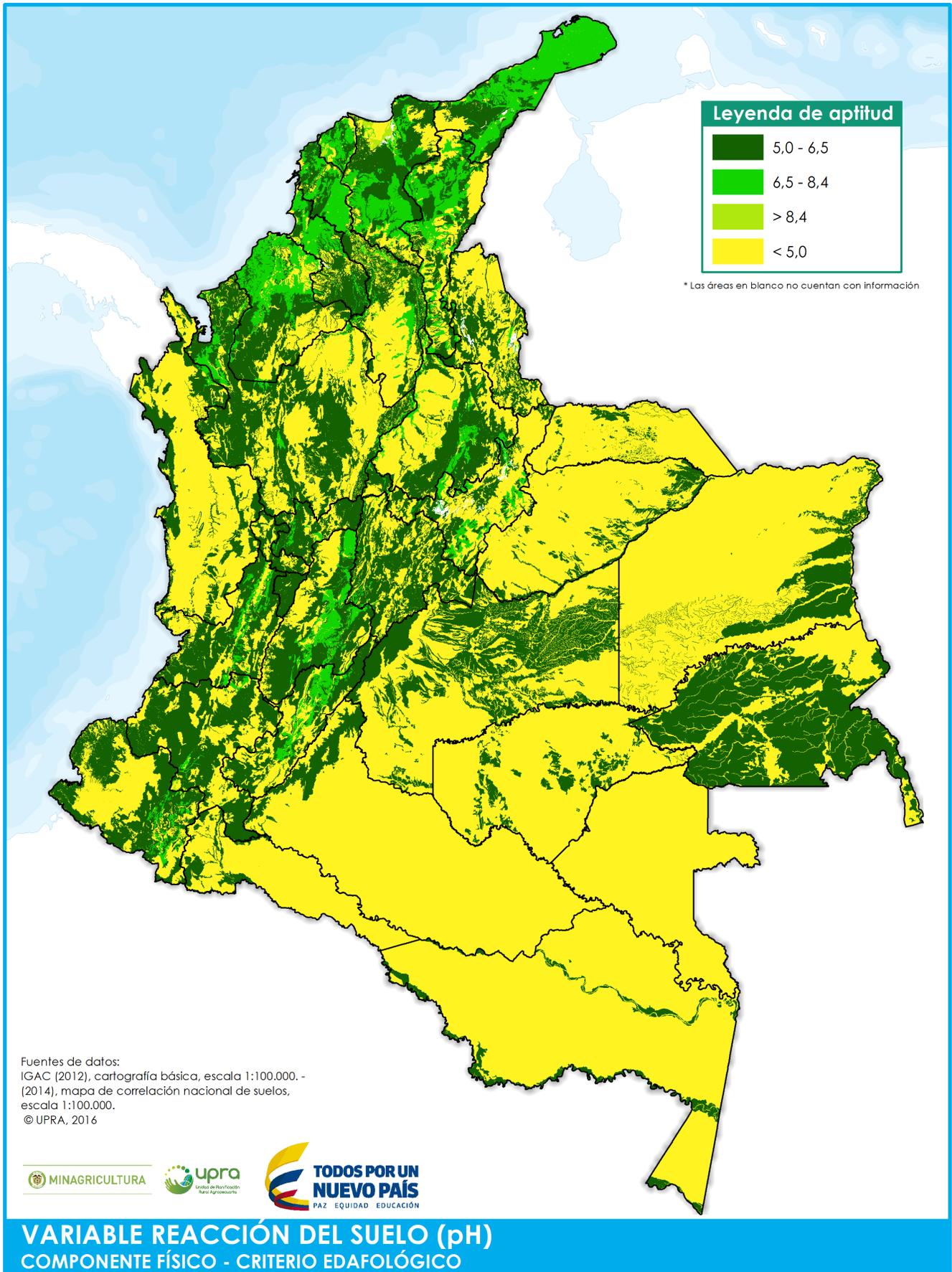
La evaluación de esta variable se realizó con base en criterio experto: los niveles de pH se agruparon en cuatro (4) rangos de clase y a cada uno de los rangos se le asignó un índice de calificación entre cero (0) y uno (1), donde los valores más altos fueron asignados a zonas con pH más favorable para el desarrollo de la mayoría de cultivos y los valores más bajos se asignaron a suelos con pH que demandan procesos de modificación de esta propiedad.

**RANGOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE CALIFICACIÓN**

Variable	Característica	Índice de calificación
Reacción del suelo (pH)	< 5,0	0,7
	5,0-6,5	1
	6,5-8,4	0,9
	> 8,4	0,8

**FUENTES DE INFORMACIÓN**

IGAC. (2014). *Mapa de correlación nacional de suelos, escala 1:100.000.*



FICHA METODOLÓGICA DE VARIABLE	
COMPONENTE: FÍSICO	
CRITERIO: EDAFOLÓGICO	
VARIABLE: GRADO DE EROSIÓN ACTUAL DEL SUELO	
TIPO DE VARIABLE: Delimitador	
ATRIBUTOS ASOCIADOS A LA VARIABLE	No hay
	Baja
	Baja a media
	Media
	Alta

## DEFINICIÓN

Pérdida físico-mecánica del suelo, con afectación en sus funciones y servicios ecosistémicos, que produce, entre otras, la reducción de la capacidad productiva de los mismos (Lal, 2001).

La degradación del suelo por erosión se refiere a «la pérdida de la capa superficial de la corteza terrestre por acción del agua o del viento, que es mediada por el ser humano y trae consecuencias ambientales, sociales, económicas y culturales» (Ideam, 2015b). En esta variable se hace una apreciación generalizada del grado de erosión actual de los suelos tanto en términos de erosión hídrica como de erosión eólica.

## IMPORTANCIA DE LA VARIABLE

El grado de afectación actual de los suelos por erosión es un factor determinante en la toma de decisiones sobre adecuación de tierras, ya que permite descartar o no la aplicación de métodos de riego por superficie, a la vez que permite establecer si ciertas actividades de adecuación como la nivelación de tierras o la construcción de obras de protección son o no costo-efectivas.

La erosión del suelo, ya sea por el viento o el agua, tiene un efecto muy perjudicial sobre la fertilidad natural del suelo. Suelos erosionados son menos fértiles y más difíciles de manejar. Los factores considerados en la evaluación de esta variable incluyen el grado de erosión anterior y la susceptibilidad a la erosión con el desarrollo del riego.

La erosión afecta la capacidad de retención de agua por las alteraciones en el contenido de materia orgánica y en el porcentaje de partículas menores (arcilla) del suelo. La disminución del contenido de materia orgánica también provoca alteraciones en la densidad del suelo.

Es importante destacar que el grado de erosión actual del suelo, además de afectar y alterar los ecosistemas, afecta a la población y su economía. La relación que observa es directamente proporcional: a medida que la capacidad productora disminuye, los ingresos de la población igualmente se reducen.

### LIMITANTES DE LA EVALUACIÓN DE LA VARIABLE

El grado de erosión se ha clasificado de acuerdo a la intensidad del proceso en términos de severidad y a la magnitud o superficie afectada por el mismo, en cinco categorías: sin evidencia (no hay evidencia de degradación por erosión), ligera, moderada, severa y muy severa. Sin embargo, esta es una representación de una situación temporal, que para el caso de la presente zonificación corresponde a los años 2010 y 2011. Teniendo presente que esta es una característica variable y que debido a las condiciones topográficas, de manejo y de conflicto de uso de la tierra de Colombia es altamente variable en el tiempo, la representación aquí asumida puede diferir de la situación actual de manera significativa.

**ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE:** 0,7

### METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

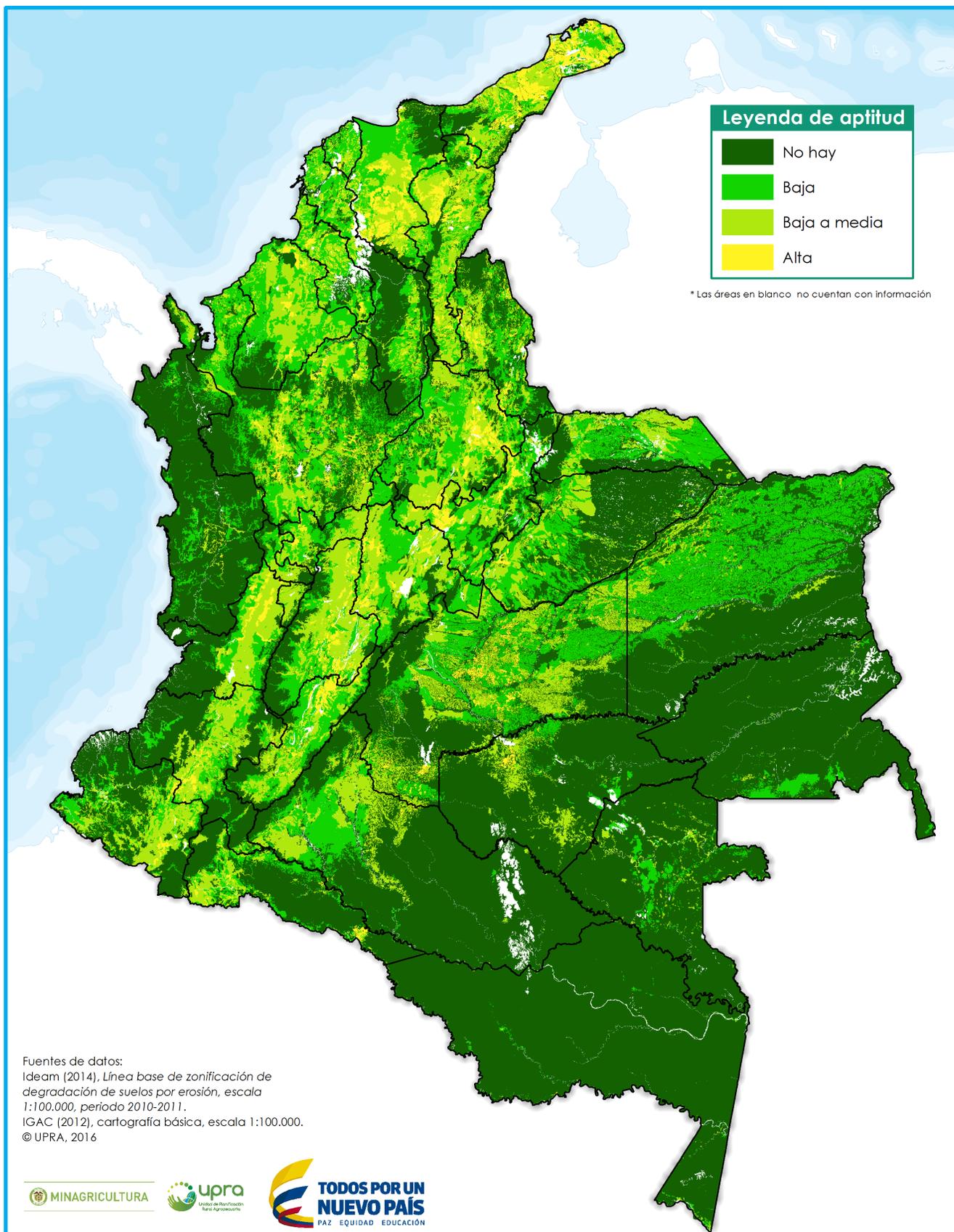
La evaluación de esta variable se realizó con base en criterio experto: los grados de degradación por erosión del suelo se agruparon en cinco (5) rangos de clase y a cada uno de los rangos se le asignó un índice de calificación entre cero (0) y uno (1), donde los valores más altos fueron asignados a zonas que no presentan evidencia de erosión o donde el grado de esta es bajo, por resultar más favorables para el desarrollo de proyectos de riego; de manera antagónica, los valores más bajos se asignaron a erosiones altas, que presentan altas limitaciones y restricciones para la aplicación de riego y demandan procesos de recuperación de suelos, acompañados de implementación de sistemas de riego localizado de alta tecnificación.

### RANGOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE CALIFICACIÓN

Variable	Característica	Índice de calificación
Grado de erosión actual del suelo	Sin evidencia	1
	Baja	0,9
	Baja a media	0,8
	Media	0,6
	Alta	0,1

### FUENTES DE INFORMACIÓN

Ideam, (2015b). *Zonificación de la degradación de suelos por erosión. Área continental de Colombia, escala 1:100.000. Línea base: 2010-2011.*



**VARIABLE GRADO DE EROSIÓN ACTUAL DEL SUELO**  
**COMPONENTE FÍSICO - CRITERIO EDAFOLÓGICO**

## FICHA METODOLÓGICA DE CRITERIO

COMPONENTE: FÍSICO

CRITERIO: TOPOGRÁFICO

TIPO DE CRITERIO: Delimitador

VARIABLES ASOCIADAS AL CRITERIO

Pendiente del terreno (%)

Tamaño del predio (ha)

Longitud del recorrido para riego superficial (m)

### DEFINICIÓN

Conjunto de características que presentan la superficie y el relieve de un terreno. Para efectos de la presente zonificación, se contemplan variables de carácter altimétrico y planimétrico (catastrales), las cuales tienen una estrecha relación con la adecuación de tierras para riego y drenaje.

### IMPORTANCIA DEL CRITERIO

Los factores topográficos se han establecido en tres variables, aquellas que ejercen alguna influencia sobre la agricultura bajo riego y drenaje y que, por tal razón, guardan relación directa o indirecta con las características del relieve. Desde este punto de vista, se hace referencia a las características altimétricas del relieve como la irregularidad y las pendientes naturales predominantes, la planimetría, el tamaño de los predios y la longitud del recorrido para riego superficial. Los factores topográficos así considerados son de gran ayuda en la determinación de áreas potenciales de adecuación de tierras para riego y drenaje, puesto que permiten tener una idea general sobre las eficiencias potenciales de aplicación del agua, las necesidades de drenaje, los tamaños de los predios de riego y drenaje y, en consecuencia, son una herramienta fundamental en la selección adecuada de los métodos de riego.

### LIMITANTES DE LA EVALUACIÓN DEL CRITERIO

Iniciando el estudio para la zonificación de áreas potenciales para adecuación de tierras con fines de riego y drenaje dentro del criterio se había proyectado trabajar con trece (13) variables (pendiente del terreno; potenciales vasos de almacenamiento; tamaño de los predios; longitud del recorrido para riego por superficie; movimiento de tierras para nivelación predial; disponibilidad de cabeza hidráulica; distancia a fuentes superficiales de agua; profundidad de encharcamientos; duración de encharcamientos; frecuencia de encharcamientos; profundidad de inundaciones; duración de inundaciones y frecuencia de inundaciones), pero al final solo se tuvieron en cuenta tres (3), esto debido a la información que se tiene recolectada en el país y a factores propios del territorio.

El modelo digital de elevación utilizado como fuente de información presenta una incertidumbre vertical (en elevación), que puede variar entre 10 y 20 m.

**ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DEL CRITERIO:** 0,9

## METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

La evaluación de este criterio se llevó a cabo mediante la multiplicación de los valores de los índices de calificación de cada una de las variables que lo componen. Los índices de calificación toman un valor entre cero (0) y uno (1), donde cero (0) representa la menor potencialidad y uno (1), la mayor potencialidad para desarrollar proyectos de riego; asimismo, guardan una relación estrecha con los métodos de riego potencialmente adecuados: los valores cercanos a cero (0) se asocian a sistemas de riego presurizados, con aplicación de agua localizada, bajo impacto erosivo sobre el suelo, que en términos generales se traducen en tierras con mayores restricciones para la aplicación del riego y demanda implementación de métodos de aplicación de agua localizados, prácticas de manejo y alta tecnificación. Los valores cercanos a uno (1) se asocian a todos los métodos, incluidos los de aplicación de agua superficial, además de los presurizados antes mencionados. Las áreas con índices de calificación cercanas a uno (1) son tierras con las menores restricciones para el desarrollo de proyectos de riego y permiten cualquier método de aplicación de agua con fines de riego agropecuario. Los valores de los índices de calificación fueron asignados por especialistas, lo que genera una base de conocimiento cuyo motor de inferencia es el modelo espacial.

Estos índices de calificación de rangos de clases se multiplican con las demás variables del mismo criterio y, finalmente, por el índice de calificación del criterio. Se puede expresar por medio de la siguiente ecuación:

$$E = ICE \times (ICV1 \times ICV2 \times ICVi \times \dots \times ICVn)$$

Donde:

$E$  = calificación del criterio edafológico

$ICE$  = índice de calificación del criterio edafológico

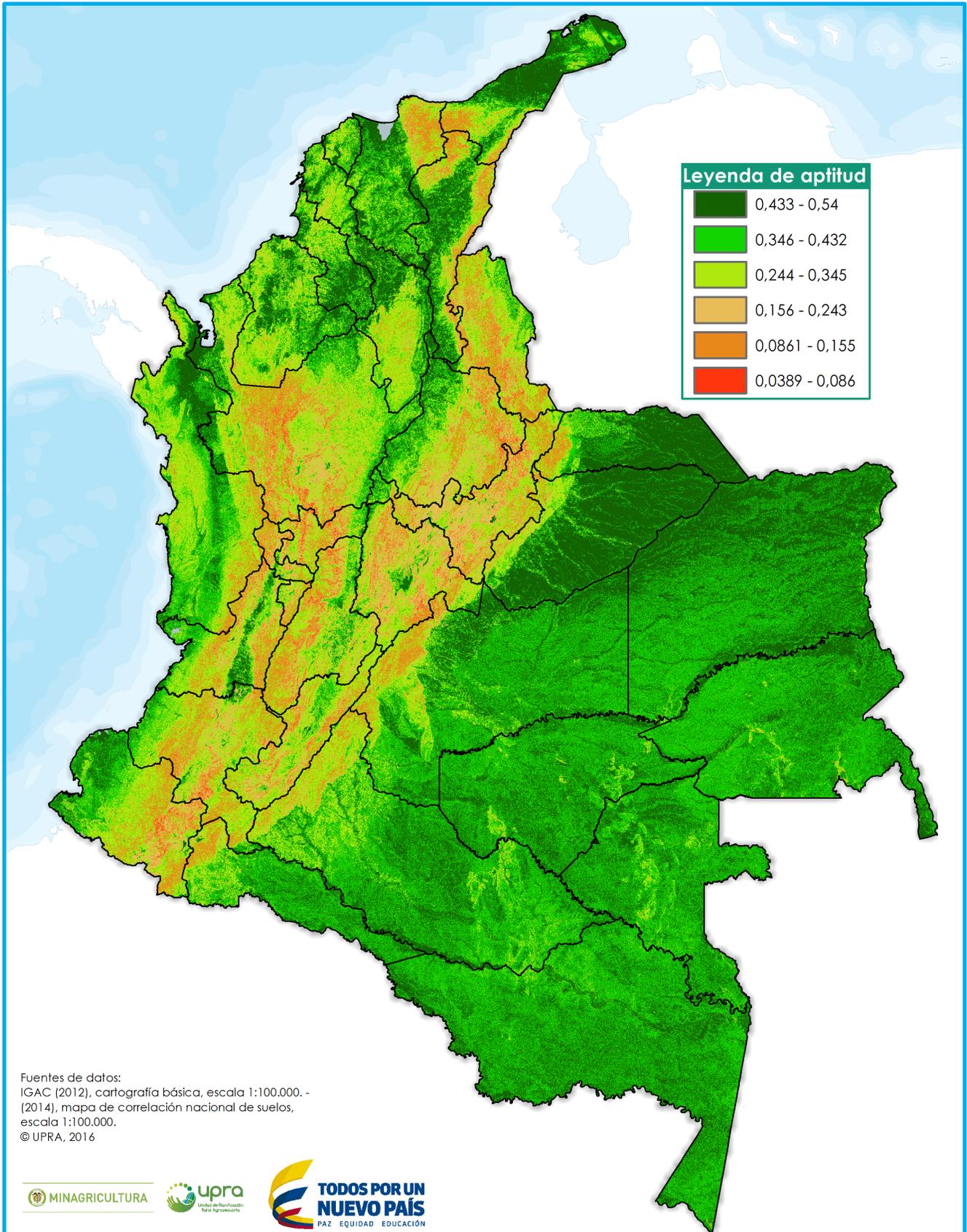
$Vi$  = índice de calificación del atributo de cada variable asociada al criterio edafológico

## RANGOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE CALIFICACIÓN

Componente	Criterio	Índice de calificación
Físico	Topográfico	0,9

## FUENTES DE INFORMACIÓN

Consolidado de los criterios topográficos.



## FICHA METODOLÓGICA DE VARIABLE

COMPONENTE: FÍSICO

CRITERIO: TOPOGRÁFICO

VARIABLE: PENDIENTE DEL TERRENO

TIPO DE VARIABLE: Delimitador

ATRIBUTOS ASOCIADOS A LA VARIABLE	0 %-0,5 %
	0,5 %-2,0 %
	2,0 %-9,0 %
	9,0 %-30,0 %
	30,0 %-45,0 %
	> 45,0 %

**DEFINICIÓN**

Inclinación de la superficie natural del suelo con respecto a la horizontal; se expresa mediante la ecuación:

$$M = (Y2-Y1)/(d)$$

Donde:

$m$  = pendiente

$Y2$  = altura del terreno en el punto más alto

$Y1$  = altura del terreno en el punto más bajo

$d$  = longitud horizontal entre los puntos  $Y2$  y  $Y1$

**IMPORTANCIA DE LA VARIABLE**

La pendiente natural del terreno es de gran importancia para la selección eficiente y sostenible del método de riego, pues influye directa y drásticamente en procesos erosivos. Ciertos métodos de riego por superficie exigen para su eficiente funcionamiento pendientes muy leves y nivelación de tierras; otros requieren tan solo un emparejamiento de la superficie, mientras que cuando se tienen pendientes altas únicamente se pueden aplicar métodos de riego a presión de aplicación localizada, como microaspersión y goteo.

El conocimiento de las pendientes naturales del terreno es fundamental para determinar la erosión del suelo, las prácticas de control de la erosión y las posibilidades de labranza mecanizada del suelo, y tiene una influencia primaria sobre la aptitud agrícola de la tierra. La implementación de sistemas productivos agropecuarios bajo riego en pendientes altas demanda la construcción de estructuras para controlar la distribución del agua de riego y para evitar la erosión en zanjas, así como prácticas de manejo especializadas.

En materia de grados de pendiente del terreno, la FAO indica que estos guardan relación con el método de riego, la intensidad de la precipitación, el riesgo de erosión y el patrón de cultivos. Es apenas lógico que entre mayor sea el caudal unitario de riego será mayor el peligro de erosión. En este sentido, los métodos de riego por superficie

presentan mayor peligro de erosión que el riego por aspersión y que el riego localizado (goteo y microaspersión).

### LIMITANTES DE LA EVALUACIÓN DE LA VARIABLE

El modelo digital de elevación utilizado como fuente de información presenta una incertidumbre vertical (en elevación) que puede variar entre 10 y 20 m, por lo que la afectación a la pendiente también es significativa, aunque menor, dado que las variaciones o incertidumbres se dan de manera relativa, por lo que la pendiente presenta menor incertidumbre que la altura como valor absoluto.

Según el IGAC, la agricultura tecnificada se puede desarrollar con manejos técnicos específicos hasta el 25 %; para Alberta (Canadá), la pendiente máxima para agricultura bajo riego en condiciones especiales de manejo y diseño es del 30 %. El USDA tiene como máximo pendientes del 35 % para suelos con pendientes continuas, y en topografías complejas, hasta 50 % con medidas de manejo específicas, complejas y costosas. La realidad agropecuaria de Colombia desarrolla cultivos y explotaciones pecuarias en terrenos con pendientes del 100 % e incluso superiores.

La falta de unificación de rangos de esta variable y la multiplicidad de factores que se suman a este criterio, como la textura, la pendiente lateral, la profundidad efectiva, etc., hacen compleja la calificación de esta variable.

**ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE:** 1,0

### METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

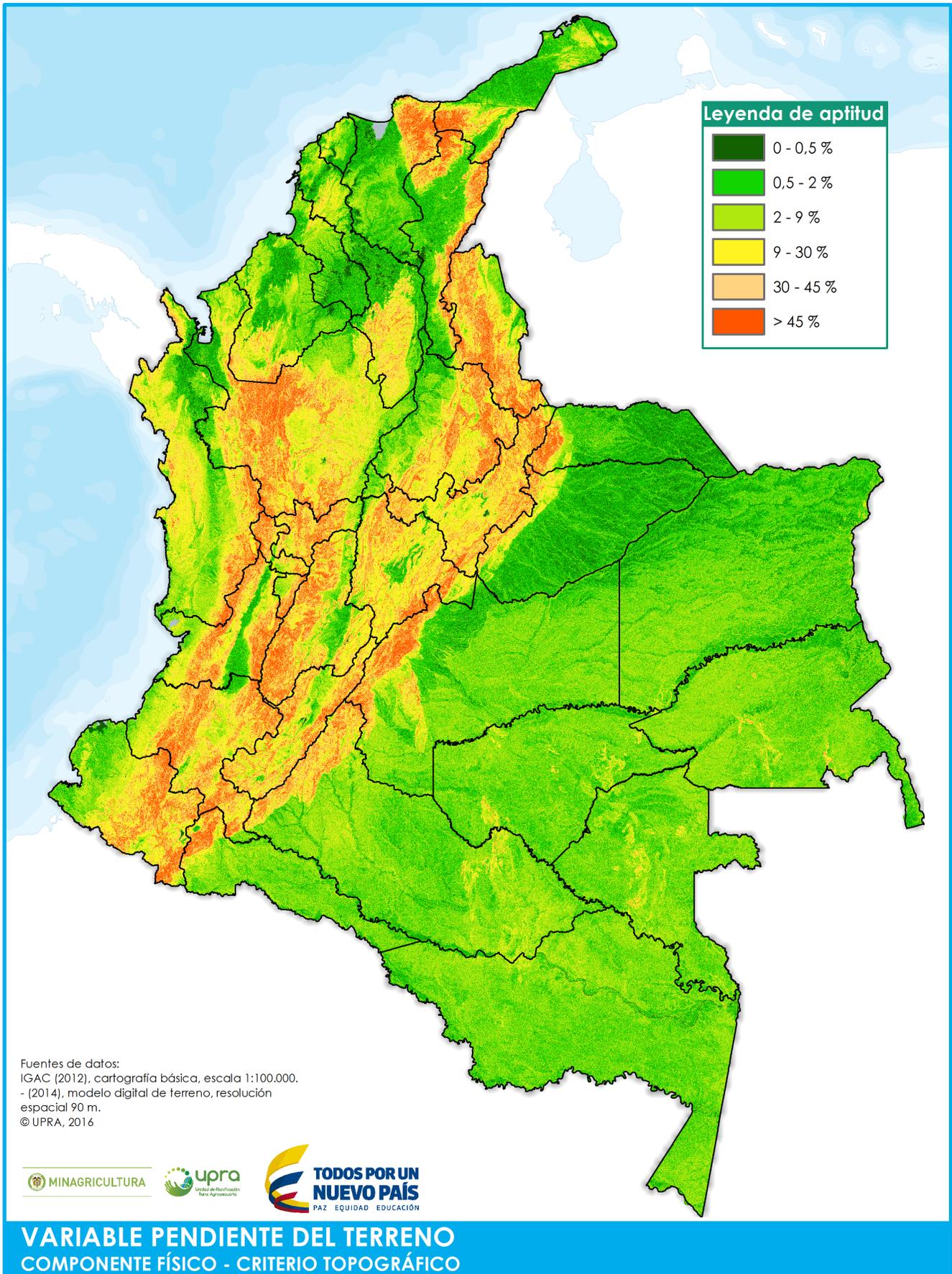
La evaluación de esta variable se realizó con base en criterio experto: las pendientes se agruparon en seis (6) rangos de clase y a cada uno de los rangos se le asignó un índice de calificación entre cero (0) y uno (1), donde los valores más altos fueron asignados a las zonas más planas, que no presentan restricciones para la aplicación de cualquier método de riego y por lo tanto resulta más favorable para su desarrollo. Por otro lado, los valores más bajos se asignaron a pendientes altas que presentan más limitaciones y restricciones para la aplicación de riego y demandan procesos de nivelación de suelos, implementación de métodos de riego localizado de alta tecnificación, prácticas de manejo complementario, entre otros.

**RANGOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE CALIFICACIÓN**

Variable	Característica	Índice de calificación
Pendiente del terreno (%)	0-0,5	1
	0,5-2,0	0,8
	2,0-9,0	0,7
	9,0-30,0	0,6
	30,0-45,0	0,5
	> 45,0	0,2

**FUENTES DE INFORMACIÓN**

IGAC. (2014). *Modelo digital de terreno, resolución espacial 90 m.*



FICHA METODOLÓGICA DE VARIABLE	
COMPONENTE: FÍSICO	
CRITERIO: TOPOGRÁFICO	
VARIABLE: TAMAÑO DEL PREDIO	
TIPO DE VARIABLE: Delimitador	
ATRIBUTOS ASOCIADOS A LA VARIABLE	> 100 ha
	50-100 ha
	10-50 ha
	3-10 ha
	< 3 ha

### DEFINICIÓN

Área legal de la superficie del predio rural según catastro, medida en unidad de hectárea (1 ha = 10.000 m<sup>2</sup>).

### IMPORTANCIA DE LA VARIABLE

El tamaño de los predios juega un papel importante en la proyección de un distrito de riego en términos de implementación y construcción, así como en la aplicabilidad de los diferentes métodos de riego. Cuando en una zona en particular hay un alto grado de fraccionamiento de la tierra (minifundios), es importante tener en cuenta que solo se puede pensar en proyectos de irrigación hasta que se vean completamente satisfechas las necesidades de uso doméstico a largo plazo y cuando las condiciones sociales tiendan a la homogeneidad y sean favorables en términos de asociatividad. Bajo estas condiciones, es muy normal que queden con usos muy limitados los métodos de riego por superficie, por dos razones fundamentales: 1) el tamaño de los predios es muy pequeño y no permiten la aplicación de riego por superficie con eficiencias aceptables, y 2) el agua es un factor limitante, ya que se está demandado también para consumo, por lo que exige métodos de riego de alta eficiencia como los métodos de riego a presión.

### LIMITANTES DE LA EVALUACIÓN DE LA VARIABLE

Para la obtención de las áreas de los predios rurales se recurrió a diversas bases de datos oficiales que permitieran obtener información de la totalidad del país, las cuales presentan actualizaciones temporales diferentes, lo que genera disparidad en la información; adicionalmente, el proceso de actualización catastral es un proceso dinámico y continuo, por lo que las bases de datos posiblemente no reflejan fielmente la realidad, teniendo en cuenta la presencia del proceso de fraccionamiento de la propiedad rural.

**ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE:** 0,6

### METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

La evaluación de esta variable se realizó con base en criterio experto: los tamaños de los predios se agruparon en cinco (5) rangos de clase y a cada uno de los rangos se le asignó un índice de calificación entre cero (0) y uno (1), donde los valores más altos fueron asignados a los predios con mayor extensión, donde hay mayor aptitud para la aplicación de cualquier método de riego y, por lo tanto, resulta más favorable para

el desarrollo de proyectos. Por el contrario, los valores más bajos se asignaron a predios de menor extensión que presentan más limitaciones y restricciones para la aplicación de riego y demandan procesos de nivelación de suelos, implementación de métodos de riego localizado de alta tecnificación, prácticas de manejo complementario, entre otros.

### RANGOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE CALIFICACIÓN

Variable	Característica	Índice de calificación
Tamaño de predios (ha)	> 100	1
	50-100	0,9
	10-50	0,8
	3-10	0,7
	< 3	0,6

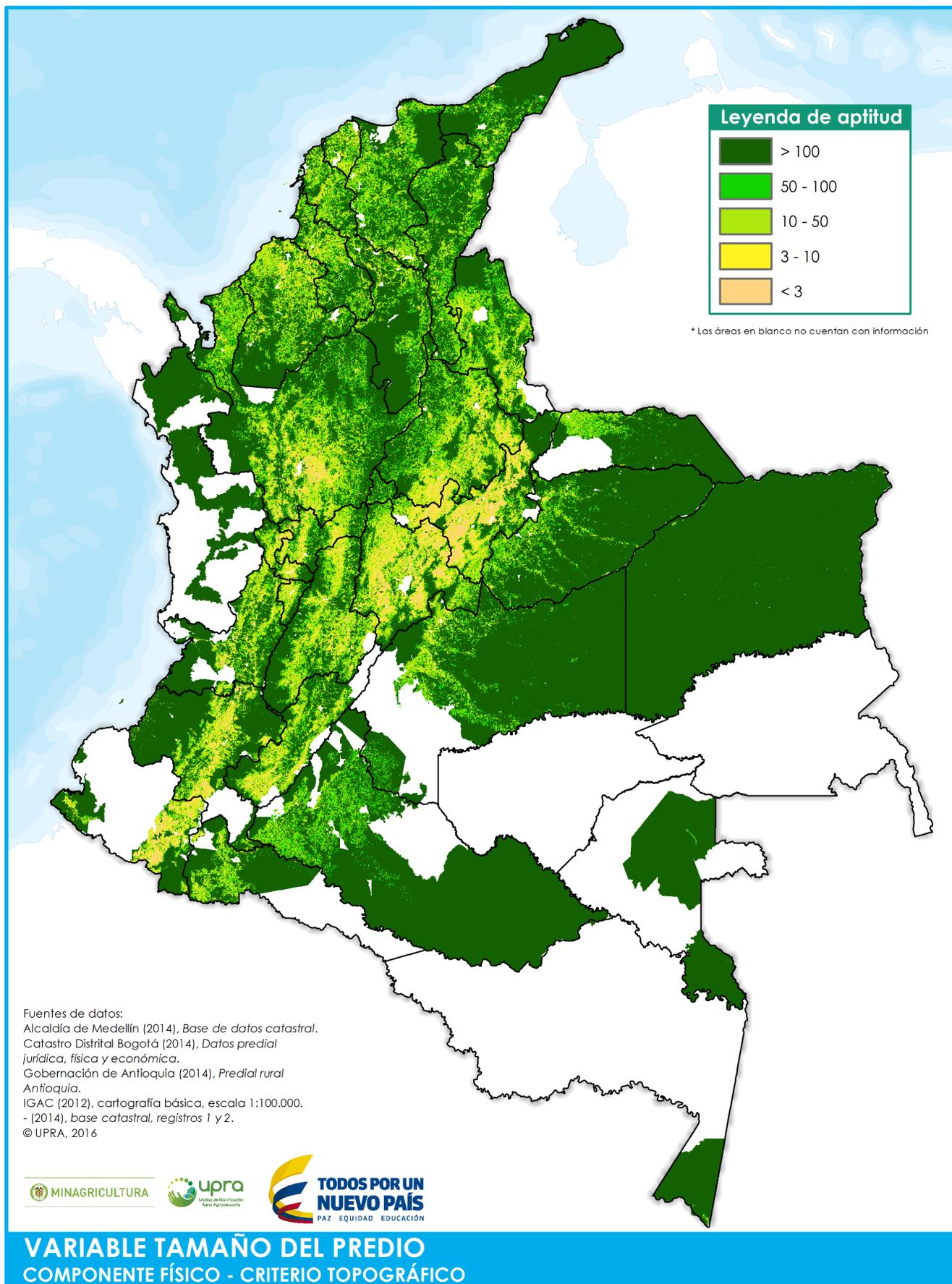
### FUENTES DE INFORMACIÓN

IGAC. (2014). *Base predial registros 1 y 2, predios con destino agropecuario, vigencia 2014.*

Alcaldía de Santiago de Cali (2014). *Base de datos de información predial rural.*

Gobernación de Antioquia. (2014). *Predial rural de Antioquia.*

Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital (UAECD). (2014). *Información predial jurídica, física y económica.*



### FICHA METODOLÓGICA DE VARIABLE

COMPONENTE: FÍSICO

CRITERIO: TOPOGRÁFICO

VARIABLE: LONGITUD DEL RECORRIDO PARA RIEGO SUPERFICIAL

TIPO DE VARIABLE: Delimitador

ATRIBUTOS ASOCIADOS A LA VARIABLE

> 400 m

200-400 m

100-200 m

< 100 m

#### DEFINICIÓN

Dimensión longitudinal en el sentido del desplazamiento del agua (pendiente), medida en metros (m).

#### IMPORTANCIA DE LA VARIABLE

Especialmente en los métodos de riego por superficie, la longitud del recorrido es fundamental, ya que permite prever las pérdidas de agua que pueden presentarse y por lo tanto, se facilita su control.

En suelos pesados, las longitudes muy cortas inducen enormes pérdidas de agua por escorrentía superficial, y cuando los suelos son livianos, es necesario proporcionar longitudes cortas para minimizar las pérdidas de agua por percolación profunda. En general, los métodos de riego por superficie exigen longitudes mínimas y máximas, las cuales deben combinarse en forma óptima con el caudal unitario y la pendiente en el sentido del riego, para garantizar valores adecuados de eficiencia de aplicación del agua y de sostenibilidad en el tiempo y el espacio.

#### LIMITANTES DE LA EVALUACIÓN DE LA VARIABLE

Se determinó por métodos de procesamiento cartográfico digital, con base en la información catastral actual existente, la cual presenta desactualización.

**ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE:** 0,9

#### METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

La evaluación de esta variable se realizó con base en criterio experto: la longitud del recorrido para riego se agrupó en cuatro (4) rangos de clase y a cada uno de los rangos se le asignó un índice de calificación entre cero (0) y uno (1), donde los valores más altos fueron asignados a los predios con longitudes de recorrido que tienen menores limitaciones para la aplicación de métodos de riego, y por lo tanto, resultan más favorables para el desarrollo de proyectos. Los valores más bajos se asignaron a predios de menor longitud del recorrido, que presentan más limitaciones y restricciones para la aplicación de algunos métodos de riego y demandan procesos de nivelación de suelos, implementación de métodos de riego localizado de alta tecnificación, prácticas de manejo complementario, entre otros.

**RANGOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE CALIFICACIÓN**

Variable	Característica	Índice de calificación
Longitud del recorrido para riego superficial (m)	> 400	1
	200-400	0,9
	100-200	0,85
	< 100	0,6

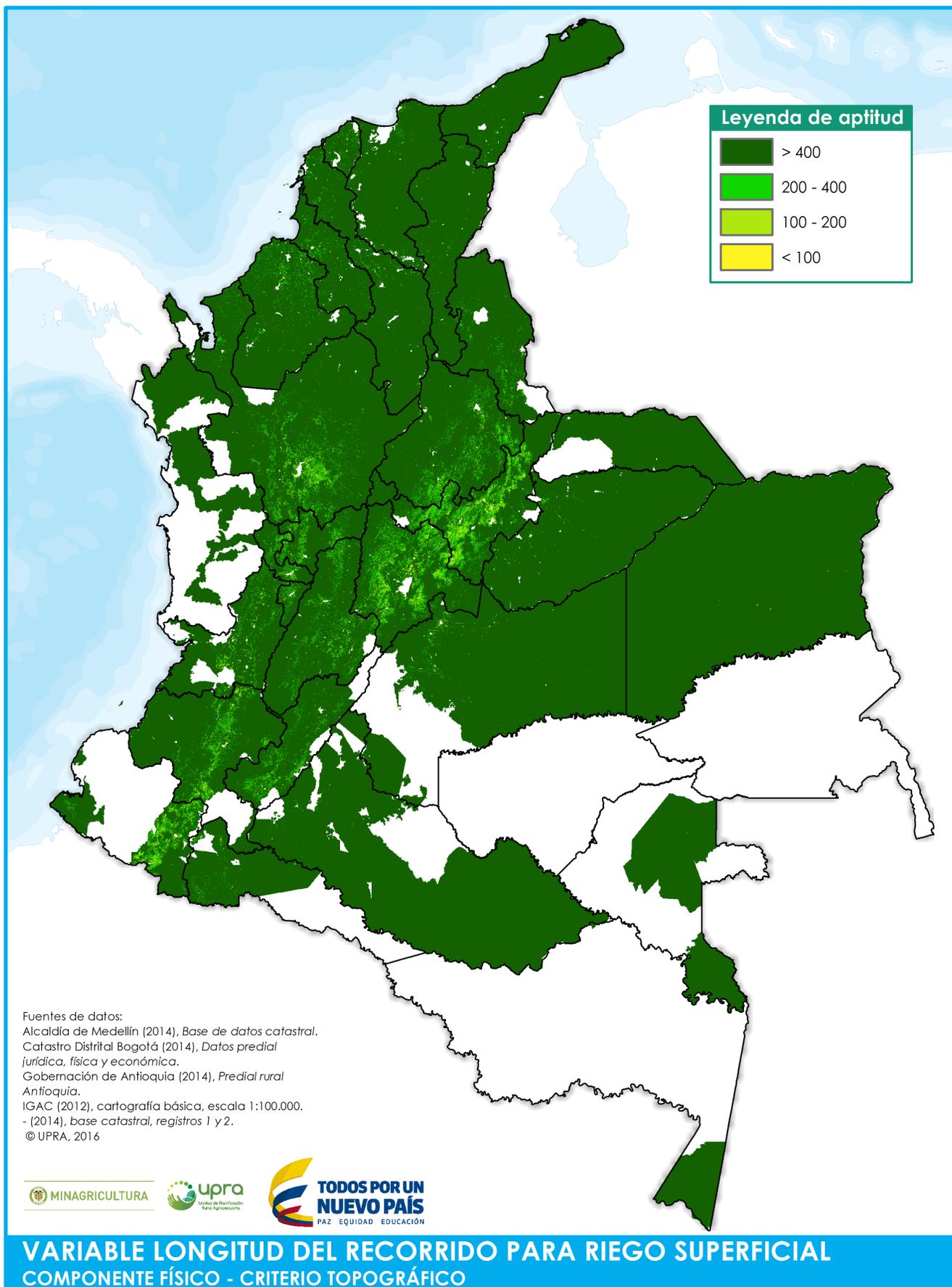
**FUENTES DE INFORMACIÓN**

IGAC. (2014). *Base predial registros 1 y 2, predios con destino agropecuario, vigencia 2014.*

Alcaldía de Santiago de Cali (2014). *Base de datos de información predial rural.*

Gobernación de Antioquia. (2014). *Predial rural de Antioquia.*

Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital (UAECD). (2014). *Información predial jurídica, física y económica.*



## FICHA METODOLÓGICA DE VARIABLE

COMPONENTE: RECURSO HÍDRICO

CRITERIO: NO APLICA

VARIABLE: NECESIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL

TIPO DE VARIABLE: Caracterizador

ATRIBUTOS ASOCIADOS A LA VARIABLE

Reclasificación del índice de aridez (IA) del «Estudio nacional del agua (ENA) 2014».

**DEFINICIÓN**

Variable que muestra espacialmente en qué zonas del país se presenta déficit o excedentes, lo que para efectos de riego se traduce de manera lineal: en donde hay déficit se demanda un recurso hídrico adicional a la lluvia, que debería ser aplicado a través del riego, y en donde hay excedentes no se demanda agua adicional y por lo tanto no se requiere riego.

**IMPORTANCIA DE LA VARIABLE**

Resuelve la incógnita de dónde es necesaria la implementación de riego con base en el régimen hídrico superficial, caracterizando los polígonos definidos con criterios edafológicos y topográficos, lo que permite comparar áreas con dichas características idénticas o similares.

**LIMITANTES DE LA EVALUACIÓN DE LA VARIABLE**

La variable se incluye a una escala temporal anual, motivo por el cual no refleja la variabilidad temporal del régimen hidrológico. Para ver reflejada dicha variación, sería necesaria la realización de doce (12) mapas, uno por cada mes, o incluso a escala decadal, lo cual, para efectos del presente estudio, está fuera del alcance.

Teniendo presente esta limitante y dada la escala de la presente zonificación (1:100.000), es necesario realizar estudios hidrológicos a la escala que se amerite para determinar la necesidad o no del riego en una zona específica, principalmente en las zonas en donde la regulación sea baja o muy baja.

**ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE:** no aplica.

**METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN**

Por definición de la variable, esta permite una reinterpretación del IA, el cual es uno de los dos indicadores del régimen natural del sistema hídrico junto con el índice de regulación y retención hídrica (IRH), contemplados en el ENA 2014 y que sintetizan las características de la oferta hídrica. El IA muestra de manera cualitativa los lugares con excedentes o déficit de agua y el grado en el que esto se presenta en las diversas regiones del país a escala temporal anual, con base en los registros históricos que van de 1974 a 2012.

Los componentes de la ecuación del IA son la evapotranspiración potencial y la evapotranspiración real, aplicadas como se expresa en la siguiente fórmula:

$$IA = (ETp - ETr) / ETp$$

Donde:

IA = índice de aridez (adimensional)

ETp = evapotranspiración potencial (mm)

ETr = evapotranspiración real (mm)

El ENA 2014, para estimar la evapotranspiración potencial adoptó el método de Penman-Monteith (FAO, 2006) y la real se estimó por los métodos de Turc (1955) y Budyko (1974).

Es importante mencionar que el IA representa la dinámica superficial del suelo determinada a partir de las variables de evapotranspiración potencial y de evapotranspiración real, y no se refiere a la dinámica subsuperficial del suelo, utilizada en análisis climáticos para clasificar el grado de humedad del suelo a través de la relación de la precipitación y la evapotranspiración potencial.

#### **RANGOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE CALIFICACIÓN**

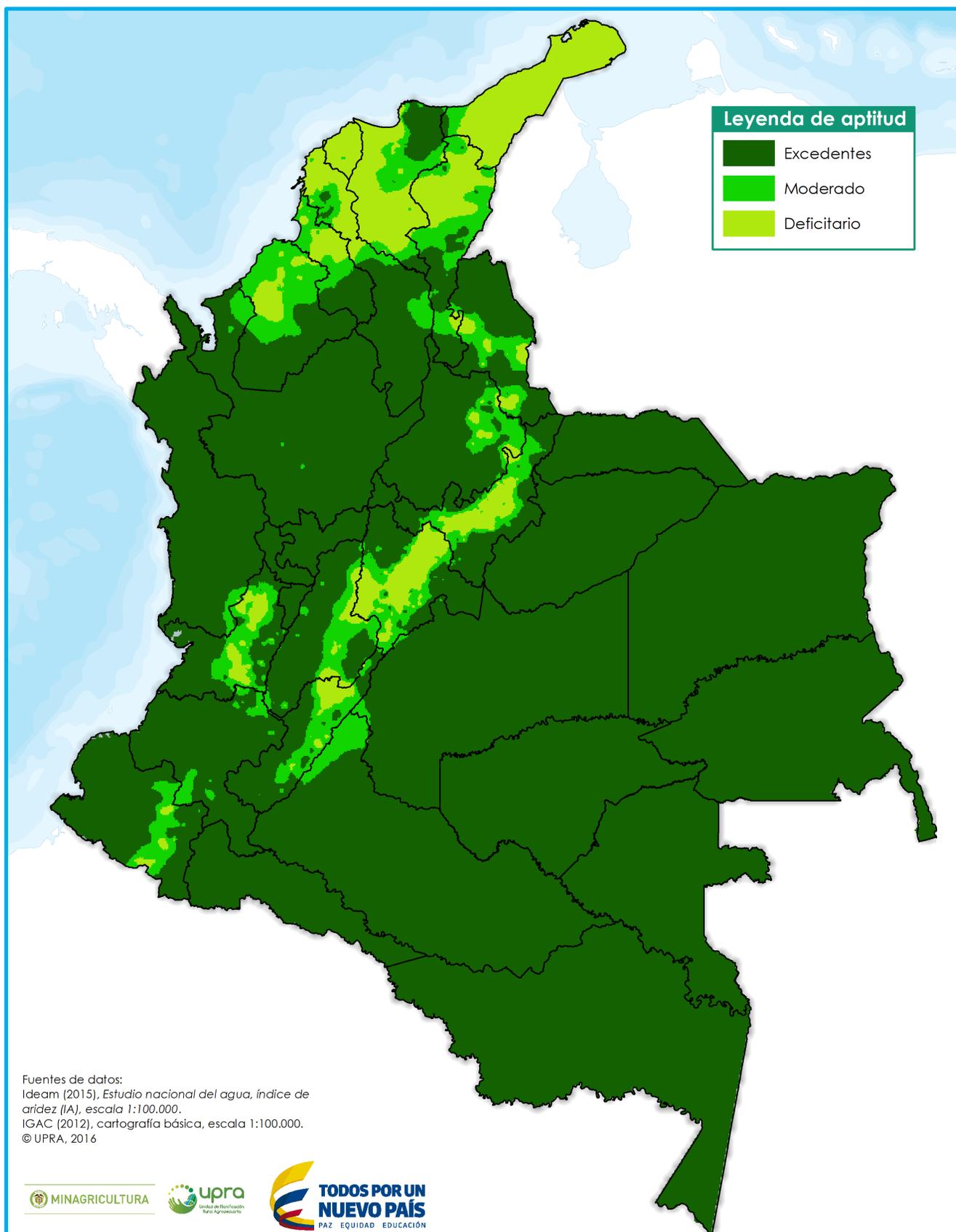
Los rangos se definen para dar respuesta a la necesidad o no del riego, por lo que se proponen tres (3) rangos definidos como reclasificación del índice de aridez, que contempla siete (7) categorías en el ENA 2014. La respuesta podría darse en términos de «déficit» o «excedencia», es decir, únicamente dos rangos; sin embargo, la inclusión del rango «moderado» por separado se realiza con base en la limitante de evaluación de la variable de no reflejar la variabilidad temporal, así es que, para una zona con descripción moderada, existe la posibilidad de tener meses deficitarios, que al ser unificado con el rango «excedentes» excluiría zonas potencialmente deficitarias.

Índice de aridez (IA), ENA 2014		Necesidad del recurso hídrico superficial		
Límites del rango	Categoría/Significado	Límites del rango	Símbolo para la leyenda	Categoría/Significado
< 0,15	Altos excedentes de agua	< 0,30	N3	No hay necesidad de agua. De moderados a altos excedentes de agua. No demanda aplicación de riego*.
0,15-0,19	Excedentes de agua			
0,20-0,29	Moderado a excedentes de agua			
0,30-0,39	Moderado	0,30-0,39	N2	No se presenta excedente ni déficit de agua. Puede demandar la aplicación de riego en algunos periodos del año.
0,40-0,49	Moderado a deficitario de agua	> 0,39	N1	Hay necesidad, de moderada a alta (deficitario de agua). Demanda la aplicación de riego.
0,50-0,59	Deficitario de agua			
> 0,6	Altamente deficitario de agua			

\* Para las zonas donde se presente necesidad del recurso hídrico superficial N3 (de moderados a altos excedentes de agua superficial) y al mismo tiempo regulación R3 (de baja a muy baja capacidad de retener y regular el agua), se debe analizar a una escala temporal más detallada, para determinar la necesidad o no del riego.

#### FUENTES DE INFORMACIÓN

Ideam. (2015a). *Estudio nacional del agua: capa de subzonas hidrográficas*, escala 1:100.000.



**VARIABLE NECESIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL**  
**COMPONENTE RECURSO HÍDRICO**

## FICHA METODOLÓGICA DE VARIABLE

COMPONENTE: RECURSO HÍDRICO

CRITERIO: NO APLICA

VARIABLE: DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL

TIPO DE VARIABLE: Caracterizador

ATRIBUTOS ASOCIADOS A LA VARIABLE

Reclasificación del índice de uso del agua (IUA) en condiciones hidrológicas de año seco del «Estudio nacional del agua 2014».

**DEFINICIÓN**

Cantidad de agua utilizada por los diferentes sectores usuarios en un periodo anual y unidad espacial de análisis en relación con la oferta hídrica superficial disponible para las mismas unidades temporales y espaciales.

Esta variable muestra espacialmente en qué zonas hay mayor o menor disponibilidad de agua superficial que podría ser usada para riego agrícola. Asimismo, puede interpretarse como en qué zonas del país se presentan las mayores restricciones por disponibilidad de agua debido a las presiones por uso, indicando el grado de presión sobre la oferta.

**IMPORTANCIA DE LA VARIABLE**

Es la representación espacial de la relación demanda-oferta. Para efectos del riego, esta relación se reinterpreta como la disponibilidad neta de agua superficial que potencialmente podría llegar a ser usada con fines de aplicación de riego para la producción agropecuaria. Caracteriza los polígonos definidos con criterios edafológicos y topográficos, lo que permite comparar áreas con dichas características idénticas o similares.

**LIMITANTES DE LA EVALUACIÓN DE LA VARIABLE**

En sentido estricto, el indicador debería considerar la oferta hídrica superficial y subterránea en forma unitaria. Sin embargo, mientras se tienen avances en la información y conceptualización sobre la oferta de agua subterránea, por parte de la entidad que corresponda, se considera en esta variable solamente la oferta hídrica superficial.

La variable se incluye a una escala temporal anual, motivo por el cual no refleja la variabilidad temporal del régimen hidrológico. Para ver reflejada dicha variación sería necesaria la realización de doce (12) mapas, uno por cada mes, o incluso a escala decadal, lo cual, para efectos del presente estudio, está fuera del alcance.

**ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE:** no aplica.

**METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN**

La disponibilidad del recurso hídrico superficial corresponde a una reinterpretación y reclasificación del índice de uso del agua (IUA) del «Estudio nacional del agua 2014», el cual es un indicador enmarcado dentro de los indicadores de intervención antrópica y a su vez es uno de los indicadores de presión por uso de agua.

Para su cálculo, se emplea la siguiente fórmula:

$$IUA = (D_h/O_h) \times 100$$

Donde:

$D_h$  = demanda hídrica sectorial

$O_h$  = oferta hídrica superficial disponible (esta última resulta de la cuantificación de la oferta hídrica natural sustrayendo la oferta correspondiente al caudal ambiental)

La demanda hídrica sectorial ( $D_h$ ) es la sumatoria del volumen de agua extraída para usos sectoriales en un periodo específico; se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$D_h = C_h + C_{sp} + C_{sm} + C_{ss} + C_{ea} + C_e + C_a + A_{enc}$$

Donde:

$D_h$  = demanda hídrica

$C_h$  = consumo humano o doméstico

$C_{sp}$  = consumo del sector agrícola

$C_{sm}$  = consumo del sector industrial

$C_{ss}$  = consumo del sector servicios

$C_e$  = consumo del sector energía

$C_a$  = consumo del sector acuícola

$A_{enc}$  = agua extraída no consumida

La oferta hídrica superficial disponible ( $O_h$ ) resulta de la cuantificación de la oferta hídrica natural, sustrayendo la oferta correspondiente al caudal ambiental. Se expresa a través de la siguiente ecuación:

$$O_h = O_{htotal} - O_{qamb}$$

Donde:

$O_{htota}$  = volumen total de agua superficial en una unidad de análisis espacial y temporal determinada

$O_{qamb}$  = volumen de agua correspondiente al caudal ambiental en la misma unidad de análisis espacial y de tiempo de la oferta total

## RANGOS DE CALIFICACIÓN

Estos muestran el grado de disponibilidad de agua superficial que podría usarse para riego; se definen cuatro (4) rangos producto de la reclasificación del IUA, que contempla originalmente seis (6) categorías

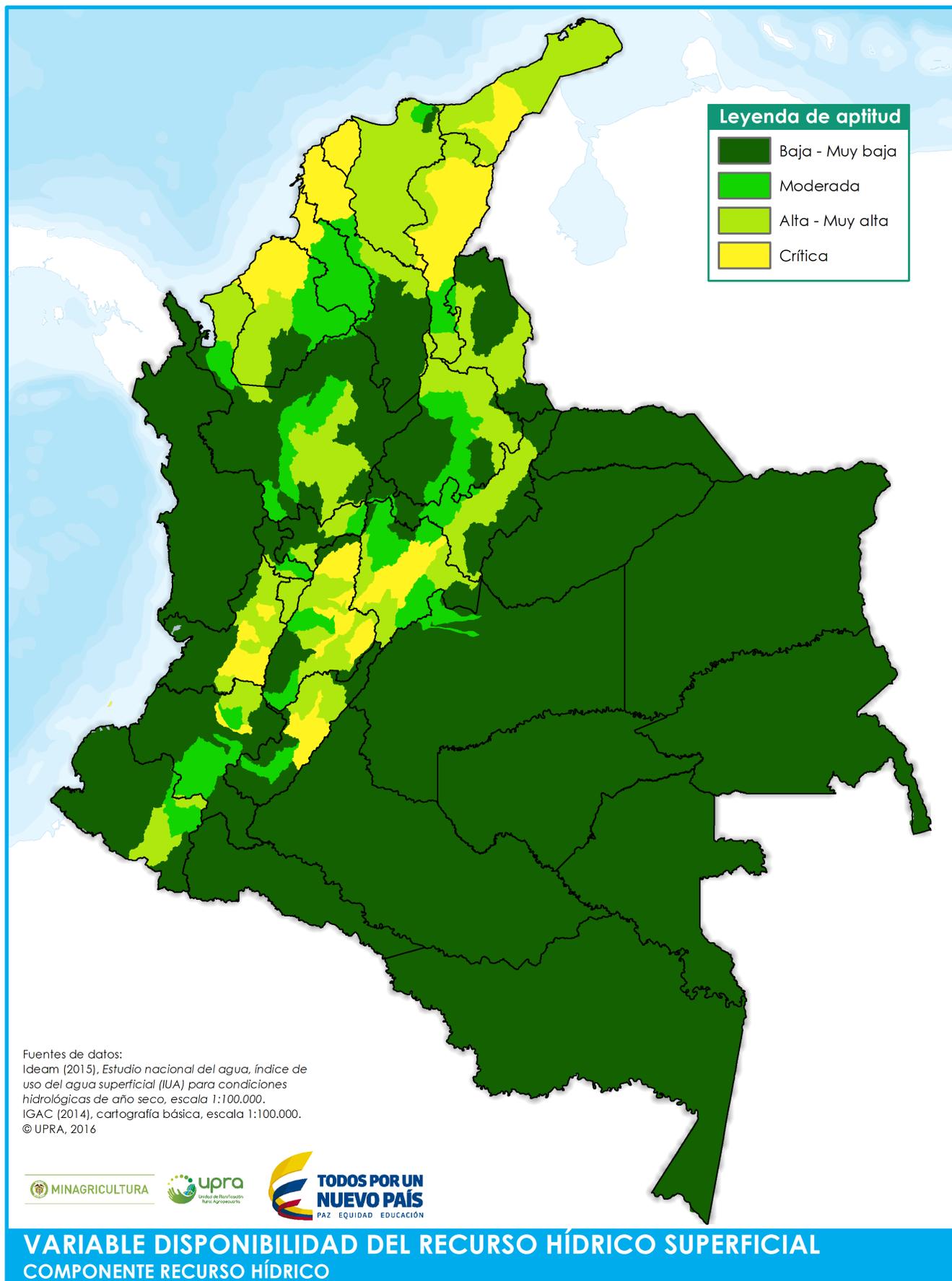
en el ENA 2014. La disponibilidad del recurso hídrico superficial es inversamente proporcional al IUA: entre menor es el valor de IUA, este se clasifica como bajo o muy bajo, lo que de acuerdo a la reclasificación corresponde a disponibilidad alta a muy alta.

En el siguiente cuadro se detalla la relación entre el IUA y la disponibilidad del recurso hídrico superficial.

Índice de uso del agua (IUA), ENA 2014		Disponibilidad del recurso hídrico superficial		
Límites del rango	Categoría/ Significado	Límites del rango	Símbolo para la leyenda	Categoría/Significado
> 100	Crítico	> 100	D4	Sin disponibilidad (crítico): la demanda supera las condiciones de la oferta.
50,01-100	Muy alto	20-100	D3	Disponibilidad baja a muy baja: la presión de la demanda es alta a muy alta con respecto a la oferta disponible.
20,01-50	Alto			
10,01-20	Moderado	10,01-20	D2	Disponibilidad moderada: la presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible.
1,0-10	Bajo	< 10	D1	Disponibilidad alta a muy alta: la presión de la demanda es baja o no es significativa con respecto a la oferta disponible.
≤ 1,0	Muy bajo			

#### FUENTES DE INFORMACIÓN

Ideam. (2015a). *Estudio nacional del agua: capa de subzonas hidrográficas*, escala 1:100.000.



## FICHA METODOLÓGICA DE VARIABLE

COMPONENTE: RECURSO HÍDRICO

CRITERIO: NO APLICA

VARIABLE: REGULACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL

TIPO DE VARIABLE: Caracterizador

ATRIBUTOS ASOCIADOS A LA VARIABLE

Reclasificación del índice de regulación hídrica (IRH) del  
«Estudio nacional del agua 2014».**DEFINICIÓN**

Representación espacial de la capacidad de la cuenca para mantener un régimen de caudales, producto de la interacción del sistema suelo-cobertura (condiciones geomorfológicas, geológicas, suelo, vegetación) con las condiciones climáticas, intervención antrópica y con las características físicas y morfométricas de la cuenca.

**IMPORTANCIA DE LA VARIABLE**

Permite evaluar la capacidad de regulación del sistema en su conjunto. Para efectos del riego y dada la escala temporal utilizada en el presente estudio (anual), esta variable permite caracterizar las zonas donde las variaciones de la disponibilidad y la demanda hídrica superficial son más o menos significativas. Caracteriza los polígonos definidos con criterios edafológicos y topográficos, permitiendo comparar áreas con dichas características idénticas o similares.

**LIMITANTES DE LA EVALUACIÓN DE LA VARIABLE**

No refleja la distribución o secuencia de los periodos en los que el caudal está regulado o no regulado, ni el momento del año en el que esto se produce.

**ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE:** no aplica.

**METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN**

La regulación del recurso hídrico superficial corresponde a una reinterpretación y reclasificación del índice de regulación hídrica (IRH) del «Estudio nacional del agua 2014», el cual es un indicador enmarcado dentro de los indicadores del sistema hídrico. La obtención de este indicador se basó fundamentalmente en la curva de duración de caudales medios diarios para las estaciones seleccionadas. Su estimación resulta de la relación entre el volumen representado por el área que se encuentra debajo de la línea del caudal medio y la correspondiente área total bajo la curva de duración de caudales diarios.

La expresión matemática de cálculo es la siguiente:

$$IRH = VP/Vt$$

Donde:

$IRH$  = índice de regulación hídrica

$VP$  = volumen representado por el área que se encuentra por debajo de la línea del caudal medio

$V_t$  = volumen total representado por el área bajo la curva de duración de caudales diarios

### RANGOS DE CALIFICACIÓN

Los rangos se definen para mostrar de manera concreta el nivel de regulación hídrica del área. Para tal fin, se definen tres (3) rangos producto de la reclasificación del índice de regulación hídrica (IRH) que contempla originalmente cinco (5) categorías en el ENA 2014. La regulación del recurso hídrico superficial es proporcional al IRH.

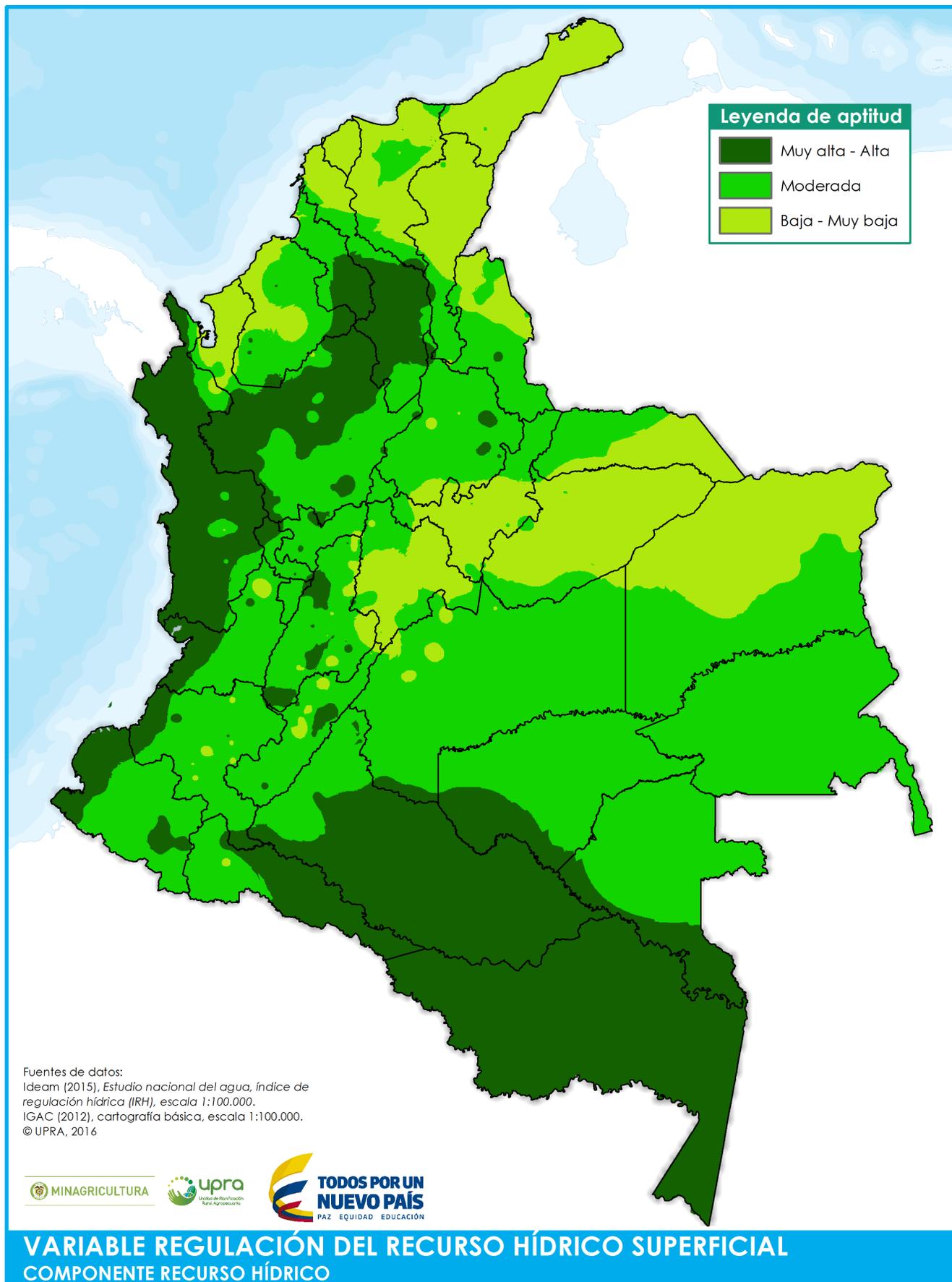
En el siguiente cuadro se detalla la relación entre el IRH y la regulación del recurso hídrico superficial, en términos numéricos, cualitativos y conceptuales.

Índice de uso del agua (IUA), ENA 2014		Regulación del recurso hídrico superficial		
Límites del rango	Categoría/Significado	Límites del rango	Símbolo para la leyenda	Categoría/Significado
< 0,5	Muy baja	< 0,65	R3	Baja a muy baja: capacidad de retener y regular el agua
0,5-0,65	Baja			
0,65-0,75	Moderada	0,65-0,75	R2	Moderada: capacidad de retener y regular el agua
0,75-0,85	Alta	> 0,75	R1	Alta a muy alta: capacidad de retener y regular el agua
> 0,85	Muy alta			

Interpretativamente, en términos de riego, una regulación baja significa que los caudales no son mantenidos por periodos largos de tiempo y por consiguiente es mucho más probable la necesidad de infraestructuras de regulación para la aplicación del riego en áreas con estas características. Igualmente, de manera indirecta, se puede deducir que el tiempo de escorrentía de la cuenca es corto o que se presentan fenómenos de precipitación de alta intensidad y baja duración, lo que se reflejaría en periodos de exceso. La lectura de este indicador, junto con el indicador de necesidad de recurso hídrico superficial, permite identificar, por ejemplo, que las zonas con baja regulación y déficit de agua son áreas que demandan la aplicación del riego.

### FUENTES DE INFORMACIÓN

Ideam. (2015a). *Estudio nacional del agua: capa de subzonas hidrográficas, escala 1:100.000.*



FICHA METODOLÓGICA DE CRITERIO	
COMPONENTE: ECOSISTÉMICO	
CRITERIO: USO SOSTENIBLE DEL SUELO RURAL	
TIPO DE CRITERIO: Caracterizador	
VARIABLES ASOCIADAS AL CRITERIO	Uso sostenible del agua superficial
	Calidad del recurso hídrico (agua superficial)
	Índice de prestación de servicios ecosistémicos (IPSE)

## DEFINICIÓN

Capacidad que las condiciones del ecosistema tienen para que los proyectos de adecuación de tierras realicen un uso de los recursos y los servicios ecosistémicos que sea sostenible, tanto para los proyectos mismos como para la cuenca hidrográfica en la que estos se encuentran.

La sostenibilidad se relaciona, de manera inversa, con la mayor posibilidad de degradación que tengan los recursos agua y suelo, también en un contexto territorial. De esta forma, allí donde haya una mayor susceptibilidad a la degradación, habrá mayores requerimientos de manejo para minimizar esa degradación.

## IMPORTANCIA DEL CRITERIO

La pérdida de biodiversidad residente y migratoria, como una externalidad negativa causada por la modificación de los regímenes hidrológicos asociada a proyectos de adecuación de tierras que incluyen la creación de presas y embalses, afecta la dinámica hidrológica y ecológica de los ecosistemas y la productividad de los sistemas agrícolas tradicionales en las tierras inundables asociadas a los cauces intervenidos. Asimismo, serios daños ambientales y sanitarios son ocasionados cuando se (re)utilizan aguas residuales sin un adecuado tratamiento previo para su utilización en el riego, una práctica que es muy difundida en los países en desarrollo.

La generación de estos impactos ambientales depende en gran parte de la susceptibilidad o predisposición del medio a sufrir daños como consecuencia de la construcción y operación de los proyectos; entre estos factores se pueden considerar la susceptibilidad del suelo a la erosión y la vulnerabilidad de los ecosistemas a la afectación por contaminación hídrica y modificación del régimen hidrológico.

No obstante, esos impactos también se derivan de las características de los proyectos, tales como la fuente de agua para el riego (superficial, subterránea, reutilizada, trasvasada), la construcción de presas y embalses, el sistema de riego, la utilización de agroquímicos, etc. (FAO, 2014).

## LIMITANTES DE LA EVALUACIÓN DEL CRITERIO

No todos los indicadores contemplados en primera instancia dentro de la conceptualización del proyecto pudieron ser aplicados debido a la falta de información para ese propósito. Se listan, sin embargo, ya que hacen parte de la construcción conceptual del componente ecosistémico (uso sostenible del agua superficial, uso sostenible del agua subterránea, calidad del recurso hídrico y conservación del suelo).

**ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DEL CRITERIO: 1,0****METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN**

La evaluación de este criterio se llevó a cabo mediante la integración de las variables respectivas, por medio de la evaluación multicriterio (EMC). El proceso se realizó mediante la superposición espacial y multiplicación en dos niveles anidados: multiplicación de variables agrupadas en criterios y multiplicación de criterios para generar el mapa final de aptitud del componente ecosistémico. Cada variable y criterio fue multiplicado a su vez por un factor de ponderación, los cuales fueron generados en forma espacializada y estandarizados desde su escala de valores original a una escala de 0 a 1, mediante una reclasificación en tres clases a partir del método estadístico automatizado de Natural Breaks. Esta clasificación automatizada identifica la agrupación natural de los valores a lo largo del rango total y maximiza la diferencia entre las clases identificadas, estableciendo límites de clase donde hay diferencias relativamente grandes entre los valores. De esta forma, se identificaron tres categorías de aptitud (alta, media y baja), a las cuales se asignaron los valores de 1,0, 0,5 y 0,1, respectivamente.

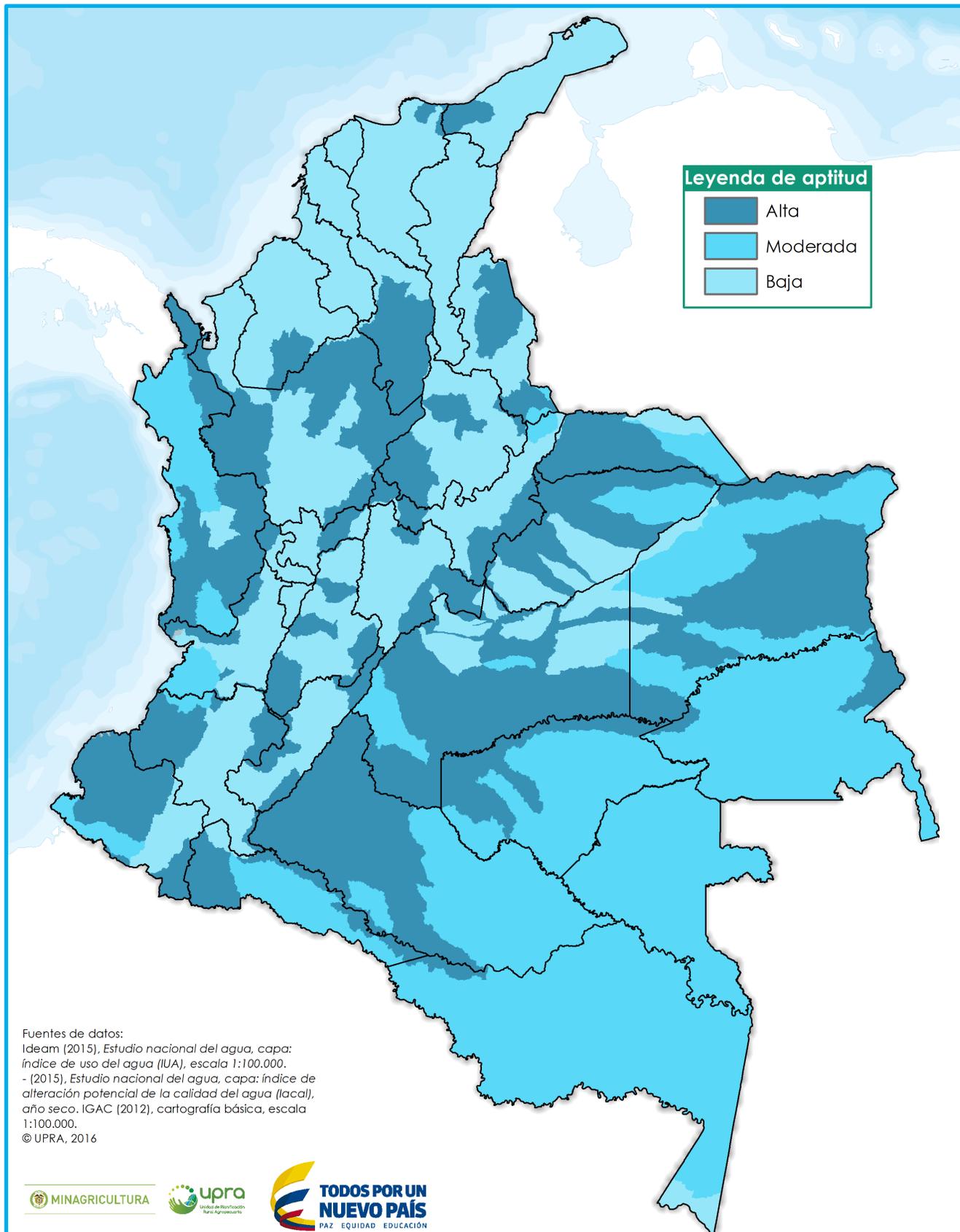
Previo a la EMC se llevó a cabo la ponderación de las variables, asignando a cada una un peso relativo de 0 a 1. Esta valoración se realizó según la importancia atribuida al tema respectivo dentro del enfoque de trabajo y la calidad de la información utilizada para su aplicación. Esta última fue valorada de acuerdo a los indicios sobre su calidad, principalmente resolución espacial o escala cartográfica y metodología para su elaboración.

**RANGOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE CALIFICACIÓN**

Criterio EMC	Índice de calificación (ponderación)	Variable	Índice de calificación
Uso sostenible del suelo rural	1,0	Uso sostenible del agua superficial	1,0
		Calidad del agua superficial	0,8
		Índice de prestación de servicios ecosistémicos (IPSE)	0,8

**FUENTES DE INFORMACIÓN**

Consolidado de capas de criterios de usos sostenibles del suelo rural.



FICHA METODOLÓGICA DE VARIABLE	
COMPONENTE: ECOSISTÉMICO	
CRITERIO: USO SOSTENIBLE DEL SUELO RURAL	
VARIABLE: USO SOSTENIBLE DEL AGUA SUPERFICIAL	
TIPO DE VARIABLE: Caracterizador	
ATRIBUTOS ASOCIADOS A LA VARIABLE	Aptitud
	Alta (1,0)
	Media (0,5)
	Baja (0,1)

## DEFINICIÓN

Potencial para la utilización hídrica de una cuenca hidrográfica, en función de la presión de uso de la misma. En una cuenca con una mayor presión de uso sobre la oferta de agua existente, el potencial para el uso sostenible del agua será menor. En cuencas donde la demanda actual de agua corresponde a una menor proporción de la oferta disponible, existen mejores condiciones para el uso sostenible de esta para la adecuación de tierras.

La variable es una reclasificación del IUA, estimado por el «Estudio nacional del agua 2014» (Ideam, 2015a).

## IMPORTANCIA DE LA VARIABLE

Esta variable refleja el potencial que las condiciones de oferta y demanda de agua en la cuenca hidrográfica representan para que su uso por parte de los proyectos de adecuación de tierras sea sostenible, tanto en el marco del proyecto como en el marco territorial de la cuenca hidrográfica; entre menor presión de uso tenga la cuenca, mayor va ser su potencial para la aplicación de irrigación.

## LIMITANTES DE LA EVALUACIÓN DE LA VARIABLE

La información representada cartográficamente se encuentra en escala 1:100.000, pero la red de mediciones hidroclimatológica, y en especial la hidrométrica, no es lo suficientemente densa para representar de manera fiel las condiciones de todas las cuencas hidrográficas. Adicionalmente, la informalidad de captaciones en corrientes superficiales impide tener un registro fiel de la demanda y la disponibilidad hídrica en cada fuente.

**ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE:** 1,0

## METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Para esta variable se utilizó la información del índice de uso del agua (IUA) por subzona hidrográfica para condiciones hidrológicas de año seco, estimado por el «Estudio nacional del agua 2014» (Ideam, 2015a). El IUA se define como la «cantidad de agua utilizada por los diferentes sectores usuarios, en un periodo determinado (anual, mensual) y unidad espacial de análisis (área, zona, subzona, etc.) en relación con la oferta hídrica superficial disponible para las mismas unidades de tiempo y espaciales» (Ideam, 2010a). La construcción del indicador responde a la siguiente ecuación (Ideam, 2015a):

$$IUA = \left( \frac{D_h}{O_h} \right) \times 100$$

Donde:

$D_h$  = demanda hídrica

$O_h$  = oferta hídrica superficial disponible

La demanda hídrica se calcula como:

$$D_h = C_h + C_{sp} + C_{sm} + C_{ss} + C_{ea} + C_e + C_a + A_{enc}$$

Donde:

$C_h$  = consumo humano o doméstico

$C_{sp}$  = consumo del sector agrícola

$C_{sm}$  = consumo del sector industrial

$C_{ss}$  = consumo del sector servicios

$C_e$  = consumo del sector energía

$C_a$  = consumo del sector acuícola

$A_{enc}$  = agua extraída no consumida

Por su parte,  $O_h$  resulta de la cuantificación de la oferta hídrica natural sustrayendo la oferta correspondiente al caudal ambiental:

$$O_h = O_{htotal} - O_{qamb}$$

Donde:

$O_{htotal}$  = volumen total de agua superficial en una unidad de análisis espacial y temporal determinada

$O_{qamb}$  = volumen de agua correspondiente al caudal ambiental en la misma unidad de análisis espacial y de tiempo de la oferta total

La preparación de este índice, para ser aplicado como variable en el presente estudio, consistió en su estandarización con las demás variables mediante la asignación de valores en un rango de 0 a 1 a las categorías cualitativas en que viene clasificado. Los rangos y las categorías en que se califica originalmente el IUA se muestran en el cuadro que se presenta a continuación.

Rangos y categorías del índice de uso del agua, ENA 2014

Rango	Categoría	Significado
≤ 1	Muy bajo	La presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta disponible
1,01-10	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible
10,01-20	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible
20,01-50	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
50,01-100	Muy alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
> 100	Crítico	La presión supera las condiciones de la oferta

Fuente: Ideam, 2015a.

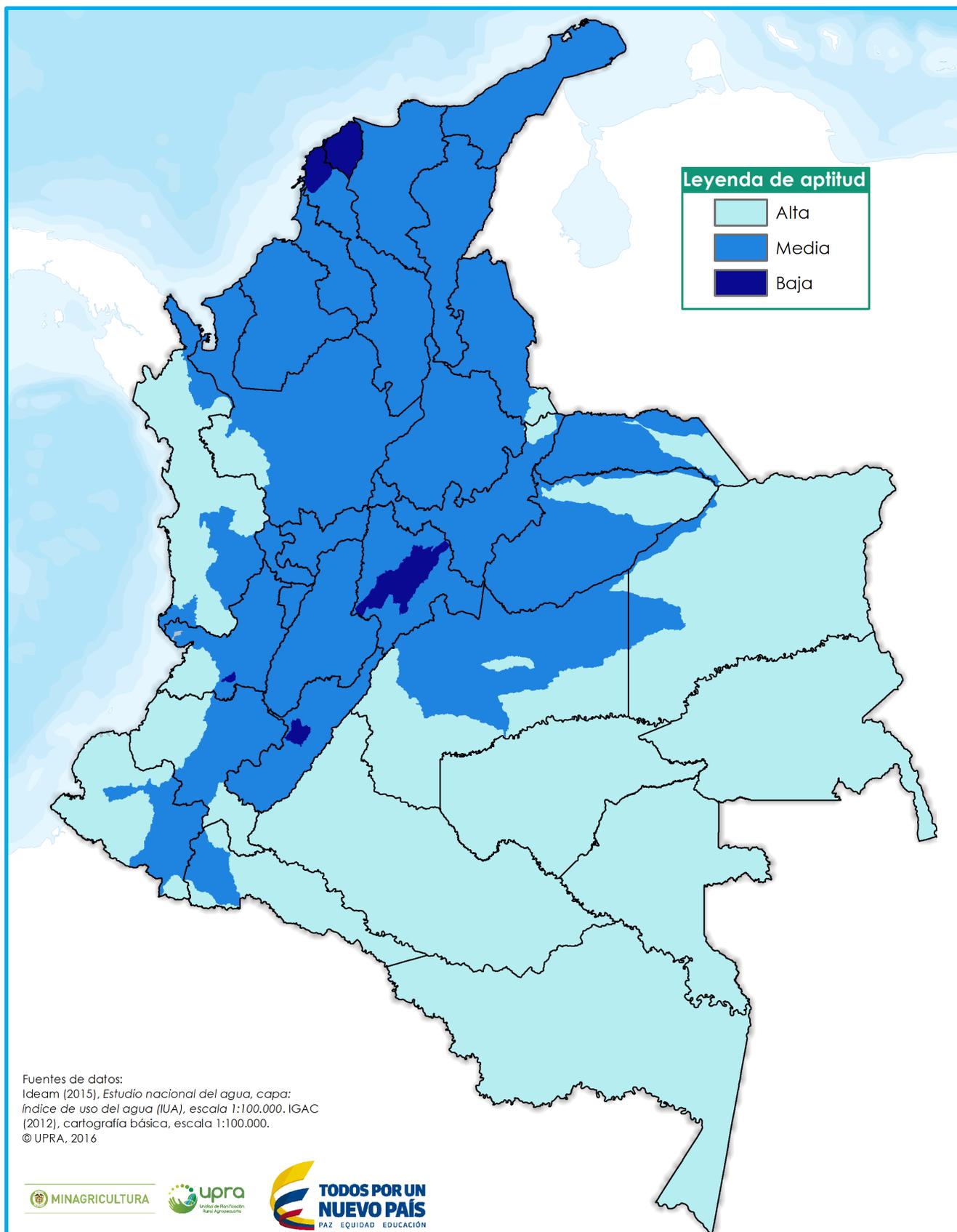
RANGOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE CALIFICACIÓN

Variable	Reclasificación y estandarización			
Uso sostenible del agua superficial	IUA	Valores bajos (0) → → → → → → → → Valores altos (1627,9)		
	Aptitud	Alta	Media	Baja
		1,0	0,5	0,1

La multiplicación de los criterios de aptitud se realizó sin aplicar una reclasificación previa de sus valores, puesto que estos ya estaban estandarizados en una escala de 0 a 1. Sus resultados se clasifican en tres categorías de aptitud (alta, media y baja), las cuales fueron obtenidas de forma que tuvieran una proporción similar del área del país. Esta categorización tiene el propósito de mostrar, en una forma simplificada, cómo se distribuye el potencial para adecuación de tierras en la extensión del territorio nacional continental.

FUENTES DE INFORMACIÓN

Ideam. (2015a). *Estudio nacional del agua: capa de subzonas hidrográficas, escala 1:100.000.*



**USO SOSTENIBLE DEL AGUA SUPERFICIAL**  
**COMPONENTE ECOSISTÉMICO**

FICHA METODOLÓGICA DE VARIABLE	
COMPONENTE: ECOSISTÉMICO	
CRITERIO: USO SOSTENIBLE DEL SUELO RURAL	
VARIABLE: CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL	
TIPO DE VARIABLE: Caracterizador	
ATRIBUTOS ASOCIADOS A LA VARIABLE	Aptitud
	Alta (1,0)
	Media (0,5)
	Baja (0,1)

## DEFINICIÓN

Potencial para adecuación de tierras a partir de la calidad del agua. Una cuenca donde esta calidad sea mejor tendrá un mayor potencial, tanto para su uso para riego como para que el recurso siga conservando una calidad adecuada para otros usos y usuarios en el territorio de la cuenca hidrográfica. Por el contrario, una cuenca con mayor presión por contaminación representará mayores requerimientos de manejo para el uso de agua para el riego, y al mismo tiempo sus recursos hídricos tendrán una mayor susceptibilidad de degradarse hasta un punto ambientalmente insostenible.

## IMPORTANCIA DE LA VARIABLE

Esta variable representa la amenaza potencial de alteración de la calidad del agua por subzona hidrográfica. Esta afectación se puede expresar como una amenaza en la medida en que la variabilidad en la oferta de agua incrementa o reduce la capacidad natural de autodepuración del sistema hídrico superficial que las recibe (Ideam, 2010a).

## LIMITANTES DE LA EVALUACIÓN DE LA VARIABLE

La información base para la cartografía y elaboración de sus metadatos corresponde a estimaciones, dada la insuficiencia en términos de densidad muestral y uniformidad de criterios y parámetros de muestreo. Por escala fuente y calidad de información, esta variable no deja de ser indicativo.

**ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE:** 0,8

## METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Para aplicar esta variable se utilizó la información del índice de alteración potencial de la calidad del agua (Iacal) por subzona hidrográfica para condiciones hidrológicas de año seco, estimado por el «Estudio nacional del agua 2014» (Ideam, 2015a). El Iacal refleja la presión multisectorial por contaminación sobre los sistemas hídricos y cuerpos de agua (materia orgánica, sólidos suspendidos y nutrientes), a partir de la estimación de las cargas contaminantes puntuales vertidas por los sectores industrial, doméstico, sacrificio de ganado y beneficio del café. Su estimación involucra la demanda química de oxígeno (DQO), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos totales (SST), nitrógeno total (NT), fósforo total (PT) y oferta hídrica total.

La metodología para la integración de estas variables estimadas en el local se puede consultar en el ENA 2014 (Ideam, 2015a).

El procedimiento para la aplicación de esta variable en la zonificación consistió en su estandarización con las demás variables mediante la asignación de valores de 0 a 1 a las categorías originales, las cuales se muestran en el cuadro que aparece a continuación.

Rangos y categorías del local

Categoría	Rangos (carga en t/año o mm <sup>3</sup> )				
	DBO	DQO-DBO	SST	NT	PT
Muy bajo	< 0,13	< 0,13	< 0,3	< 0,02	< 0,004
Bajo	0,14-0,39	0,14-0,35	0,40-0,70	0,03-0,05	0,005-0,0013
Medio	0,40-1,20	0,36-1,16	0,80-1,80	0,06-0,13	0,036-0,134
Alto	1,20-4,85	1,17-6,77	1,90-7,60	0,14-0,55	0,036-0,134
Muy alto	> 4,86	> 6,78	> 7,70	> 0,56	> 0,135

Fuente: Ideam, 2015a.

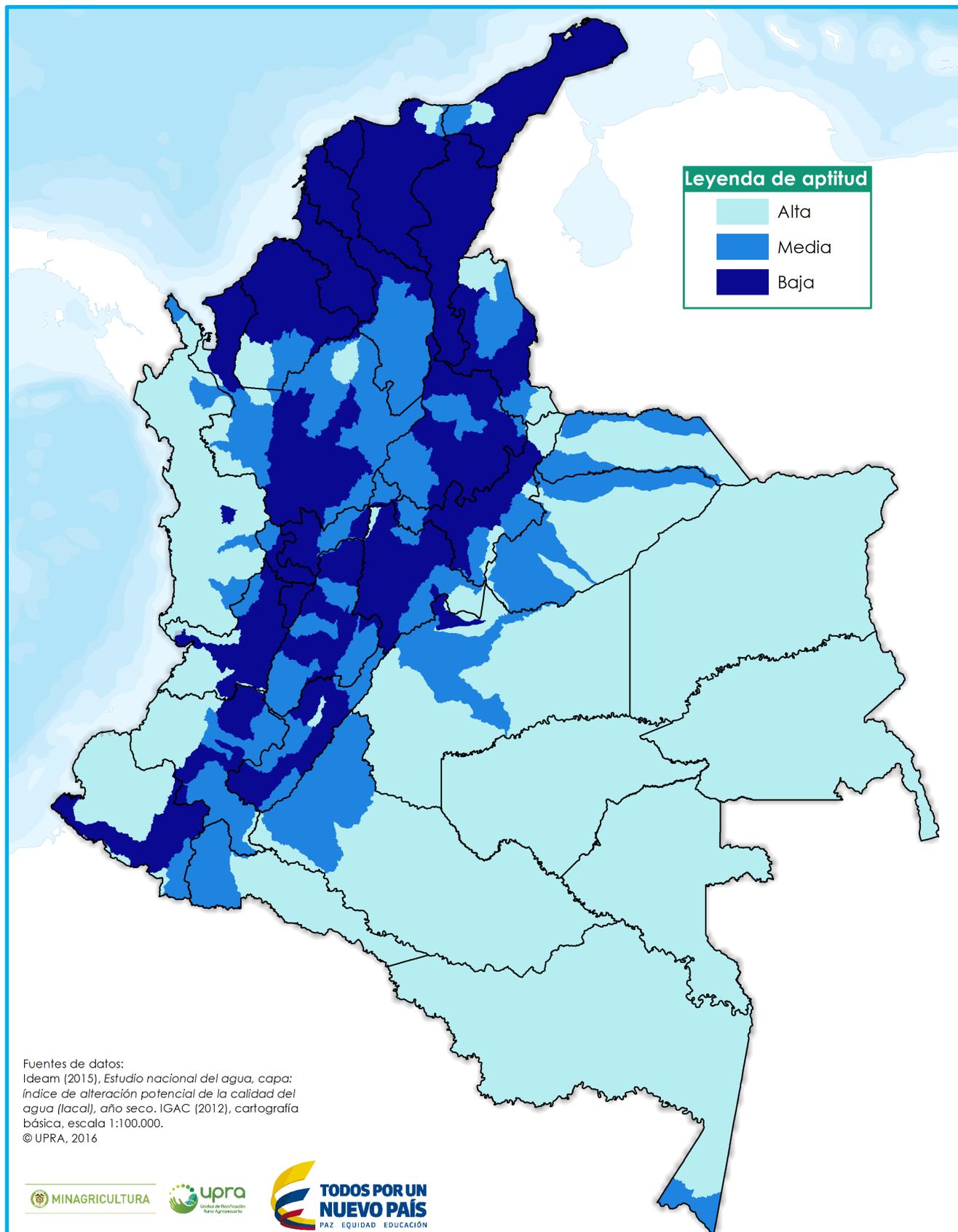
## RANGOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE CALIFICACIÓN

Indicador	Reclasificación y estandarización			
	Calidad del agua superficial	local	Valores bajos (0) → → → → → → → → Valores altos (5)	
Aptitud		Alta	Media	Baja
		1,0	0,5	0,1

La multiplicación de los criterios de aptitud se realizó sin aplicar una reclasificación previa de sus valores, puesto que estos ya estaban estandarizados en una escala de 0 a 1. Sus resultados se clasifican en tres categorías de aptitud (alta, media y baja), las cuales fueron obtenidas de forma que tuvieran una proporción similar del área del país. Esta categorización tiene el propósito de mostrar, en una forma simplificada, cómo se distribuye el potencial para adecuación de tierras en la extensión del territorio nacional continental.

## FUENTES DE INFORMACIÓN

Ideam. (2015a). *Estudio nacional del agua: capa de subzonas hidrográficas, escala 1:100.000.*



**Leyenda de aptitud**

Alta
Media
Baja

Fuentes de datos:  
Ideam (2015), *Estudio nacional del agua, capa: índice de alteración potencial de la calidad del agua (Iacal)*, año seco. IGAC (2012), cartografía básica, escala 1:100.000.  
© UPRA, 2016



**CALIDAD DEL AGUA SUPERFICIAL**  
**COMPONENTE ECOSISTÉMICO**

FICHA METODOLÓGICA DE CRITERIO	
COMPONENTE: ECOSISTÉMICO	
CRITERIO: CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD Y SUS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS	
TIPO DE CRITERIO: Caracterizador	
VARIABLES ASOCIADAS AL CRITERIO	Distribución de la riqueza de especies
	Áreas importantes para la conservación de las aves (AICA)
	Prioridades de conservación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (Sinap)
	Conectividad estructural de las coberturas naturales (CECN)
	Índice de prestación de servicios ecosistémicos (IPSE)

### DEFINICIÓN

Acciones de preservación, restauración y uso sostenible de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos adelantadas por los actores competentes en las áreas consideradas como estratégicas para ese propósito (ecosistemas estratégicos y otras áreas naturales), que buscan que dichas áreas no sean comprometidas o, en su defecto, sean compensadas por la implementación de proyectos de adecuación de tierras. En este sentido, la conservación que se promueve se relaciona principalmente con evitar la transformación de los ecosistemas presentes en las áreas de influencia a las áreas de uso agropecuario.

Asimismo, se busca que en las áreas de uso agropecuario, en las que se puedan implementar sistemas o distritos de riego, se adelanten acciones de conservación en la medida en que los valores ambientales allí existentes lo requieran. Por lo tanto, además de identificar los ecosistemas estratégicos, este criterio identifica, a partir de la información espacial disponible, los valores ambientales presentes en todo el territorio y los incorpora como atributos de este en la zonificación de áreas potenciales para la adecuación de tierras (APAT).

### IMPORTANCIA DEL CRITERIO

El potencial para la adecuación de tierras evaluado desde este criterio de la zonificación tendrá una relación inversa con la presencia de elementos de la biodiversidad, con el fin de maximizar la conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que esta presta en todo el territorio. En ese sentido, una mayor biodiversidad representará mayores requerimientos de manejo para su conservación, tanto a nivel local (sistema o distrito de riego) como a nivel de cuenca hidrográfica.

### LIMITANTES DE LA EVALUACIÓN DEL CRITERIO

Es necesario mencionar que en Colombia persisten enormes vacíos de información sobre la distribución de la biodiversidad. Más del 50 % de los registros se concentra en cinco departamentos. A excepción de algunas zonas de la región andina, el país carece de series de datos robustas y accesibles sobre biodiversidad. Incluso las áreas de mayor representatividad alcanzan solo la mitad estimada de registros posibles. Los grupos taxonómicos mejor representados son los animales vertebrados y entre las plantas, el grupo de las palmas.

Una limitante adicional está relacionada con el margen de error asociado a la integración de variables espacializadas con diferentes métodos de captura y nivel de precisión, así como a la forma de tratamiento metodológico y de representación gráfica.

**ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DEL CRITERIO: 0,8**

### METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

La evaluación de este criterio se llevó a cabo mediante la integración de las variables respectivas, por medio de la evaluación multicriterio (EMC). El proceso se realizó mediante la superposición espacial y multiplicación en dos niveles anidados: multiplicación de variables agrupadas en criterios y multiplicación de criterios para generar el mapa final de aptitud del componente socioecosistémico. Cada variable y criterio fue multiplicado a su vez por un factor de ponderación, los cuales fueron generados en forma espacializada y estandarizados desde su escala de valores original a una escala de 0 a 1, mediante una reclasificación en tres clases a partir del método estadístico automatizado de Natural Breaks. Esta clasificación automatizada identifica la agrupación natural de los valores a lo largo del rango total y maximiza la diferencia entre las clases identificadas, estableciendo límites de clase donde hay diferencias relativamente grandes entre los valores. De esta forma, se identificaron tres categorías de aptitud (alta, media y baja), a las cuales se asignaron los valores de 1,0, 0,5 y 0,1, respectivamente.

Previo a la EMC se llevó a cabo la ponderación de las variables, asignando a cada una un peso relativo de 0 a 1. Esta valoración se realizó de acuerdo con la importancia atribuida al tema respectivo dentro del enfoque de trabajo y la calidad de la información utilizada para su aplicación. Esta última fue valorada según los indicios sobre su calidad, principalmente resolución espacial o escala cartográfica y metodología para su elaboración.

### RANGOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE CALIFICACIÓN

Criterio EMC	Índice de calificación	Variable	Índice de calificación
Conservación de la biodiversidad y los sistemas ecosistémicos	0,8	Distribución de la riqueza de especies	0,8
		Áreas importantes para la conservación de las aves (AICA)	0,9
		Prioridades de conservación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (Sinap)	1,0
		Conectividad estructural de las coberturas naturales (CECN)	0,7

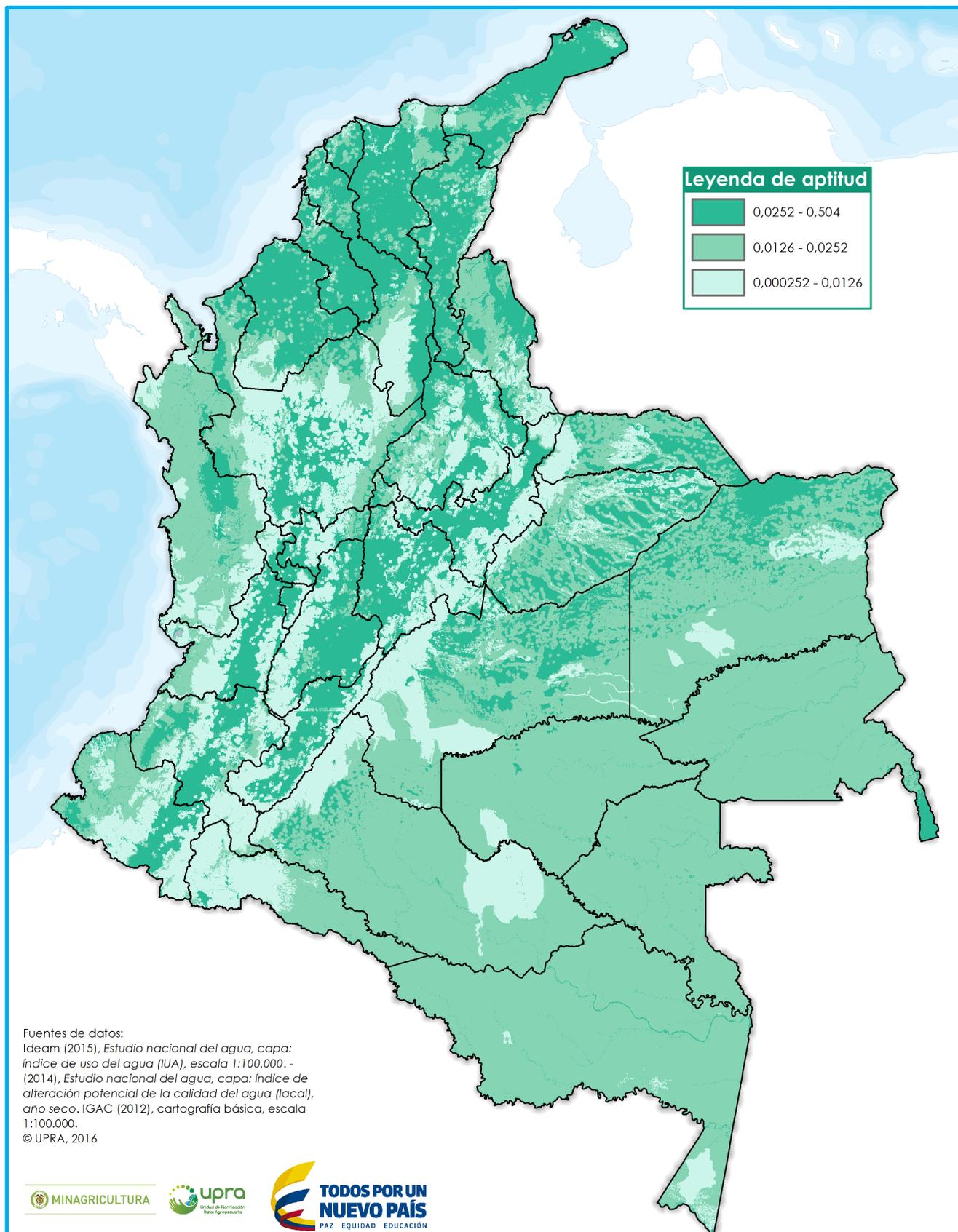
## FUENTES DE INFORMACIÓN

IAVH. (2015b). *Áreas importantes para la conservación de las aves, escala 1:100.000.*

Franco, A. M. et al. (2009). «Colombia». En: C. Devenish, D. F. Díaz Fernández, R. P. Clay, I. Davidson e I. Yépez Zabala (Eds.). *Important Bird Areas Americas. Priority sites for biodiversity conservation.* Quito (Ecuador): BirdLife International.

MADS. (2015). *Resoluciones 1628 y 1814. «Por la cual se declaran y delimitan unas zonas de protección y desarrollo de los recursos naturales renovables y del medio ambiente, y se toman otras determinaciones».* Mapa de otras categorías Sinap.

Ideam et al. (2012). *Mapa nacional de cobertura de la tierra, metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia, imágenes 2005-2009, escala 1:100.000, versión 1.0.*



Fuentes de datos:  
Ideam (2015), Estudio nacional del agua, capa:  
índice de uso del agua (IUA), escala 1:100.000. -  
(2014), Estudio nacional del agua, capa: índice de  
alteración potencial de la calidad del agua (Iacal),  
año seco. IGAC (2012), cartografía básica, escala  
1:100.000.  
© UPRA, 2016



FICHA METODOLÓGICA DE VARIABLE	
COMPONENTE: ECOSISTÉMICO	
CRITERIO: CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD Y SUS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS	
VARIABLE: DISTRIBUCIÓN DE LA RIQUEZA DE ESPECIES	
TIPO DE VARIABLE: Caracterizador	
ATRIBUTOS ASOCIADOS A LA VARIABLE	Aptitud
	Alta (1,0)
	Media (0,5)
	Baja (0,1)

### DEFINICIÓN

Número de especies que se pueden encontrar en un área determinada. Para el presente estudio, esta variable indica que las áreas con mayor riqueza de especies tendrán un menor potencial para la adecuación de tierras o, en sentido inverso, tendrán un mayor grado de requerimientos de manejo para la conservación de esa riqueza natural, con medidas como su protección frente a la caza de animales y el control del aprovechamiento de la vegetación, la reducción de la perturbación por contaminación sonora y lumínica, la minimización de la contaminación del aire por quemas, el uso de combustibles y la volatilización de agroquímicos y, en general, evitando la degradación de los ecosistemas que constituyen sus hábitats, tanto terrestres como acuáticos.

### IMPORTANCIA DE LA VARIABLE

El conocimiento de la distribución espacial de esta variable permite identificar las zonas objeto de promover o desarrollar proyectos productivos aptos para el riego en zonas donde se minimicen las afectaciones a la fauna.

### LIMITANTES DE LA EVALUACIÓN DE LA VARIABLE

Es necesario mencionar que en Colombia persisten enormes vacíos de información sobre la distribución de la biodiversidad. Más del 50 % de los registros se concentra en cinco departamentos. A excepción de algunas zonas de la región andina, el país carece de series de datos robustas y accesibles sobre biodiversidad. Incluso las áreas de mayor representatividad alcanzan solo la mitad estimada de registros posibles. Los grupos taxonómicos mejor representados son los animales vertebrados y entre las plantas, el grupo de las palmas.

**ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE:** 0,8

### METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Los registros utilizados para el desarrollo de los modelos provienen principalmente de bases de datos biológicos de acceso libre, como el Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia (SIB) y la Infraestructura Mundial de Información en Biodiversidad (GBIF, por su sigla en inglés), las cuales son validadas taxonómica y geográficamente. El modelamiento se realiza a partir de 19 variables bioclimáticas y mediante la aplicación del modelo Maxent, un método basado en el principio de máxima entropía. La preparación de esta información para su aplicación en la zonificación consistió en la estandarización de los

valores de número de especies probables en una escala de 0 a 1 para su integración posterior con los demás indicadores.

## RANGOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE CALIFICACIÓN

Indicador	Reclasificación y estandarización		
Distribución de la riqueza de especies	Riqueza	Valores bajos (1) → → → → → → → → Valores altos (2473)	
	Aptitud	Alta	Media
		1,0	0,5
Baja	0,1		

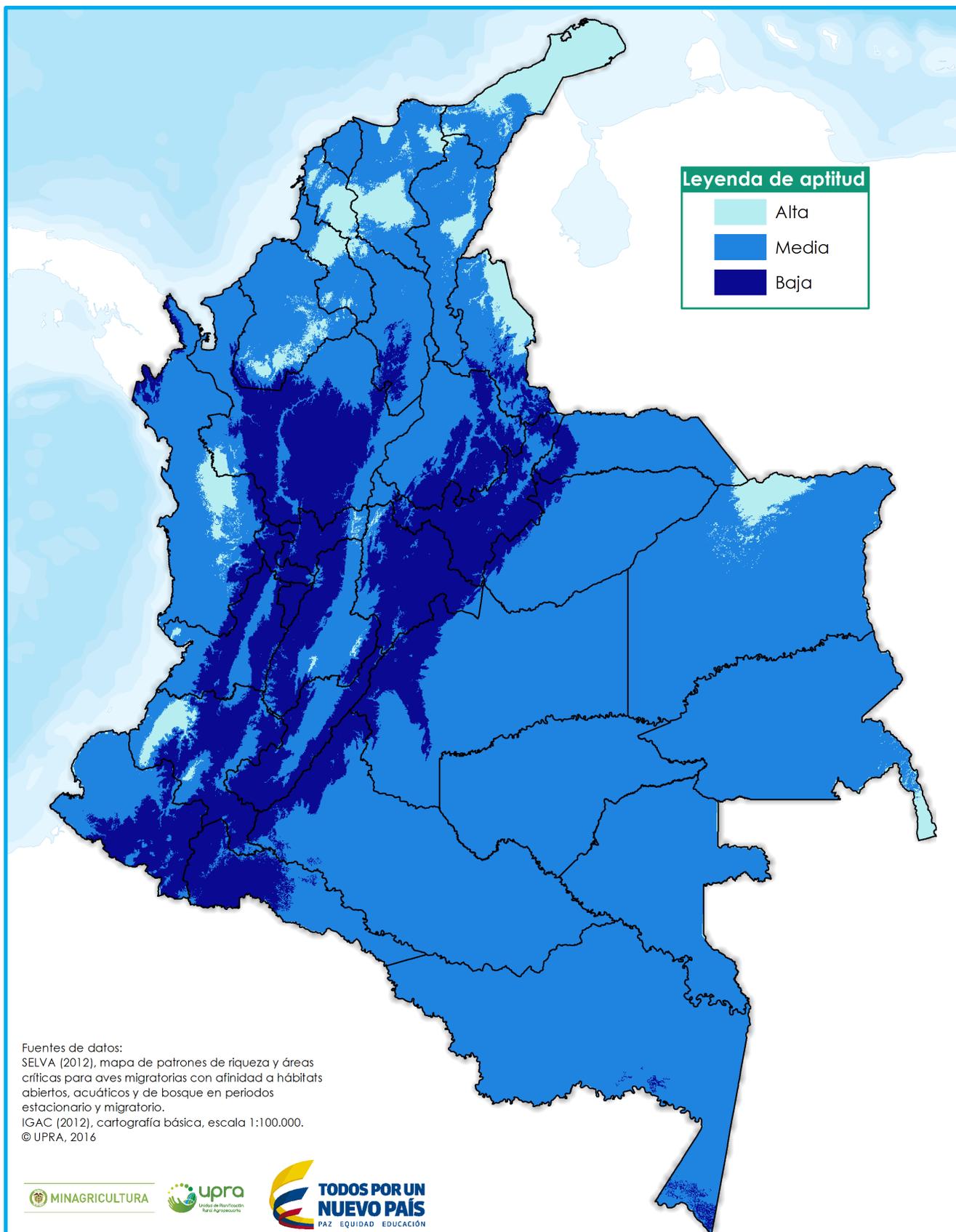
La multiplicación de los criterios de aptitud se realizó sin aplicar una reclasificación previa de sus valores, puesto que estos ya estaban estandarizados en una escala de 0 a 1. Sus resultados se clasifican en tres categorías de aptitud (alta, media y baja), las cuales fueron obtenidas de forma que tuvieran una proporción similar del área del país. Esta categorización tiene el propósito de mostrar, en una forma simplificada, cómo se distribuye el potencial para adecuación de tierras en la extensión del territorio nacional continental.

## FUENTES DE INFORMACIÓN

Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia (SIB).

Infraestructura Mundial de Información en Biodiversidad (GBIF, por su sigla en inglés).

Ideam. (2015). *Mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia, escala 1:100.000.*



## DISTRIBUCIÓN DE LA RIQUEZA DE ESPECIES COMPONENTE ECOSISTÉMICO

FICHA METODOLÓGICA DE VARIABLE	
COMPONENTE: ECOSISTÉMICO	
CRITERIO: CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD Y SUS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS	
VARIABLE: ÁREAS IMPORTANTES PARA LA CONSERVACIÓN DE LAS AVES (AICA)	
TIPO DE VARIABLE: Caracterizador	
ATRIBUTOS ASOCIADOS A LA VARIABLE	Aptitud
	Alta (1,0)
	Media (0,5)
	Baja (0,1)

## DEFINICIÓN

En Colombia se han identificado 116 áreas importantes para la conservación de las aves (AICA), que cubren 7.699,302 ha y corresponden al 7,1 % del país (Franco *et al.*, 2009). Asimismo, es el país del mundo con mayor riqueza de aves, contando 1903 especies. De estas, 122 especies (6 %) se encuentran amenazadas de extinción según la lista roja de la UICN (Proaves, 2014).

## IMPORTANCIA DE LA VARIABLE

Las AICA son sitios de importancia crítica a nivel mundial para las aves y la biodiversidad. Son identificadas por la presencia de especies indicadoras, de acuerdo con los siguientes criterios (BirdLife International y Conservation International, 2005):

- Especies globalmente amenazadas: los sitios que mantienen regularmente números significativos de especies amenazadas a nivel mundial califican automáticamente como AICA.
- Especies de distribución restringida: las AICA se seleccionan de forma que incluyan especies y hábitats característicos de las áreas de endemismo de aves.
- Conjunto de especies restringidas a biomas: los sitios que presentan un componente significativo de especies de aves características de un bioma o región zoogeográfica califican como AICA.
- Congregaciones de especies: los sitios que mantienen grandes concentraciones de aves acuáticas, costeras o marinas, así como otras aves migratorias o gregarias (rapaces, loros, guácharos y ciertos paseriformes), son clasificados como AICA.

## LIMITANTES DE LA EVALUACIÓN DE LA VARIABLE

Las AICA no constituyen figuras de protección. Son consideradas estrategias complementarias de conservación de acuerdo con el Decreto 2372 de 2010.

**ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE:** 0,9

## METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Las AICA se integraron en la zonificación a partir de la información espacial del Instituto Alexander von Humboldt (IAVH, 2015b) y los datos sobre valoración de los criterios para identificación de AICA de BirdLife International (Franco *et al.*, 2009). Estos últimos fueron utilizados para estandarizar este indicador en el rango de 0 a 1, para su posterior integración con las demás variables.

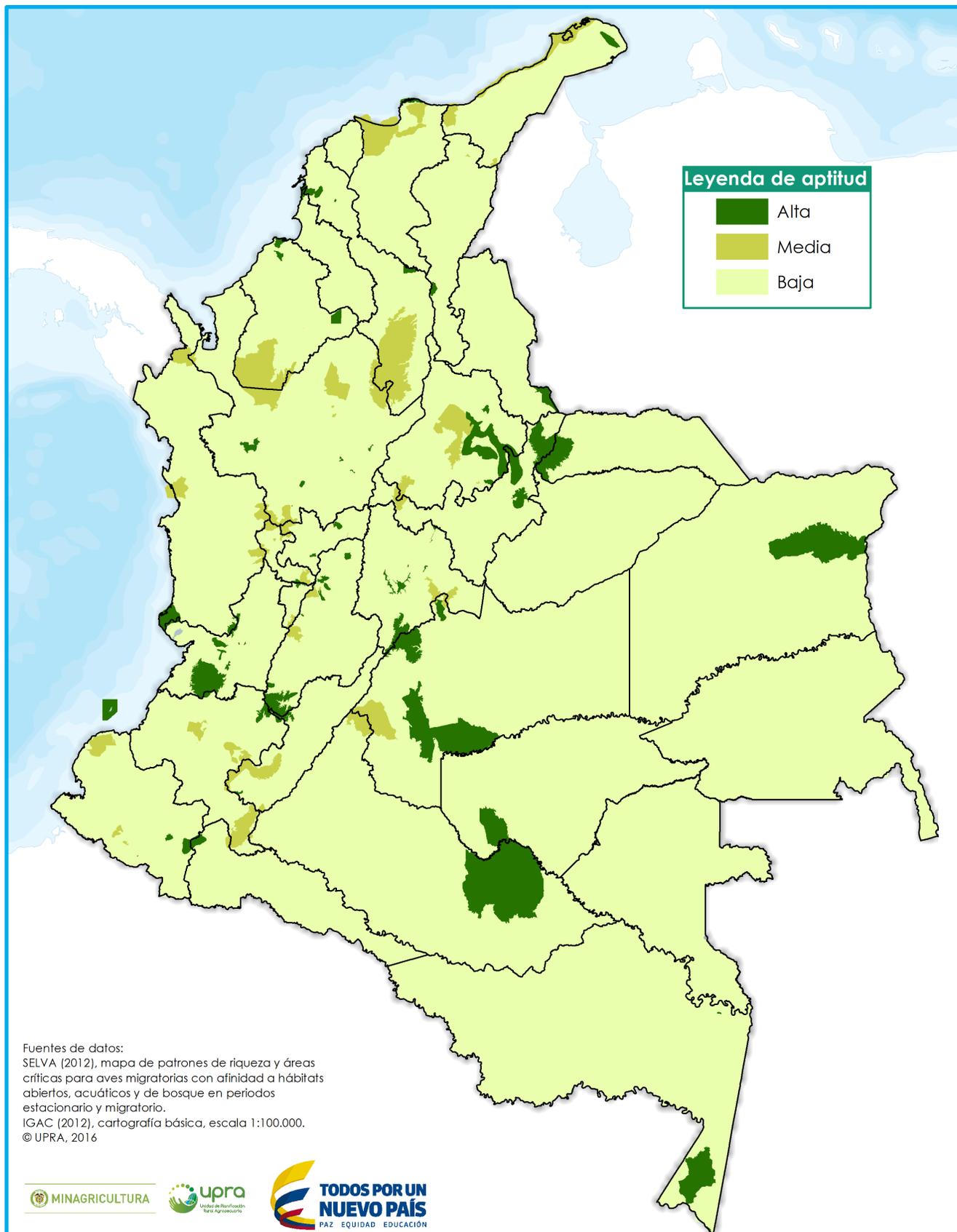
## RANGOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE CALIFICACIÓN

Variable	Reclasificación y estandarización		
	Valoración	Área no AICA	Valores bajos (0,04) → → → → → → Valores altos (1,26)
Presencia de AICA	Aptitud	Alta	Media
		1,0	0,5
			Baja
			0,1

La multiplicación de los criterios de aptitud se realizó sin aplicar una reclasificación previa de sus valores, puesto que estos ya estaban estandarizados en una escala de 0 a 1. Sus resultados se clasifican en tres categorías de aptitud (alta, media y baja), las cuales fueron obtenidas de forma que tuvieran una proporción similar del área del país. Esta categorización tiene el propósito de mostrar, en una forma simplificada, cómo se distribuye el potencial para adecuación de tierras en la extensión del territorio nacional continental.

## FUENTES DE INFORMACIÓN

IAVH. (2015b). *Áreas importantes para la conservación de las aves*, escala 1:100.000.



**ÁREAS DE IMPORTANTES PARA LA CONSERVACIÓN DE LAS AVES  
COMPONENTE ECOSISTÉMICO**

FICHA METODOLÓGICA DE VARIABLE	
COMPONENTE: ECOSISTÉMICO	
CRITERIO: CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD Y SUS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS	
VARIABLE: PRIORIDADES DE CONSERVACIÓN DEL SISTEMA NACIONAL DE ÁREAS PROTEGIDAS (SINAP)	
TIPO DE VARIABLE: Delimitador	
ATRIBUTOS ASOCIADOS A LA VARIABLE	Aptitud
	Alta (1,0)
	Media (0,5)
	Baja (0,1)

### DEFINICIÓN

Áreas resultado del trabajo de identificación de prioridades de conservación del Sinap (2009)<sup>1</sup>. Este trabajo identificó ecosistemas prioritarios para la conservación de acuerdo con el criterio fundamental de la representatividad, que se refiere a la proporción de área protegida correspondiente a un tipo de ecosistema en relación con una meta de conservación (suficiencia).

### IMPORTANCIA DE LA VARIABLE

Evitar desarrollar proyectos con características ambientales únicas dignas de conservación, de manera previa a su normalización, entendiéndose que, de acuerdo con el Decreto 2372 de 2010, para que un área protegida haga parte del Sinap debe surtir un proceso de homologación o recategorización de su denominación frente a las categorías de manejo definidas en la norma, ajustándose a los objetivos de conservación, los atributos, la modalidad de uso y demás condiciones de esas categorías, después de lo cual puede inscribirse en el Registro Único Nacional de Áreas Protegidas (Runap), normalización que puede tardar y generar un impacto.

### LIMITANTES DE LA EVALUACIÓN DE LA VARIABLE

A la fecha no hay elementos normativos que regulen o impidan el desarrollo de proyectos de adecuación de tierras en estas zonas, que aunque por criterio lógico de la entidad emisora de la información y el marco lógico del presente estudio deben ser excluidas, no hay herramientas que impidan el desarrollo de proyectos allí.

**ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE:** 1,0

### METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Asignación de índices de calificación.

1. PNNC. (2012). Prioridades de conservación nacional. Recuperado de <<http://geonetwork.parquesnacionales.gov.co/geonetwork/srv/spa/main.home?uuid=c3e28657-f00b-4bdf-b54e-066699d8bd1f>>.

**RANGOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE CALIFICACIÓN**

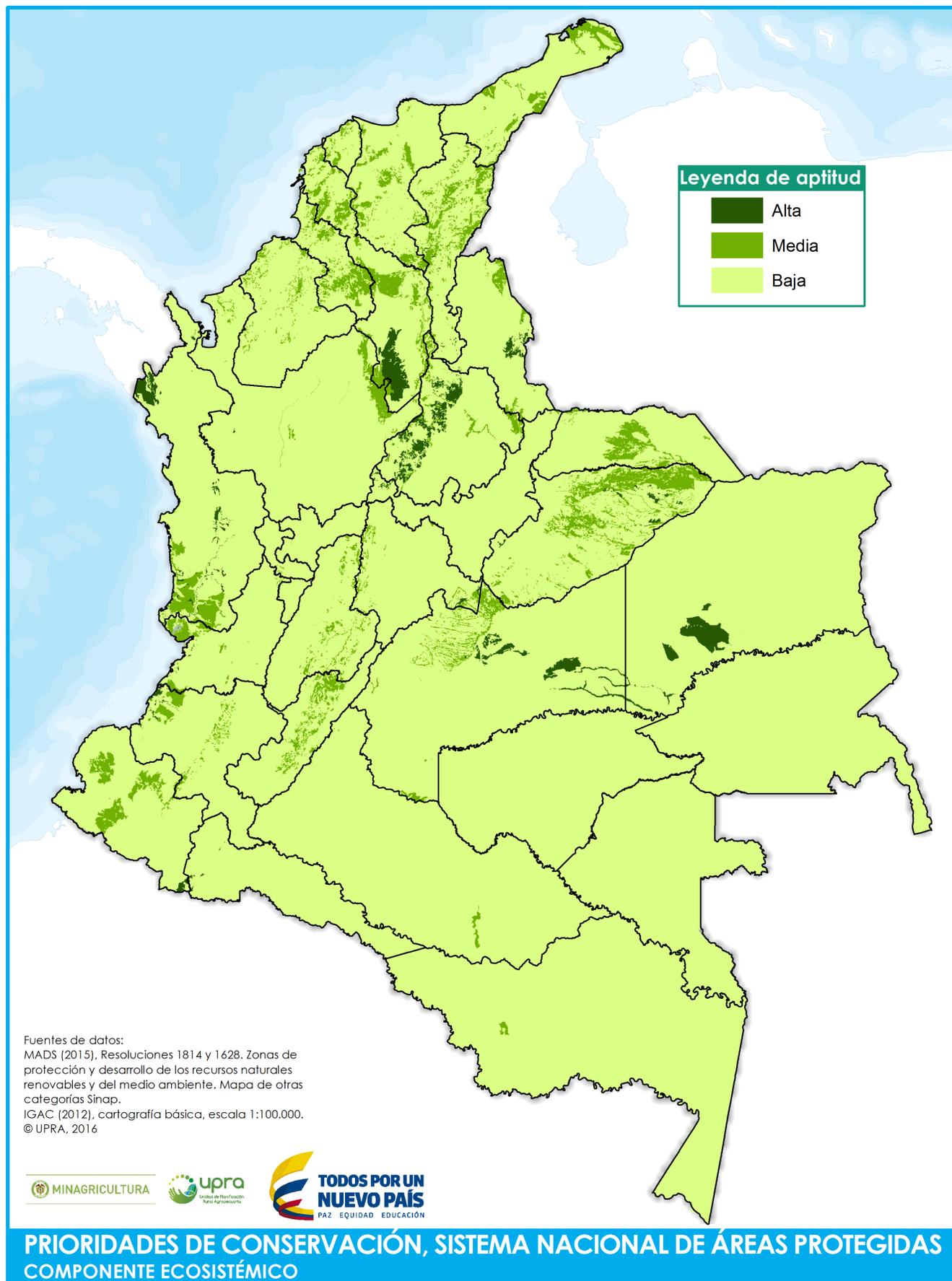
Variable	Reclasificación y estandarización									
Prioridad de conservación	Prioridad*	Nula	H	G	F	E	D	C	B	A
	Aptitud	Alta			Media			Baja		
			1,0			0,5			0,1	

\* Prioridades de conservación: A) Omisiones, urgentes, naturales y oportunas. B) Omisiones, urgentes y naturales. C) Omisiones, urgentes y seminaturales. D) Omisiones. E) Alta insuficiencia y urgente. F) Alta insuficiencia. G) Baja insuficiencia y urgente. H) Baja insuficiencia.

La multiplicación de los criterios de aptitud se realizó sin aplicar una reclasificación previa de sus valores, puesto que estos ya estaban estandarizados en una escala de 0 a 1. Sus resultados se clasifican en tres categorías de aptitud (alta, media y baja), las cuales fueron obtenidas de forma que tuvieran una proporción similar del área del país. Esta categorización tiene el propósito de mostrar, en una forma simplificada, cómo se distribuye el potencial para adecuación de tierras en la extensión del territorio nacional continental.

**FUENTES DE INFORMACIÓN**

IAVH y Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH). (2008). *Áreas prioritarias para la conservación, escala 1:250.000.*



FICHA METODOLÓGICA DE VARIABLE	
COMPONENTE: ECOSISTÉMICO	
CRITERIO: CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD Y SUS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS	
VARIABLE: CONECTIVIDAD ESTRUCTURAL DE LAS COBERTURAS NATURALES (CECN)	
TIPO DE VARIABLE: Caracterizador	
ATRIBUTOS ASOCIADOS A LA VARIABLE	Aptitud
	Alta (1,0)
	Media (0,5)
	Baja (0,1)

### DEFINICIÓN

Condición de conectividad del paisaje a partir de la distancia existente entre sus coberturas naturales y seminaturales, que permite obtener una aproximación rápida sobre la continuidad de los hábitats requerida para el mantenimiento de la biodiversidad y las funciones ecosistémicas (UPRA, 2014c).

### IMPORTANCIA DE LA VARIABLE

Las áreas con una mayor conectividad entre sus coberturas naturales tendrán un menor potencial para la adecuación de tierras por cuanto en estas áreas el mantenimiento de los flujos que soporta esa conectividad ecológica será de mayor importancia, y por lo tanto se tendrán mayores requerimientos de manejo para su conservación. Se considera que la construcción de distritos de riego puede disminuir la conectividad en paisajes agrícolas con espacios naturales, principalmente mediante la remoción de vegetación circundante y aquella entremezclada en la matriz de usos agropecuarios.

### LIMITANTES DE LA EVALUACIÓN DE LA VARIABLE

Subjetividad y generalización en la determinación de distancias relativas entre coberturas naturales que puedan realmente representar un corredor que represente la no fragmentación en función de la especie.

**ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE:** 0,7

### METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Para este análisis se tomaron todos los tipos de coberturas naturales y seminaturales del mapa de coberturas de la tierra de Colombia, aplicándoles un análisis de fragmentación por métricas del paisaje. Sobre los núcleos de los fragmentos identificados se llevó a cabo el análisis de conectividad a través de la medición de la distancia euclidiana entre estos, de forma que las mayores distancias reflejan una menor conectividad en la matriz de usos agropecuarios. El resultado final es una matriz con valores entre 0 y 1, donde 1 representa la mayor conectividad entre las coberturas naturales. Para su posterior integración con las demás variables, esta matriz fue invertida para reflejar que aquellas áreas con menor conectividad tienen un mayor potencial para la adecuación de tierras.

## RANGOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE CALIFICACIÓN

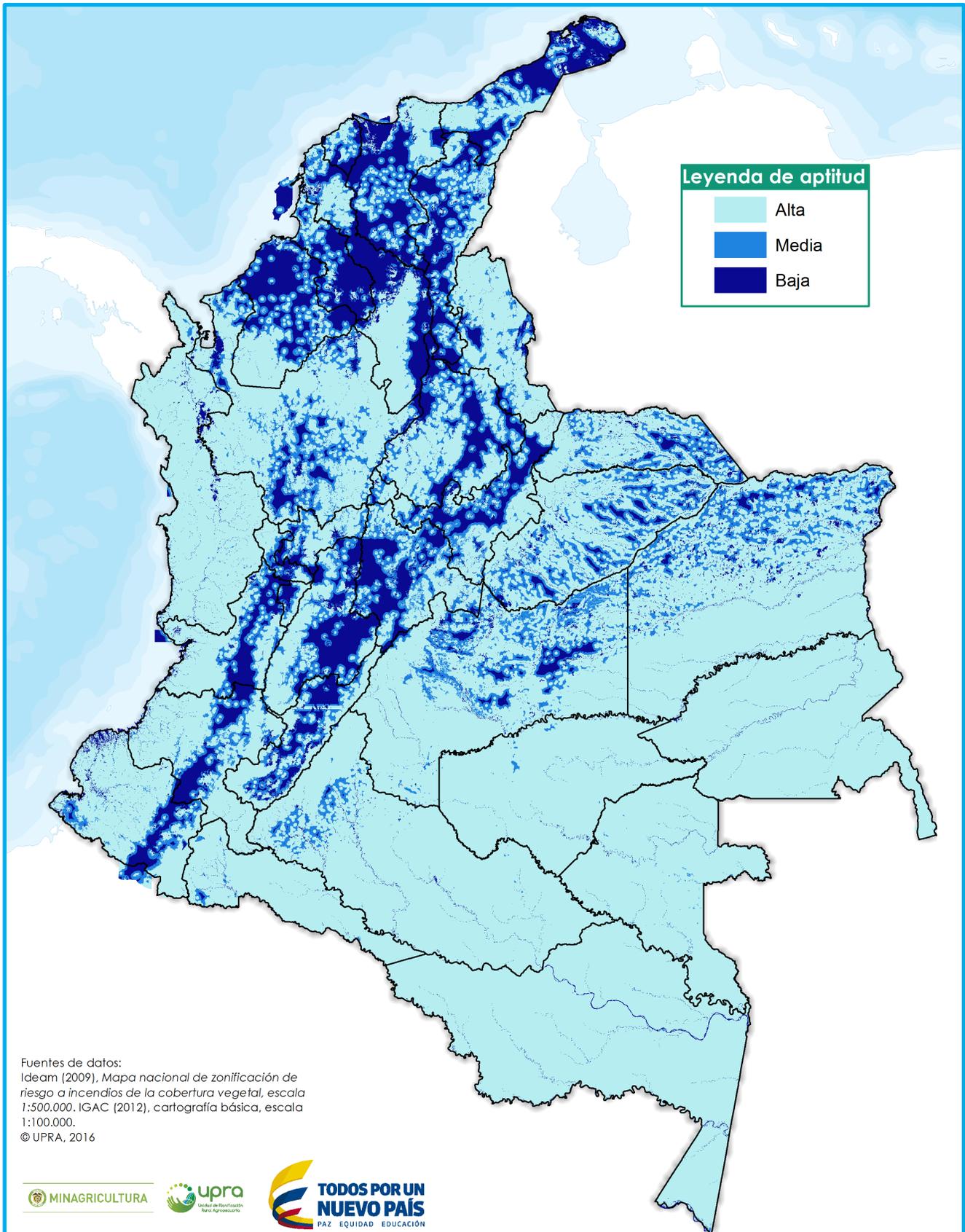
Variable	Reclasificación y estandarización			
Conectividad estructural de coberturas naturales	CECN	Valores bajos (0) → → → → → → →		Valores altos (1)
	Aptitud	Alta	Media	Baja
		1,0	0,5	0,1

La multiplicación de los criterios de aptitud se realizó sin aplicar una reclasificación previa de sus valores, puesto que estos ya estaban estandarizados en una escala de 0 a 1. Sus resultados se clasifican en tres categorías de aptitud (alta, media y baja), las cuales fueron obtenidas de forma que tuvieran una proporción similar del área del país. Esta categorización tiene el propósito de mostrar, en una forma simplificada, cómo se distribuye el potencial para adecuación de tierras en la extensión del territorio nacional continental.

### FUENTES DE INFORMACIÓN

Ideam *et al.* (2012). *Mapa nacional de cobertura de la tierra, metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia, imágenes 2005-2009, escala 1:100.000, versión 1.0.*

Análisis de fragmentación por métricas del paisaje. Sobre los núcleos de los fragmentos identificados, la UPRA realizó el análisis de conectividad mediante la medición de la distancia euclidiana entre estos.



**CONECTIVIDAD ESTRUCTURAL DE LAS COBERTURAS NATURALES  
COMPONENTE ECOSISTÉMICO**

FICHA METODOLÓGICA DE VARIABLE	
COMPONENTE: ECOSISTÉMICO	
CRITERIO: CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD Y SUS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS	
VARIABLE: ÍNDICE DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS (IPSE)	
TIPO DE VARIABLE: Caracterizador	
ATRIBUTOS ASOCIADOS A LA VARIABLE	Aptitud
	Alta (1,0)
	Media (0,5)
	Baja (0,1)

### DEFINICIÓN

Índice que evalúa la funcionalidad del paisaje (cuenca hidrográfica) para la prestación de servicios ecosistémicos a partir de la presencia de ecosistemas naturales y seminaturales, áreas con vocación de protección y áreas protegidas excluyentes en cada subzona hidrográfica.

### IMPORTANCIA DE LA VARIABLE

Los servicios de los ecosistemas a las poblaciones humanas se pueden considerar como un reflejo del funcionamiento de los ecosistemas, ya que son resultantes de los procesos ecológicos que soportan su prestación. Son provistos tanto por ecosistemas naturales y seminaturales como por ecosistemas altamente transformados (agroecosistemas), los cuales prestan principalmente servicios ecosistémicos de provisión tales como alimento, materias primas, recursos genéticos y bioquímicos.

No obstante, en este proceso no se han considerado estos últimos debido a la posibilidad de promover usos conflictivos del suelo, como se explicó previamente, considerando además que la mayor magnitud y número de servicios ecosistémicos es prestado por ecosistemas con un nivel de conservación relativamente alto. Adicionalmente, se entiende que al proteger los ecosistemas estratégicos, bosques y otras áreas naturales y seminaturales se protege el mayor potencial de prestación de servicios ecosistémicos, tales como pesca, regulación climática, regulación hidrológica, control de inundaciones, depuración del agua, control biológico y polinización.

### LIMITANTES DE LA EVALUACIÓN DE LA VARIABLE

La subjetividad asociada a las operaciones y ponderaciones realizadas entre las variables especializadas utilizadas en la elaboración del IPSE.

**ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE:** 0,8

### METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Para su construcción se utilizaron las capas de información (ecosistemas naturales y seminaturales, áreas con vocación de protección y áreas protegidas excluyentes en cada subzona hidrográfica), ya incluidas en otras variables, y la capa de subzonas hidrográficas de Colombia (Ideam, 2013).

El diseño de este indicador evalúa la existencia de un equilibrio para contar con la prestación de servicios ecosistémicos para la adecuación de tierras (regulación hidrológica, control biológico, polinización) sin promover la degradación de los ecosistemas que los prestan. Por tal razón, aquellas subzonas hidrográficas con una proporción media (50 %) de ecosistemas y áreas protegidas excluyentes se consideraron como aquellas con un mayor potencial para que la adecuación de tierras haga un uso sostenible de los servicios ecosistémicos que ellos prestan. Por el contrario, las subzonas con una proporción de 0 % y 100 % recibieron el menor valor, reflejando menores servicios ecosistémicos disponibles o una menor aptitud por una mayor presencia de ecosistemas naturales y seminaturales.

### RANGOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE CALIFICACIÓN

Variable	Reclasificación y estandarización			
Índice de prestación de servicios ecosistémicos	IPSE (%)	Valores bajos (0) → → → → → → → → Valores altos (100%)		
	Aptitud	Baja	Media	Alta
		0,1	0,5	1,0

La multiplicación de los criterios de aptitud se realizó sin aplicar una reclasificación previa de sus valores, puesto que estos ya estaban estandarizados en una escala de 0 a 1. Sus resultados se clasifican en tres categorías de aptitud (alta, media y baja), las cuales fueron obtenidas de forma que tuvieran una proporción similar del área del país. Esta categorización tiene el propósito de mostrar, en una forma simplificada, cómo se distribuye el potencial para adecuación de tierras en la extensión del territorio nacional continental.

### FUENTES DE INFORMACIÓN

UPRA. (2014). *Reclasificación de coberturas de la tierra*. UPRA: Bogotá, D. C. (Colombia): s. e.

PNNC. (2017). *Categorías regionales del Runap V.1*.

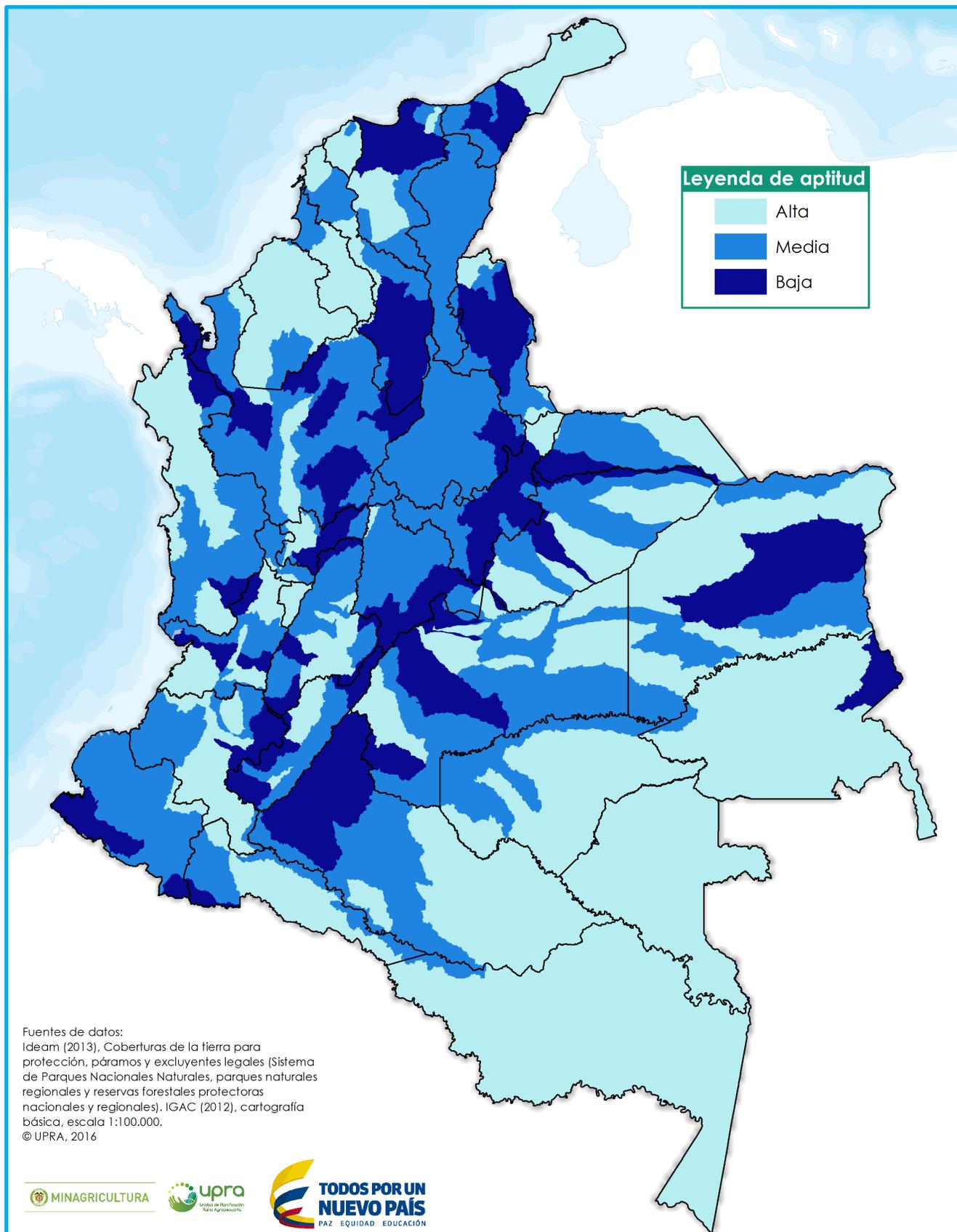
-. (2017). *Límite de los parques nacionales naturales de Colombia*.

-. (2017). *Reservas naturales de la sociedad civil. Versión 1*.

IAVH. (2017). *Actualización de los límites cartográficos de los complejos de páramos de Colombia, escala 1:100.000*.

IGAC. (2012). *Cartografía básica, escala 1:100.000*.

Ideam. (2015a). *Estudio nacional del agua: capa de subzonas hidrográficas, escala 1:100.000*.



## ÍNDICE DE PRESTACIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS COMPONENTE ECOSISTÉMICO

## FICHA METODOLÓGICA DE VARIABLE

COMPONENTE: SOCIOECONÓMICO

CRITERIO: INFRAESTRUCTURA

VARIABLE: ISÓCRONAS VIALES A CENTROS POBLADOS

TIPO DE VARIABLE: Caracterizador

ATRIBUTOS ASOCIADOS A LA VARIABLE

Duración en horas desde la zona rural a la zona urbana.

**DEFINICIÓN**

Tiempo promedio de desplazamiento desde las zonas rurales de la jurisdicción político-administrativa al casco urbano del municipio, determinado mediante el análisis de aspectos como la disponibilidad, la cercanía de infraestructura vial y medios de transporte.

**IMPORTANCIA DE LA VARIABLE**

Un aspecto relevante para analizar la competitividad agropecuaria es la disponibilidad de infraestructura vial, que permite reducir los tiempos de desplazamiento y por consiguiente, los costos de producción y la oportunidad de acceder a los mercados, lo que mejora su eficiencia e incrementa el portafolio de negocios, la posibilidad de articulación y el crecimiento sostenido de las cadenas productivas.

Para el caso de los proyectos de adecuación de tierras, menores distancias de desplazamiento y mejor calidad de infraestructura vial no solo hacen más atractivas las regiones para los inversionistas del sector, sino que también reducen los costos para el desarrollo de proyectos de adecuación de tierras.

En consecuencia, esta variable tiene una relación inversa con la potencial inversión en proyectos de adecuación de tierras: a menor tiempo de desplazamiento, mayor posibilidad de desarrollo.

**LIMITANTES DE LA EVALUACIÓN DE LA VARIABLE**

En las variables de infraestructura es necesario incluir una relacionada con las estructuras hidráulicas existentes, su estado y tiempo de conducción hasta las zonas con potencial para adecuación de tierras. Igualmente, se requiere identificar el potencial de vasos naturales de almacenamiento, que permita desarrollar proyectos multipropósito y de paso, sea posible realizar la regulación de inundaciones en épocas lluviosas.

Sería conveniente incluir o modelar los costos de desplazamiento, que pueden ser más relevantes para la implementación de proyectos de adecuación de tierras, con relación a los tiempos de desplazamiento.

**ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE**

El obtenido según la metodología de evaluación e integración con el indicador de condiciones socioeconómicas municipales (ICSM) descritas a continuación.

## METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Se estimó el tiempo de distancia promedio de las zonas rurales al casco urbano con medio de transporte terrestre y, posteriormente, para cada municipio del país, con lo cual se determinó un índice, así:

$$\text{Isócronas vial} = 1 - \frac{t \text{ municipio } n - t \text{ municipio mín.}}{t \text{ municipio máx.} - t \text{ municipio mín.}}$$

## RANGOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE CALIFICACIÓN

Así como todas las demás variables de carácter económico, la evaluación de esta variable (indicador) no fue clasificada en rangos, y por lo tanto no se les asignó un valor a estos, ya que fue normalizada para la aplicación de la siguiente fórmula:

$$\text{ICSM} = \sum_{(i=0)}^n \frac{\text{Ind}_1 + \text{Ind}_2 \dots + \text{Ind}_n + \text{Ind}_n}{n}$$

Donde:

$\text{ICSM}$  = indicador de condiciones socioeconómicas municipales

$\text{Ind}_n$  = indicador de la variable  $X$  en el municipio  $n$

$n$  = número de variables socioeconómicas en el municipio  $n$

En donde el  $\text{ICSM}$  toma valores continuos de 0 a 1 y se presentan directamente de esta forma en la integración del mapa.

## FUENTES DE INFORMACIÓN

IGAC. (2012). Cartografía básica, escala 1:100.000.

Ministerio de Transporte. (2014). *Mapa de tramos fluviales navegables y mapa de vías 4G*.

FICHA METODOLÓGICA DE VARIABLE	
COMPONENTE: SOCIOECONÓMICO	
CRITERIO: INFRAESTRUCTURA	
VARIABLE: ISÓCRONAS DE PUERTOS MARÍTIMOS	
TIPO DE VARIABLE: Caracterizador	
ATRIBUTOS ASOCIADOS A LA VARIABLE	Duración promedio en horas desde la zona rural a los puertos marítimos.

## DEFINICIÓN

Tiempo promedio de desplazamiento desde las zonas rurales del municipio hasta los puertos marítimos, determinado a partir del análisis de aspectos como la disponibilidad y la cercanía a la infraestructura portuaria marítima.

## IMPORTANCIA DE LA VARIABLE

Un aspecto relevante para analizar la competitividad agropecuaria es la disponibilidad de infraestructura portuaria marítima, que permite potenciar el comercio internacional, con la posibilidad de reducir el costo de los insumos importados y ampliar las posibilidades de exportar los productos agropecuarios y agroindustriales del país a nuevos mercados.

Las oportunidades de comercio exterior requieren del desarrollo de proyectos de adecuación de tierras para reducir el riesgo climático y romper la estacionalidad de cosechas, para así poder disponer de un suministro continuo y oportuno del portafolio de productos para los clientes.

Así las cosas, esta variable tiene una relación inversa con la potencial inversión en proyectos de adecuación de tierras: a menor tiempo de desplazamiento a los puertos marítimos, mayor probabilidad en su implementación.

## LIMITANTES DE LA EVALUACIÓN DE LA VARIABLE

Valdría la pena disponer de los costos de desplazamiento desde los municipios hasta los puertos marítimos, requeridos para estimar los precios CIF y FOB de los productos por exportar e importar, respectivamente.

## ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE

El obtenido según la metodología de evaluación e integración con el indicador de condiciones socioeconómicas municipales (ICSM) descritas a continuación.

## METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Se estimó el tiempo de distancia promedio de las zonas rurales a los puertos marítimos, y posteriormente, para cada municipio del país, con lo cual se determinó un índice, así:

$$\text{Isócronas puertos marítimos} = 1 - \frac{t_{\text{municipio n}} - t_{\text{municipio mín.}}}{t_{\text{municipio máx.}} - t_{\text{municipio mín.}}}$$

### RANGOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE CALIFICACIÓN

Así como todas las demás variables de carácter económico, la evaluación de esta variable (indicador) no fue clasificada en rangos, y por lo tanto no se les asignó un valor a estos, ya que fue normalizada para la aplicación de la siguiente fórmula:

$$ICSM = \sum_{(i=0)}^n \frac{Ind_1 + Ind_2 \dots + Ind_n + Ind_n}{n}$$

Donde:

$ICSM$  = indicador de condiciones socioeconómicas municipales

$Ind_n$  = indicador de la variable  $X$  en el municipio  $N$

$n$  = número de variables socioeconómicas en el municipio  $n$

En donde el  $ICSM$  toma valores continuos de 0 a 1 y se presentan directamente de esta forma en la integración del mapa.

### FUENTES DE INFORMACIÓN

IGAC. (2012). Cartografía básica, escala 1:100.000.

Ministerio de Transporte. (2014). *Mapa de tramos fluviales navegables y mapa de vías 4G*.

## FICHA METODOLÓGICA DE VARIABLE

COMPONENTE: SOCIOECONÓMICO

CRITERIO: INFRAESTRUCTURA

VARIABLE: ISÓCRONAS DE PUERTOS FLUVIALES

TIPO DE VARIABLE: Caracterizador

ATRIBUTOS ASOCIADOS A LA VARIABLE

Duración promedio en horas desde la zona rural a los puertos fluviales.

**DEFINICIÓN**

Tiempo promedio de desplazamiento desde las zonas rurales del municipio hasta los puertos fluviales, determinado mediante un análisis de aspectos como la disponibilidad y la cercanía a la infraestructura portuaria fluvial.

**IMPORTANCIA DE LA VARIABLE**

Un aspecto relevante para analizar la competitividad agropecuaria es la disponibilidad de infraestructura portuaria fluvial, que permite potenciar el comercio interno e internacional, con la posibilidad de reducir los costos de transporte en general, debido al gradiente topográfico del país y el bajo desarrollo vial, lo que se refleja en unos altos costos de transporte terrestre y menor competitividad del país.

Esta variable tiene una relación inversa con la potencial inversión en proyectos de adecuación de tierras: a menores tiempos de desplazamiento a los puertos fluviales y por consiguiente menores costos de transporte, mayor probabilidad en su implementación.

**LIMITANTES DE LA EVALUACIÓN DE LA VARIABLE**

La navegabilidad de los ríos del país y el transporte fluvial de carga aún es incipiente. Esta variable es más teórica, lo que se debe tener en cuenta cuando se desarrolle adecuadamente este medio de transporte en el país.

**ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE**

El obtenido según la metodología de evaluación e integración con el indicador de condiciones socioeconómicas municipales (ICSM) descritas a continuación.

**METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN**

Se estimó el tiempo de distancia promedio de las zonas rurales a los puertos fluviales, y posteriormente, para cada municipio del país, con lo que se determinó un índice, así:

$$\text{Isócronas puertos fluviales} = 1 - \frac{t_{\text{municipio n}} - t_{\text{municipio mín.}}}{t_{\text{municipio máx.}} - t_{\text{municipio mín.}}}$$

**RANGOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE CALIFICACIÓN**

Así como todas las demás variables de carácter económico, la evaluación de esta variable (indicador) no fue clasificada en rangos, y por lo tanto no se les asignó un valor a estos, ya que fue normalizada para la aplicación de la siguiente fórmula:

$$ICSM = \sum_{(i=0)}^n \frac{Ind_1 + Ind_2 \dots + Ind_n + Ind_n}{n}$$

Donde:

$ICSM$  = indicador de condiciones socioeconómicas municipales

$Ind_n$  = indicador de la variable  $X$  en el municipio  $n$

$n$  = número de variables socioeconómicas en el municipio  $n$

En donde el  $ICSM$  toma valores continuos de 0 a 1 y se presentan directamente de esta forma en la integración del mapa.

#### FUENTES DE INFORMACIÓN

IGAC. (2012). Cartografía básica, escala 1:100.000.

Ministerio de Transporte. (2014). *Mapa de tramos fluviales navegables y mapa de vías 4G.*

## FICHA METODOLÓGICA DE VARIABLE

COMPONENTE: SOCIOECONÓMICO

CRITERIO: INFRAESTRUCTURA

VARIABLE: COBERTURA DEL ACUEDUCTO RURAL, RECÁLCULO 2012

TIPO DE VARIABLE: Caracterizador

ATRIBUTOS ASOCIADOS A LA VARIABLE

Porcentaje (%) de cobertura del acueducto en el ámbito rural.

**DEFINICIÓN**

Cobertura del acueducto en zonas rurales de cada municipio, con un recálculo al año 2012, con base en el censo poblacional del año 2005.

**IMPORTANCIA DE LA VARIABLE**

El recurso hídrico tiene múltiples usos, entre otros, el consumo humano y el agrícola con el riego; sin embargo, el primero es prioritario sobre cualquier otro uso, tanto que la única excepción legal para no disponer de una concesión de aguas es cuando se trata de un acueducto rural.

En este sentido, el recurso hídrico es un bien de uso limitado y rival para consumo humano o de riego, y si no están cubiertas las necesidades del primero, el desarrollo de proyectos de adecuación de tierras pasa a ser secundario.

**LIMITANTES DE LA EVALUACIÓN DE LA VARIABLE**

El dato preciso para determinar la cobertura de servicios públicos rurales, entre ellos el acueducto, se produce cuando hay un censo poblacional y el último fue en el año 2005. El dato obtenido para el año 2012 es producto de un recálculo, donde se nota la ausencia de información en varios municipios.

**ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE**

El obtenido según la metodología de evaluación e integración con el indicador de condiciones socioeconómicas municipales (ICSM) descritas a continuación.

**METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN**

Con el porcentaje de cobertura de acueducto rural en cada municipio del país se estimó un índice, así:

$$\text{Cobertura del acueducto rural REC 2012} = \frac{\% \text{ de cobertura del acueducto rural municipio } n}{\% \text{ de cobertura del acueducto rural municipio máx.}}$$

**RANGOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE CALIFICACIÓN**

Así como todas las demás variables de carácter económico, la evaluación de esta variable (indicador) no fue clasificada en rangos, y por lo tanto no se les asignó un valor a estos, ya que fue normalizada para la aplicación de la siguiente fórmula:

$$\text{ICSM} = \sum_{(i=0)}^n \frac{\text{Ind}_1 + \text{Ind}_2 \dots + \text{Ind}_n + \text{Ind}_n}{n}$$

Donde:

$ICSM$  = indicador de condiciones socioeconómicas municipales

$Ind_n$  = indicador de la variable  $X$  en el municipio  $n$

$n$  = número de variables socioeconómicas en el municipio  $n$

En donde el  $ICSM$  toma valores continuos de 0 a 1 y se presentan directamente de esta forma en la integración del mapa.

#### FUENTES DE INFORMACIÓN

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2015).

FICHA METODOLÓGICA DE VARIABLE	
COMPONENTE: SOCIOECONÓMICO	
CRITERIO: INFRAESTRUCTURA	
VARIABLE: ÍNDICE DE COBERTURA DE ENERGÍA ELÉCTRICA (ICEE) RURAL 2014	
TIPO DE VARIABLE: Caracterizador	
ATRIBUTOS ASOCIADOS A LA VARIABLE	Porcentaje (%) de cobertura de energía eléctrica en el ámbito rural del municipio.

## DEFINICIÓN

Cobertura del servicio de energía eléctrica en zonas rurales de cada municipio para el año 2014, información con la cual se puede inferir si existe o no la disponibilidad de energía eléctrica para el desarrollo de proyectos de adecuación de tierras potenciados por bombeo.

## IMPORTANCIA DE LA VARIABLE

En algunas zonas del país, para la operación de los distritos de adecuación de tierras se requiere para su funcionamiento el empleo equipos de bombeo; por ello, es pertinente contar con la información de la potencial disponibilidad de energía eléctrica, con el objetivo de poder emprender el desarrollo de proyectos de adecuación de tierras en estas regiones del país.

## LIMITANTES DE LA EVALUACIÓN DE LA VARIABLE

La cobertura de energía eléctrica rural no indica la disponibilidad de las redes ni la extensión de las mismas a las zonas potenciales para el desarrollo de proyectos de adecuación de tierras.

## ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE

El obtenido según la metodología de evaluación e integración con el indicador de condiciones socioeconómicas municipales (ICSM) descritas a continuación.

## METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Con el porcentaje de cobertura de energía eléctrica rural en cada municipio del país se estimó un índice, así:

$$\text{ICEE rural 2014} = \frac{\% \text{ de cobertura ICEE rural 2014 municipio } n}{\% \text{ de cobertura ICEE rural 2014 municipio máx.}}$$

## RANGOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE CALIFICACIÓN

Así como todas las demás variables de carácter económico, la evaluación de esta variable (indicador) no fue clasificada en rangos, y por lo tanto no se les asignó un valor a estos, ya que fue normalizada para la aplicación de la siguiente fórmula:

$$\text{ICSM} = \sum_{(i=0)}^n \frac{\text{Ind}_1 + \text{Ind}_2 \dots + \text{Ind}_n + \text{Ind}_n}{n}$$

Donde:

$ICSM$  = indicador de condiciones socioeconómicas municipales

$Ind_n$  = indicador de la variable  $X$  en el municipio  $n$

$n$  = número de variables socioeconómicas en el municipio  $n$

En donde el  $ICSM$  toma valores continuos de 0 a 1 y se presentan directamente de esta forma en la integración del mapa.

#### FUENTES DE INFORMACIÓN

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2015).

FICHA METODOLÓGICA DE VARIABLE	
COMPONENTE: SOCIOECONÓMICO	
CRITERIO: MANO DE OBRA	
VARIABLE: ÍNDICE DE RURALIDAD	
TIPO DE VARIABLE: Caracterizador	
ATRIBUTOS ASOCIADOS A LA VARIABLE	Categorías definidas en el IDH 2011 (PNUD).

## DEFINICIÓN

Condición que puede indicar la prioridad o necesidad para desarrollar proyectos de adecuación de tierras. Para su estimación se tiene en cuenta la densidad poblacional, la distancia a ciudades intermedias y principales, con el fin de determinar la ruralidad del municipio.

## IMPORTANCIA DE LA VARIABLE

En los municipios más rurales, la actividad agropecuaria debe ser una gran generadora de empleo e ingresos para sus habitantes; así las cosas, se presume que en estos municipios el impacto socioeconómico de la implementación de proyectos de adecuación de tierras sea alto.

## LIMITANTES DE LA EVALUACIÓN DE LA VARIABLE

Esta es una variable que diseñó el PNUD en el informe de desarrollo humano del 2011 titulado «Colombia rural: razones para la esperanza», pero es una información que no tiene periodicidad para su generación y tampoco se ha incluido por parte del Estado en las variables para la generación anual de estadísticas.

## ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE

El obtenido según la metodología de evaluación e integración con el indicador de condiciones socioeconómicas municipales (ICSM) descritas a continuación.

## METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Para efectos del ICSM, el índice de ruralidad se normalizó así:

$$\text{Índice de ruralidad} = \frac{\text{Índice de ruralidad 2011 municipio } n}{\text{Índice de ruralidad 2011 municipio máx.}}$$

## RANGOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE CALIFICACIÓN

Así como todas las demás variables de carácter económico, la evaluación de esta variable (indicador) no fue clasificada en rangos, y por lo tanto no se les asignó un valor a estos, ya que fue normalizada para la aplicación de la siguiente fórmula:

$$\text{ICSM} = \sum_{(i=0)}^n \frac{\text{Ind}_1 + \text{Ind}_2 \dots + \text{Ind}_n + \text{Ind}_n}{n}$$

Donde:

$ICSM$  = indicador de condiciones socioeconómicas municipales

$Ind_n$  = indicador de la variable  $X$  en el municipio  $n$

$n$  = número de variables socioeconómicas en el municipio  $n$

En donde el  $ICSM$  toma valores continuos de 0 a 1 y se presentan directamente de esta forma en la integración del mapa.

#### **FUENTES DE INFORMACIÓN**

PNUD. (2011). *Informe sobre desarrollo humano 2011. Sostenibilidad y equidad: un mejor futuro para todos.*

## FICHA METODOLÓGICA DE VARIABLE

COMPONENTE: SOCIOECONÓMICO

CRITERIO: TAMAÑO DE LOS PREDIOS RURALES Y FORMALIDAD DE LA PROPIEDAD

VARIABLE: PORCENTAJE DE ÁREA DE PREDIOS GRANDES

TIPO DE VARIABLE: Caracterizador

ATRIBUTOS ASOCIADOS A LA VARIABLE

Porcentaje de predios de mayor tamaño en el municipio (%).

**DEFINICIÓN**

Predios con una extensión mayor a 200 ha. En cada municipio se determinó el porcentaje de área de estos predios, condición de análisis cuando se pretende determinar la factibilidad de proyectos de adecuación de tierras por superficie.

**IMPORTANCIA DE LA VARIABLE**

El tamaño de la propiedad debe ser analizado en relación con el método de riego para determinar su factibilidad de implementación, en especial en el riego por superficie. Por otra parte, la formalidad de la propiedad rural, a veces, es un requisito para el acceso a los incentivos para el desarrollo de proyectos de adecuación de tierras.

**LIMITANTES DE LA EVALUACIÓN DE LA VARIABLE**

No todos los municipios del país tienen actualizado el catastro rural; por ello se requiere, cuando se cuente con esta información al día, valorar nuevamente la variable ajustada a la información completa y vigente.

**ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE**

El obtenido según la metodología de evaluación e integración con el indicador de condiciones socioeconómicas municipales (ICSM) descritas a continuación.

**METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN**

Para efectos del ICSM, el área de predios grandes se normalizó así:

$$\text{Área de predios grandes} = \frac{\% \text{ área de predios grandes municipio } n}{\% \text{ área de predios grandes municipio máx.}}$$

**RANGOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE CALIFICACIÓN**

Así como todas las demás variables de carácter económico, la evaluación de esta variable (indicador) no fue clasificada en rangos, y por lo tanto no se les asignó un valor a estos, ya que fue normalizada para la aplicación de la siguiente fórmula:

$$\text{ICSM} = \sum_{(i=0)}^n \frac{\text{Ind}_1 + \text{Ind}_2 \dots + \text{Ind}_n + \text{Ind}_n}{n}$$

Donde:

$ICSM$  = indicador de condiciones socioeconómicas municipales

$Ind_n$  = indicador de la variable  $X$  en el municipio  $n$

$n$  = número de variables socioeconómicas en el municipio  $n$

En donde el  $ICSM$  toma valores continuos de 0 a 1 y se presentan directamente de esta forma en la integración del mapa.

#### FUENTES DE INFORMACIÓN

UPRA (2015), con base en IGAC (2014). *Base catastral, registros 1 y 2.*

Gobernación de Antioquia (2014). *Predial rural de Antioquia.*

Alcaldía de Medellín (2014). *Base predial.*

FICHA METODOLÓGICA DE VARIABLE	
COMPONENTE: SOCIOECONÓMICO	
CRITERIO: TAMAÑO DE LOS PREDIOS RURALES Y FORMALIDAD DE LA PROPIEDAD	
VARIABLE: PORCENTAJE DE ÁREA DE PREDIOS MICROFUNDIO	
TIPO DE VARIABLE: Caracterizador	
ATRIBUTOS ASOCIADOS A LA VARIABLE	Porcentaje de predios de microfundio en el municipio (%).

## DEFINICIÓN

Aquellos con una extensión de menos de 3 ha constituyen predios grandes de microfundio. En cada municipio se determinó el porcentaje de área de estos predios, condición de análisis cuando se pretende determinar la factibilidad de proyectos de adecuación de tierras por múltiples métodos, a excepción de los superficiales.

## IMPORTANCIA DE LA VARIABLE

El tamaño de la propiedad debe ser analizado en relación con el método de riego, para determinar su factibilidad de implementación. También, la formalidad de la propiedad rural a veces es un requisito para el acceso a los incentivos para el desarrollo de proyectos de adecuación de tierras, y la mayor informalidad de la propiedad rural por lo general se presenta en los predios de minifundio y microfundio.

Por otra parte, para la construcción de proyectos de adecuación de tierras en las obras extraprediales (captación, conducción y distribución) se requiere la constitución de servidumbres de paso y uso: a menor tamaño de los predios, mayor el número de actores para obtener estos permisos.

## LIMITANTES DE LA EVALUACIÓN DE LA VARIABLE

No todos los municipios del país tienen actualizado el catastro rural; por ello se requiere, cuando se cuente con esta información al día, valorar nuevamente la variable ajustada a la información completa y vigente.

## ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE

El obtenido según la metodología de evaluación e integración con el indicador de condiciones socioeconómicas municipales (ICSM) descritas a continuación.

## METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Se determinó la proporción de predios de microfundio por municipio y posteriormente se determinó un índice:

$$\text{Área de predios microfundio} = 1 - \frac{\text{Área de predios micro municipio } n - \text{Área de predios micro municipio mín.}}{\text{Área de predios micro municipio máx.} - \text{Área de predios micro municipio mín.}}$$

### RANGOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE CALIFICACIÓN

Así como todas las demás variables de carácter económico, la evaluación de esta variable (indicador) no fue clasificada en rangos, y por lo tanto no se les asignó un valor a estos, ya que fue normalizada para la aplicación de la siguiente fórmula:

$$ICSM = \sum_{(i=0)}^n \frac{Ind_1 + Ind_2 \dots + Ind_n + Ind_n}{n}$$

Donde:

$ICSM$  = indicador de condiciones socioeconómicas municipales

$Ind_n$  = indicador de la variable  $X$  en el municipio  $n$

$n$  = número de variables socioeconómicas en el municipio  $n$

En donde el  $ICSM$  toma valores continuos de 0 a 1 y se presentan directamente de esta forma en la integración del mapa.

### FUENTES DE INFORMACIÓN

UPRA (2015), con base en IGAC (2014). *Base catastral, registros 1 y 2.*

Gobernación de Antioquia (2014). *Predial rural de Antioquia.*

Alcaldía de Medellín (2014). *Base predial.*

FICHA METODOLÓGICA DE VARIABLE	
COMPONENTE: SOCIOECONÓMICO	
CRITERIO: TAMAÑO DE LOS PREDIOS RURALES Y FORMALIDAD DE LA PROPIEDAD	
VARIABLE: PORCENTAJE DE INFORMALIDAD DE LA PROPIEDAD RURAL	
TIPO DE VARIABLE: Caracterizador	
ATRIBUTOS ASOCIADOS A LA VARIABLE	Porcentaje de formalidad de la propiedad rural en el municipio (%).

## DEFINICIÓN

Porcentaje restante del porcentaje de la formalidad de los predios rurales por municipio.

## IMPORTANCIA DE LA VARIABLE

La formalidad de la propiedad en muchos casos es una condición dada en la fase de factibilidad para el potencial desarrollo de adecuación de tierras, lo cual puede limitar el desarrollo de este tipo de inversión tanto en el sector público y privado, por falta de legalidad y garantías, respectivamente.

Para el desarrollo de proyectos de adecuación de tierras se debe demostrar el derecho real de dominio, lo que permite que los agricultores puedan acceder al instrumento de política o puedan otorgar las servidumbres durante la construcción y el uso.

## LIMITANTES DE LA EVALUACIÓN DE LA VARIABLE

La formalidad de la propiedad en muchos casos es una condición dada en la fase de factibilidad para el potencial desarrollo de adecuación de tierras, lo cual puede limitar el desarrollo de este tipo de inversión tanto en el sector público y privado, por falta de legalidad y garantías.

## ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE

El obtenido según la metodología de evaluación e integración con el indicador de condiciones socioeconómicas municipales (ICSM) descritas a continuación.

## METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Para efectos del ICSM, el porcentaje de informalidad de la propiedad rural se normalizó así:

$$\text{Informalidad de la propiedad rural} = \frac{\% \text{ informalidad de la propiedad rural municipio } n}{\% \text{ informalidad de la propiedad rural máx.}}$$

## RANGOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE CALIFICACIÓN

Así como todas las demás variables de carácter económico, la evaluación de esta variable (indicador) no fue clasificada en rangos, y por lo tanto no se les asignó un valor a estos, ya que fue normalizada para la aplicación de la siguiente fórmula:

$$\text{ICSM} = \frac{\sum_{(i=0)}^n \text{Ind}_1 + \text{Ind}_2 \dots + \text{Ind}_n + \text{Ind}_n}{n}$$

Donde:

$ICSM$  = indicador de condiciones socioeconómicas municipales

$Ind_n$  = indicador de la variable  $X$  en el municipio  $n$

$n$  = número de variables socioeconómicas en el municipio  $n$

En donde el  $ICSM$  toma valores continuos de 0 a 1 y se presentan directamente de esta forma en la integración del mapa.

### FUENTES DE INFORMACIÓN

IGAC. (2014). *Estadística catastral nacional rural*.

IGAC (2013). *Consolidado de la interrelación catastro-registro*.

FICHA METODOLÓGICA DE VARIABLE	
COMPONENTE: SOCIOECONÓMICO	
CRITERIO: INSTITUCIONALIDAD	
VARIABLE: ÍNDICE DE DESEMPEÑO INTEGRAL MUNICIPAL	
TIPO DE VARIABLE: Caracterizador	
ATRIBUTOS ASOCIADOS A LA VARIABLE	Índice de desempeño integral municipal.

## DEFINICIÓN

Capacidad de gestión del municipio como ente territorial, en términos políticos y administrativos. Se mide conforme a los principios estatales de eficacia y eficiencia.

## IMPORTANCIA DE LA VARIABLE

Se analiza la gestión pública integral a nivel municipal desde su eficacia (ejecución), eficiencia (impacto), el cumplimiento de requisitos legales, la gestión y capacidad administrativa, y el desempeño fiscal. Este índice condensa la capacidad de gestión pública del municipio y su disciplina administrativa y fiscal, como potencial para el apalancamiento desde lo local para demandar la política de adecuación de tierras.

## LIMITANTES DE LA EVALUACIÓN DE LA VARIABLE

La información de este índice que genera el DNP tiene por lo general un rezago de dos años y debido a que el periodo de gobierno en los municipios es de cuatro años, no se refleja oportunamente la gestión de la administración municipal del periodo de análisis.

## ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE

El obtenido según la metodología de evaluación e integración con el indicador de condiciones socioeconómicas municipales (ICSM) descritas a continuación.

## METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Para efectos del ICSM, el índice de desempeño integral municipal se normalizó así:

$$\text{Índice de desempeño integral municipal (IDIM)} = \frac{\text{IDIM municipio } n}{\text{IDIM municipio máx.}}$$

## RANGOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE CALIFICACIÓN

Así como todas las demás variables de carácter económico, la evaluación de esta variable (indicador) no fue clasificada en rangos, y por lo tanto no se les asignó un valor a estos, ya que fue normalizada para la aplicación de la siguiente fórmula:

$$\text{ICSM} = \frac{\sum_{(i=0)}^n \text{Ind}_1 + \text{Ind}_2 \dots + \text{Ind}_n + \text{Ind}_n}{n}$$

Donde:

$ICSM$  = indicador de condiciones socioeconómicas municipales

$Ind_n$  = indicador de la variable  $X$  en el municipio  $n$

$n$  = número de variables socioeconómicas en el municipio  $n$

En donde el  $ICSM$  toma valores continuos de 0 a 1 y se presentan directamente de esta forma en la integración del mapa.

#### FUENTES DE INFORMACIÓN

DNP. (2013).

FICHA METODOLÓGICA DE VARIABLE	
COMPONENTE: SOCIOECONÓMICO	
CRITERIO: INSTITUCIONALIDAD	
VARIABLE: PORCENTAJE DE INVERSIÓN EN EL SECTOR AGROPECUARIO 2013-2014	
TIPO DE VARIABLE: Caracterizador	
ATRIBUTOS ASOCIADOS A LA VARIABLE	Inversión municipal del sector agropecuario / Inversión municipal total.

## DEFINICIÓN

Inversión pública de índole agropecuaria a nivel municipal. La relevancia y prioridad de inversión son condiciones para el apalancamiento financiero de recursos de cofinanciación en la inversión de proyectos de adecuación de tierras.

## IMPORTANCIA DE LA VARIABLE

El desarrollo de proyectos de adecuación de tierras requiere coordinación y articulación de acciones públicas desde el nivel nacional hasta el local, mediante la capacidad técnica, el apalancamiento de recursos y el acompañamiento a los grupos asociativos en las etapas de formulación, implementación y operación de los proyectos. Así, a nivel local, el presupuesto de inversión destinado al sector agropecuario puede indicar la prioridad política para emprender este tipo de inversiones.

## LIMITANTES DE LA EVALUACIÓN DE LA VARIABLE

Con una visión de desarrollo rural con enfoque territorial, la inversión no puede ser vista de esta manera somera, hay que tener en cuenta la provisión de bienes públicos y la transversalidad de otros sectores en el ámbito rural; sin embargo, no es sencillo poder llegar a cuantificarla de esta manera, como se debería realizar para estimar un monto más real.

## ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE

El obtenido según la metodología de evaluación e integración con el indicador de condiciones socioeconómicas municipales (ICSM) descritas a continuación.

## METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Para efectos del ICSM, el porcentaje de inversión en el sector agropecuario 2013-2014 se normalizó así:

$$\text{Inversión en el sector agropecuario 2013-2014} = \frac{\% \text{ de inversión municipio } n}{\% \text{ de inversión municipio máx.}}$$

## RANGOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE CALIFICACIÓN

Así como todas las demás variables de carácter económico, la evaluación de esta variable (indicador) no fue clasificada en rangos, y por lo tanto no se les asignó un valor a estos, ya que fue normalizada para la aplicación de la siguiente fórmula:

$$ICSM = \sum_{(i=0)}^n \frac{Ind_1 + Ind_2 \dots + Ind_n + Ind_n}{n}$$

Donde:

$ICSM$  = indicador de condiciones socioeconómicas municipales

$Ind_n$  = indicador de la variable  $X$  en el municipio  $n$

$n$  = número de variables socioeconómicas en el municipio  $n$

En donde el  $ICSM$  toma valores continuos de 0 a 1 y se presentan directamente de esta forma en la integración del mapa.

### FUENTES DE INFORMACIÓN

DNP. (2015).

Cálculos propios.

## FICHA METODOLÓGICA DE VARIABLE

COMPONENTE: SOCIOECONÓMICO

CRITERIO: ASOCIATIVAS

VARIABLE: ASOCIACIONES Y ENTIDADES SOLIDARIAS 2014

TIPO DE VARIABLE: Caracterizador

ATRIBUTOS ASOCIADOS A LA VARIABLE

Número de entidades solidarias en el municipio.

**DEFINICIÓN**

Asociaciones de usuarios de adecuación de tierras, que en su mayoría funcionan como entidades solidarias o sin ánimo de lucro, y sin sección de ahorro y crédito. Indica la familiaridad de los habitantes con este tipo de entidades.

**IMPORTANCIA DE LA VARIABLE**

Para que la política de adecuación de tierras pueda cumplir con su propósito, entre otras, se requiere tener excelentes asociaciones de usuarios, en cuanto a su fortaleza organizacional y cohesión social.

La política de adecuación de tierras no se puede limitar únicamente a ejecución de proyectos, esto es la cuota inicial, mas no el fin; por tal razón, la perdurabilidad y adecuada operación de los distritos de riego y drenaje depende principalmente de las asociaciones de usuarios, en una lógica de ejecución de proyectos.

**LIMITANTES DE LA EVALUACIÓN DE LA VARIABLE**

La información que se presenta no hace una distinción precisa para asociaciones de tipo agropecuario, y menos si se trata de usuarios de distritos de riego, es un proxy con asociaciones y entidades de economía solidaria de todos los sectores de la economía. En relación con el sector, no se encuentra consolidada la información de la ubicación, el tipo y el número de asociaciones agropecuarias.

**ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE**

El obtenido según la metodología de evaluación e integración con el indicador de condiciones socioeconómicas municipales (ICSM) descritas a continuación.

**METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN**

Para efectos del ICSM, el número de asociaciones y entidades solidarias 2014 se normalizó así:

$$\text{Asociaciones y entidades solidarias 2014} = \frac{\text{No. de asoc. y ent. solidarias municipio } n}{\text{No. de asoc. y ent. solidarias municipio máx.}}$$

**RANGOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE CALIFICACIÓN**

Así como todas las demás variables de carácter económico, la evaluación de esta variable (indicador) no fue clasificada en rangos, y por lo tanto no se les asignó un valor a estos, ya que fue normalizada para la aplicación de la siguiente fórmula:

$$ICSM = \sum_{(i=0)}^n \frac{Ind_1 + Ind_2 \dots + Ind_n + Ind_n}{n}$$

Donde:

$ICSM$  = indicador de condiciones socioeconómicas municipales

$Ind_n$  = indicador de la variable  $X$  en el municipio  $n$

$n$  = número de variables socioeconómicas en el municipio  $n$

En donde el  $ICSM$  toma valores continuos de 0 a 1 y se presentan directamente de esta forma en la integración del mapa.

#### FUENTES DE INFORMACIÓN

Superintendencia de Economía Solidaria. (2015).

## FICHA METODOLÓGICA DE VARIABLE

COMPONENTE: SOCIOECONÓMICO

CRITERIO: SEGURIDAD

VARIABLE: PROMEDIO DE ACCIDENTES E INCIDENTES POR MINAS ANTIPERSONAS 2010-2014

TIPO DE VARIABLE: Caracterizador

ATRIBUTOS ASOCIADOS A LA VARIABLE

Promedio municipal de accidentes e incidentes por minas antipersonas entre 2010 y 2014.

**DEFINICIÓN**

Acontecimientos por minas antipersonas de diferente intensidad: aquellos que causan daño físico o psicológico a una o más personas se denominan accidentes; los que pueden aumentar hasta un accidente o tienen el potencial para conducir a un accidente, se conocen como incidentes.

Mina antipersonas: mina concebida para que explote por la presencia, la proximidad o el contacto de una persona, y que en caso de explotar tenga la potencialidad de incapacitar, herir o matar a una o más personas (Dirección para la Acción Integral contra Minas Antipersonal [sic], 2015).

**IMPORTANCIA DE LA VARIABLE**

La inversión de origen público y privado se reduce en zonas rurales por temas de seguridad ciudadana. Además de ser una variable dinámica en las regiones, su análisis y seguimiento es relevante para la definición de inversión en proyectos de adecuación de tierras, ya que la percepción de la presencia de campos minados puede limitar significativamente el desarrollo de proyectos de adecuación de tierras, reduce el área de suelo para usos productivos y pone en peligro la integridad física de los seres humanos.

**LIMITANTES DE LA EVALUACIÓN DE LA VARIABLE**

Al tratarse de una variable dinámica, su periodo de análisis es un elemento continuo de discusión. Por otra parte, la información no refleja la presencia de todos los campos minados, únicamente los accidentes que ocurren, lo que causa un impacto negativo que se magnifica en los actores que pretenden realizar una inversión en adecuación de tierras.

**ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE**

El obtenido según la metodología de evaluación e integración con el indicador de condiciones socioeconómicas municipales (ICSM) descritas a continuación.

**METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN**

Para efectos del ICSM, el promedio de accidentes por minas antipersonas 2010-2014 se normalizó así:

$$\text{Promedio de accidentes por minas antipersonas (PAMA) 2010-2014} = 1 - \frac{\text{PAMA municipio } n - \text{PAMA municipio mín.}}{\text{PAMA municipio máx.} - \text{PAMA municipio mín.}}$$

## RANGOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE CALIFICACIÓN

Así como todas las demás variables de carácter económico, la evaluación de esta variable (indicador) no fue clasificada en rangos, y por lo tanto no se les asignó un valor a estos, ya que fue normalizada para la aplicación de la siguiente fórmula:

$$ICSM = \sum_{(i=0)}^n \frac{Ind_1 + Ind_2 \dots + Ind_n + Ind_n}{n}$$

Donde:

$ICSM$  = indicador de condiciones socioeconómicas municipales

$Ind_n$  = indicador de la variable  $X$  en el municipio  $n$

$n$  = número de variables socioeconómicas en el municipio  $n$

En donde el  $ICSM$  toma valores continuos de 0 a 1 y se presentan directamente de esta forma en la integración del mapa.

## FUENTES DE INFORMACIÓN

Dirección para la Acción Integral contra Minas Antipersonal [sic]. (2015). *Eventos minas antipersonal en Colombia* [sic].

FICHA METODOLÓGICA DE VARIABLE	
COMPONENTE: SOCIOECONÓMICO	
CRITERIO: SEGURIDAD	
VARIABLE: PROMEDIO DE ACCIONES ARMADAS 2010-2014	
TIPO DE VARIABLE: Caracterizador	
ATRIBUTOS ASOCIADOS A LA VARIABLE	Promedio municipal de incursiones armadas entre 2010-2014.

## DEFINICIÓN

Condiciones de seguridad que determinan el atractivo de inversión en la región. La ocurrencia de acciones armadas puede limitar significativamente el desarrollo de proyectos de adecuación de tierras y magnifica la percepción de inseguridad en la zona.

## IMPORTANCIA DE LA VARIABLE

La inversión de origen público y privado se reduce en zonas rurales por temas de seguridad ciudadana, más con acciones armadas por grupos al margen de la ley. Además de ser una variable dinámica en las regiones, su análisis y seguimiento es relevante para la definición de inversión en proyecto de adecuación de tierras.

La presencia de actores armados al margen de la ley puede dificultar el desarrollo de proyectos de adecuación de tierras, por condicionar las discusiones sociales, impedir el ingreso de personal técnico a la zona, entre otras. En consecuencia, la percepción de estas condiciones en los actores de inversión es relevante para su decisión de desarrollo.

## LIMITANTES DE LA EVALUACIÓN DE LA VARIABLE

Por tratarse de una variable dinámica, su periodo de análisis es un elemento continuo de discusión debido a las fluctuaciones del fenómeno. Además, la información no refleja la percepción de seguridad en los actores locales y los externos con posibilidad de inversión, lo que genera un impacto negativo que se magnifica en estos actores.

## ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE

El obtenido según la metodología de evaluación e integración con el indicador de condiciones socioeconómicas municipales (ICSM) descritas a continuación.

## METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Para efectos del ICSM, el promedio de acciones armadas 2010-2014 se normalizó así:

$$\text{Promedio de acciones armadas (PAA) 2010-2014} = 1 - \frac{\text{PAA municipio } n - \text{PAA municipio mín.}}{\text{PAA municipio máx.} - \text{PAA municipio mín.}}$$

## RANGOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE CALIFICACIÓN

Así como todas las demás variables de carácter económico, la evaluación de esta variable (indicador) no fue clasificada en rangos, y

por lo tanto no se les asignó un valor a estos, ya que fue normalizada para la aplicación de la siguiente fórmula:

$$ICSM = \sum_{(i=0)}^n \frac{Ind_1 + Ind_2 \dots + Ind_n + Ind_n}{n}$$

Donde:

$ICSM$  = indicador de condiciones socioeconómicas municipales

$Ind_n$  = indicador de la variable  $X$  en el municipio  $n$

$n$  = número de variables socioeconómicas en el municipio  $n$

En donde el  $ICSM$  toma valores continuos de 0 a 1 y se presentan directamente de esta forma en la integración del mapa.

#### FUENTES DE INFORMACIÓN

Unidad para la Atención y Reparación Integral a las Víctimas. (2015).

FICHA METODOLÓGICA DE VARIABLE	
COMPONENTE: SOCIOECONÓMICO	
CRITERIO: SEGURIDAD	
VARIABLE: TASA DE DESPLAZAMIENTO FORZADO 2010-2014	
TIPO DE VARIABLE: Caracterizador	
ATRIBUTOS ASOCIADOS A LA VARIABLE	Promedio municipal de desplazamiento forzado de la población entre 2010-2014.

## DEFINICIÓN

Expulsión forzada de la población por condiciones de violencia, que impide generar condiciones de ocupación pacífica del territorio y acreditar el derecho real de dominio de la propiedad, para el desarrollo de proyectos de adecuación de tierras.

## IMPORTANCIA DE LA VARIABLE

El desplazamiento forzado se asocia con dificultades de arraigo de la población en el territorio e informalidad para acreditar el derecho real de dominio de la propiedad rural, lo que impide el desarrollo de proyectos productivos de largo plazo y el complemento de adecuación de tierras.

## LIMITANTES DE LA EVALUACIÓN DE LA VARIABLE

Por tratarse de una variable dinámica y sensible socialmente, su periodo de análisis y las fuentes de información son elementos continuos de discusión debido a las fluctuaciones del fenómeno y las entidades públicas y privadas que lo analizan.

## ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE

El obtenido según la metodología de evaluación e integración con el indicador de condiciones socioeconómicas municipales (ICSM) descritas a continuación.

## METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Para efectos del ICSM, la tasa de desplazados 2010-2014 se normalizó así:

$$\text{Tasa de desplazados}_{2010-2014} = 1 - \frac{\text{Tasa de desplazados municipio } n - \text{Tasa de desplazados municipio mín.}}{\text{Tasa de desplazados municipio máx.} - \text{Tasa de desplazados municipio mín.}}$$

## RANGOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE CALIFICACIÓN

Así como todas las demás variables de carácter económico, la evaluación de esta variable (indicador) no fue clasificada en rangos, y por lo tanto no se les asignó un valor a estos, ya que fue normalizada para la aplicación de la siguiente fórmula:

$$\text{ICSM} = \sum_{(i=0)}^n \frac{\text{Ind}_1 + \text{Ind}_2 \dots + \text{Ind}_n + \text{Ind}_n}{n}$$

Donde:

$ICSM$  = indicador de condiciones socioeconómicas municipales

$Ind_n$  = indicador de la variable  $X$  en el municipio  $n$

$n$  = número de variables socioeconómicas en el municipio  $n$

En donde el  $ICSM$  toma valores continuos de 0 a 1 y se presentan directamente de esta forma en la integración del mapa.

### FUENTES DE INFORMACIÓN

Unidad para la Atención y Reparación Integral a las Víctimas (UARIV), a través de la Red Nacional de Información (RNI) para la Atención y Reparación a las Víctimas, 2010-2014.

## FICHA METODOLÓGICA DE VARIABLE

COMPONENTE: SOCIOECONÓMICO

CRITERIO: SEGURIDAD

VARIABLE: TASA DE HOMICIDIOS 2010-2014

TIPO DE VARIABLE: Caracterizador

ATRIBUTOS ASOCIADOS A LA VARIABLE

Promedio municipal de homicidios por cada 1000 habitantes entre 2010-2014.

**DEFINICIÓN**

Condiciones generales de seguridad y tolerancia de las relaciones entre los pobladores de una región, independientemente de que no se discrimine el origen de los incidentes. Para el desarrollo de proyectos de adecuación de tierras debe tenerse en cuenta como condición de seguridad ciudadana.

**IMPORTANCIA DE LA VARIABLE**

Para el desarrollo potencial de los proyectos de adecuación deben existir condiciones de seguridad e integridad física aceptables socialmente, para el arraigo de la población y la percepción de un ambiente adecuado para los inversores.

**LIMITANTES DE LA EVALUACIÓN DE LA VARIABLE**

La variable indica la ocurrencia, mas no la causa del incidente, por lo que puede distorsionarse la percepción de la causa de la inseguridad.

**ÍNDICE DE CALIFICACIÓN DE LA VARIABLE**

El obtenido según la metodología de evaluación e integración con el indicador de condiciones socioeconómicas municipales (ICSM) descritas a continuación.

**METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN**

Para efectos del ICSM, la tasa de homicidios 2010-2014 se normalizó así:

$$\text{Tasa de homicidios 2010-2014} = 1 - \frac{\text{Tasa de homicidios municipio n} - \text{Tasa de homicidios municipio mín.}}{\text{Tasa de homicidios municipio máx.} - \text{Tasa de homicidios municipio mín.}}$$

**RANGOS PARA LA ASIGNACIÓN DE ÍNDICES DE CALIFICACIÓN**

Así como todas las demás variables de carácter económico, la evaluación de esta variable (indicador) no fue clasificada en rangos, y por lo tanto no se les asignó un valor a estos, ya que fue normalizada para la aplicación de la siguiente fórmula:

$$\text{ICSM} = \sum_{(i=0)}^n \frac{\text{Ind}_1 + \text{Ind}_2 \dots + \text{Ind}_n + \text{Ind}_n}{n}$$

Donde:

$ICSM$  = indicador de condiciones socioeconómicas municipales

$Ind_n$  = indicador de la variable  $X$  en el municipio  $n$

$n$  = número de variables socioeconómicas en el municipio  $n$

En donde el  $ICSM$  toma valores continuos de 0 a 1 y se presentan directamente de esta forma en la integración del mapa.

#### **FUENTES DE INFORMACIÓN**

Unidad para la Atención y Reparación Integral a las Víctimas (UARIV). (2014).