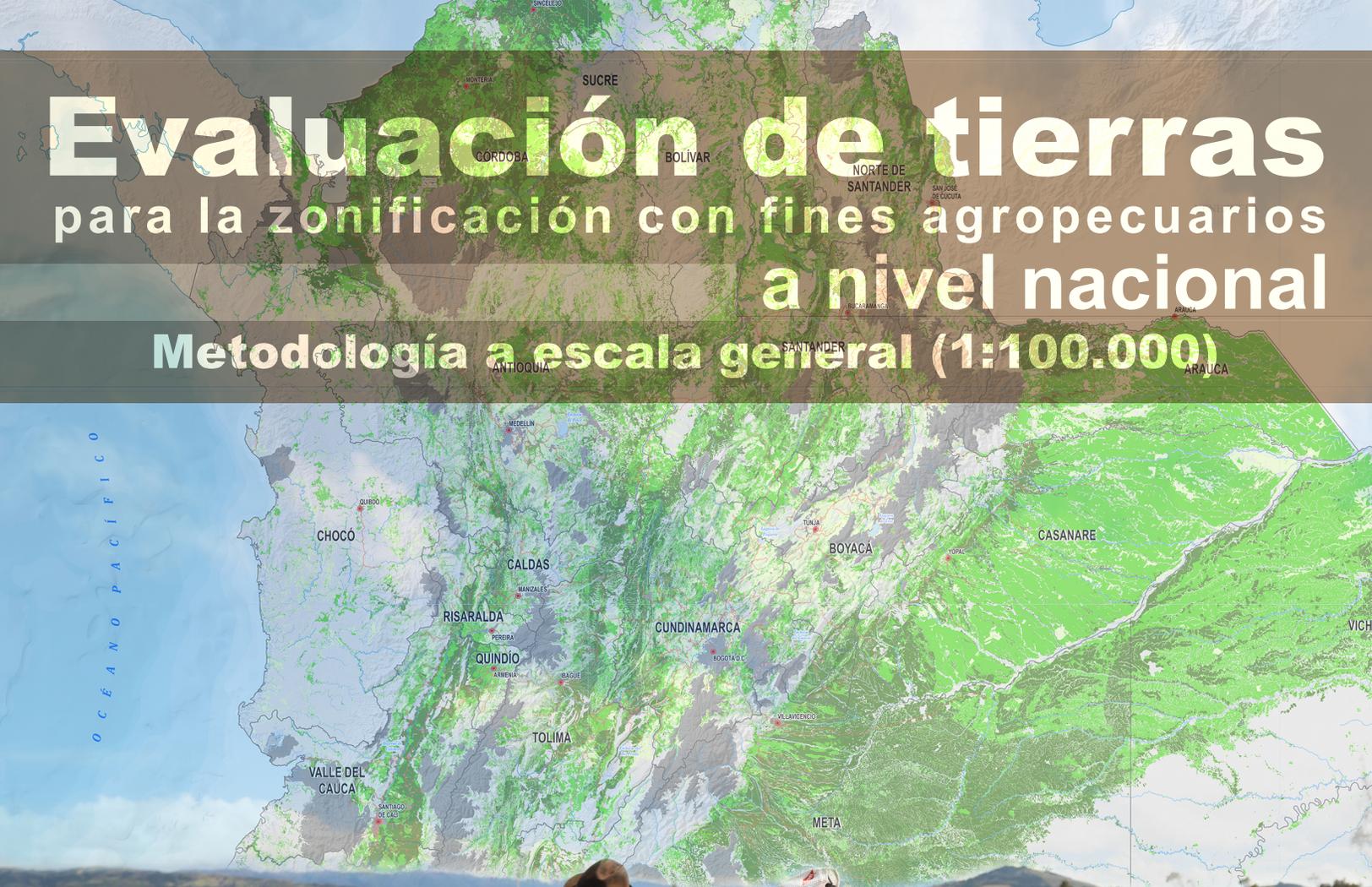


Evaluación de tierras

para la zonificación con fines agropecuarios
a nivel nacional

Metodología a escala general (1:100.000)



Evaluación de tierras

para la zonificación con fines agropecuarios

a nivel nacional

Metodología a escala general (1:100.000)

**Metodología de evaluación de tierras para la zonificación
con fines agropecuarios a escala general (1:100.000)**

Iván Duque Márquez
Presidente de la República de Colombia

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR)

Andrés Valencia Pinzón
Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural

Marcela Urueña Gómez
Viceministra de Asuntos Agropecuarios

Javier Pérez Burgos
Viceministro de Desarrollo Rural

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA)

Felipe Fonseca Fino
Director general

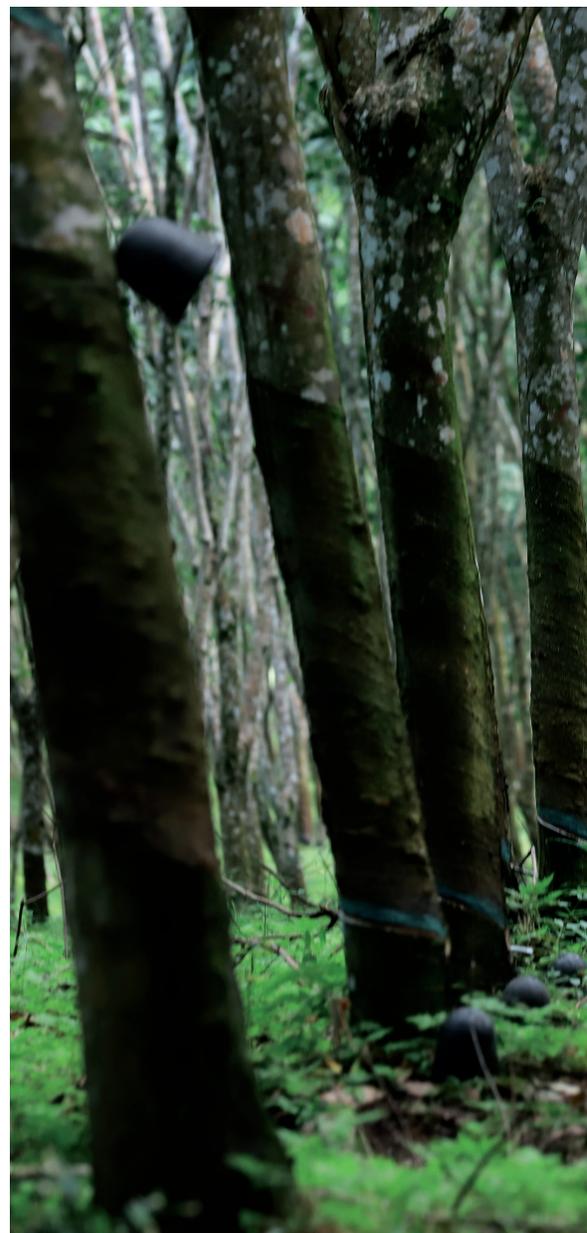
Mercedes Vásquez de Gómez
Secretaria general

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**

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

Luz Marina Arévalo Sánchez
Gloria Cecilia Chaves Almanza
Emiro José Díaz Leal
Sandra Milena Ruano Reyes
Mónica Cortés Pulido
Asesores





Este documento es propiedad intelectual de la Unidad de Planificación de Tierras Rurales, Adecuación de Tierras y Usos Agropecuarios (UPRA). Se prohíbe su reproducción total o parcial con fines comerciales. Citar así: Aguilar, D., Rodríguez, A., Gómez, Siachoque, R., Acosta, C., Cortés, C., Enciso, F. ... Vergara, J. (2019). *Metodología de evaluación de tierras para la zonificación con fines agropecuarios a escala general (1:100.000)*. Bogotá: UPRA.

ISBN: 978-958-5552-49-4

© UPRA, 2019.

Directores temáticos

Felipe Fonseca Fino
Daniel Alberto Aguilar Corrales

Autores

Daniel Alberto Aguilar Corrales
Andrés Felipe Rodríguez Vásquez
Luz Mery Gómez
Ricardo Fabián Siachoque Bernal
Claudia Patricia Acosta Latorre
Claudia Liliana Cortés López
Fabiola Enciso Enciso
Edwin R. García Márquez
Luisa María Lagos Riaño
Alexis Vladimir Maluendas
Lizeth Ortiz Guengue
Mariana Ríos Ortegón
Oscar Romero Guevara
Cindy Elizabeth Rubiano
Jaime Vergara Hincapié

Representación cartográfica

Luz Mery Gómez Contreras
Fernando Antonio Castillo Jiménez
Edward Alejandro Moreno Bojacá
Jaime Andrés Unriza Vargas
Nancy Milena Alarcón Fernández
David Leonardo Cifuentes López

Colaboradores

Pedro David Porras Rodríguez

Corrección de texto y estilo

John Jairo Machado Muñoz

Diseño y diagramación

Tania Prieto
Lorena Maryeth Rodríguez
Martínez

Fotografías

Banco de imágenes de la UPRA
Andrés Eduardo Paz Duarte



Resumen

Este documento recopila ajustes y modificaciones realizados por la Unidad de Planificación Rural y Agropecuaria (UPRA), desde el año 2013, en proyectos en evaluación de tierras con fines agropecuarios para diferentes tipos de utilización de la tierra (TUT) a nivel nacional y a nivel territorial, a una escala general, asociada cartográficamente a 1:100.000, con información oficial alfanumérica y espacial. Así mismo, actualiza el documento de *Evaluación de tierras para la zonificación con fines agropecuarios a nivel nacional*, publicado en el año 2013 por la UPRA, realizado a partir del Contrato 124 de 2013, celebrado entre la Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, sede Bogotá y la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria.

El documento contiene las bases técnicas y cartográficas para realizar la evaluación de tierras modelando la comparación de lo que ofrece un territorio y lo que requiere el TUT. El resultado determina en dónde se encuentra espacialmente la aptitud, desde una concepción física, ecosistémica, económica y social, enmarcada dentro la frontera agrícola del país.

De igual manera, el presente documento generaliza y estandariza los conceptos y procesos referentes a la evaluación de tierras, tomando como base la experiencia que en los últimos años ha adquirido la UPRA en proyectos con alcances nacionales y territoriales. Se constituye así en un instrumento de planificación para el ordenamiento de la producción rural agropecuaria, cuyos resultados, dado el nivel de detalle empleado y junto con otros elementos de planificación, pueden ser utilizados para tomar decisiones a nivel nacional o territorial.

Palabras clave: Evaluación de tierras, aptitud, tipos de utilización de la tierra (TUT).



Tabla de contenido

Resumen	5
Índice de tablas	7
Índice de figuras	8
Lista de siglas y abreviaturas	9
Lista de símbolos	12
Glosario	13
Introducción	16
1. Marco general	18
2. Priorización y definición de TUT	22
2.1. Priorización de TUT para escalas territoriales	23
2.2. Priorización de TUT a nivel nacional	26
2.3. Definición del TUT	29
3. Tipos de utilización de la tierra	30
3.1. Requerimientos físicos	33
3.1.1. Obtención de rangos de requerimiento de los TUT	38
3.2. Requerimientos socioecosistémicos	40
3.2.1. Obtención de rangos de requerimientos de los TUT	41
3.2.2. Exclusiones para actividades agropecuarias	44
3.3. Requerimientos socioeconómicos	45
3.3.1. Obtención de rangos de requerimiento	50
4. Unidades de tierra (TUT)	58
4.1. Unidades de tierra físicas	60
4.2. Unidades de tierra socioecosistémicas	61
4.3. Unidades de tierra socioeconómicas	62
4.4. Exclusiones legales	64
4.5. Áreas condicionadas	65
4.5.1. Condicionantes étnicas	66
4.5.2. Condicionantes ambientales	66
4.5.3. Condicionantes por gestión de riesgos	66
5. Análisis en evaluación de tierras.	68
5.1. Métodos de análisis espacial	71
5.1.1. Método de proceso analítico jerárquico AHP	72
5.1.2. Método del más limitante	74
5.1.3. Método de árbol de decisión	75
5.1.4. Matriz de paso	75
5.2. Flujo de procesos de análisis para la evaluación de tierras	77
5.2.1. Insumos de información	77
5.2.2. Procesamiento de datos	81
5.3. Generación del mapa de aptitud	91
6. Resultados en la evaluación de tierras	94
6.1. Fichas descriptivas	96
6.2. Capas vectoriales de aptitud	105
Referencias	106

Índice de tablas

Tabla 2.1. Bloques de información para diagnóstico del mercado agropecuario a nivel nacional	27
Tabla 3.1. Categorías de aptitud en evaluación de tierras	32
Tabla 3.2. Criterio y variables del subcomponente climático	34
Tabla 3.3. Criterios y variables del subcomponente edáfico	35
Tabla 3.4. Criterios y variables del subcomponente fitosanitario	37
Tabla 3.5. Ejemplo de requerimientos físicos, TUT de papa	38
Tabla 3.6. Criterios y variables del componente socioecosistémico	41
Tabla 3.7. Ejemplo de requerimientos socioecosistémicos, TUT papa	42
Tabla 3.8. Exclusiones técnicas	45
Tabla 3.9. Criterios y variables del componente socioeconómico	47
Tabla 3.10. Ejemplo de requerimientos socioeconómicos, TUT de papa	53
Tabla 4.1. Unidades de tierra físicas, fuentes de información	60
Tabla 4.2. Unidades de tierra socioecosistémicas, fuentes de información	62
Tabla 4.3. Unidades de tierra socioeconómicas, fuentes de información	63
Tabla 4.4. Exclusiones legales	64
Tabla 4.5. Condicionantes en la evaluación de tierras	67
Tabla 5.1. Criterio condiciones climáticas	74
Tabla 5.2. Criterio infraestructura y logística	75
Tabla 5.3. Ejemplo de matriz de paso	76
Tabla 5.4. Tabla de requerimientos diligenciada	80
Tabla 5.5. Variables que requieren preprocesamiento	82

Índice de figuras

Figura 1.1. Diagrama de flujo para realización de evaluación general de tierras	20
Figura 3.1. Esquema de conceptualización de la información	32
Figura 5.1. Modelo cartográfico para la evaluación de tierras	70
Figura 5.2. Técnicas de análisis por componente	71
Figura 5.3. Jerarquías para la evaluación de tierras	73
Figura 5.4. Flujo del proceso de análisis para la evaluación de tierras	77
Figura 5.5. Geoproceso para crear el esquema de almacenamiento	81
Figura 5.6. Integración de los criterios	88
Figura 5.7. Matriz de importancia relativa implementada	89
Figura 5.8. Histograma clasificación <i>natural breaks</i>	91
Figura 5.9. Modelo para la generación del mapa de aptitud	92
Figura 5.10. Modelo para generalización	93
Figura 6.1. Ficha de aptitud integrada	98
Figura 6.2. Ejemplo de ficha de aptitud de aguacate Hass, Nariño	99
Figura 6.3. Ficha de criterio	100
Figura 6.4. Ejemplo de ficha del criterio de condiciones climáticas, TUT café, Quindío	101
Figura 6.5. Ficha de variable	103
Figura 6.6. Ejemplo de ficha de variable de altitud, TUT para café.	104
Figura 6.7. Imagen de resultado de ET en el Sipra	105



Lista de siglas y abreviaturas

AC	Áreas críticas para especies migratorias en agroecosistemas
ACES	Área de concentración de especies sensibles en el territorio
AICA	Áreas de importancia para la conservación de aves
AHP	<i>Analytic hierarchy process</i> (proceso analítico jerárquico)
ANH	Agencia Nacional de Hidrocarburos
APC	Áreas prioritarias de conservación
CECN	Conectividad estructural de las coberturas naturales
CIC	Capacidad de intercambio catiónico
CNP	Consejo Nacional de la Papa
CONPES	Consejo Nacional de Política Económica y Social
Corpoica	Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (actualmente Agrosavia)
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística

DCS	Distrito de conservación de suelos
DEM	<i>Digital elevation model</i> (modelo digital de elevación)
DH	Disponibilidad hídrica
DHR	Disponibilidad hídrica real
DMI	Distrito de manejo integrado
DNP	Departamento Nacional de Planeación
ENSO	<i>El Niño Southern Oscillation</i> (Fenómeno de El Niño Oscilación del Sur)
ETP	Evapotranspiración potencial
ETR	Evapotranspiración real
FAG	Fondo Agropecuario de Garantías
FAO	Food and Agriculture Organization (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación)
Finagro	Fondo para el Financiamiento del Sector Agropecuario
FOB	<i>Free on board</i> (libre a bordo, cláusula de comercio internacional)
IAvH	Instituto Alexander von Humboldt
IC	Índice de competitividad
ICA	Instituto Colombiano Agropecuario
ICANH	Instituto Colombiano de Antropología e Historia
ICR	Incentivo a la capitalización rural
Ideam	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IE	Integridad ecológica
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
INAT	Índice de naturalidad por subzonas hidrográficas
Incoder	Instituto Colombiano de Desarrollo Rural
IPM	Índice de pobreza multidimensional
LEC	Línea especial de crédito
MADR	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural
MAVDT	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2002-2011)
Minagricultura	Ver MADR
Minambiente	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
Mincultura	Ministerio de Cultura
Mineducación	Ministerio de Educación Nacional
Mintransporte	Ministerio de Transporte
OMM	Organización Meteorológica Mundial
PEA	Población económicamente activa
PET	Población en edad de trabajar

PIB	Producto interno bruto
PLRV	<i>Potato leafroll virus</i> (virus del enrollamiento de las hojas de la papa)
PNN	Parques Nacionales Naturales de Colombia
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PRAN	Programa Nacional de Reactivación Agropecuaria
PSI	Porcentaje de sodio intercambiable
PVS	<i>Potato virus S</i> (virus S de la papa)
PVX	<i>Potato virus X</i> (virus X de la papa)
PVY	<i>Potato virus S</i> (virus Y de la papa)
Runap	Registro Único Nacional de Áreas Protegidas
SENA	Servicio Nacional de Aprendizaje
SGC	Servicio Geológico Colombiano
SINA	Sistema Nacional Ambiental
Sinap	Sistema Nacional de Áreas Protegidas
Sioc	Sistema de información de gestión y desempeño de organizaciones de cadenas
SIG	Sistemas de información geográfica
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission (Misión Topográfica Shuttle Radar)
SZH	Subzona hidrográfica
TLC	Tratado de libre comercio
TUT	Tipo de utilización de la tierra
UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
UN	Universidad Nacional de Colombia
Unesco	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
UPRA	Unidad de Planificación Rural Agropecuaria
USDA	United States Department of Agriculture (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos)
WWF	The World Wide Fund for Nature

Lista de símbolos

>	mayor que
<	menor que
≥	mayor o igual que
≤	menor o igual que
°C	grado Celsius
bar	unidad de presión
cm	centímetro
cmol	centimol (10^{-2} mol)
dS	decisiemens (10^{-1} S)
h	hora
ha	hectárea
km	kilómetro
kPa	kilopascal (10^3 Pa)
L	litro
ln	logaritmo natural
m	metro
m s. n. m.	metros sobre el nivel del mar
m ³	metro cúbico
me	miliequivalente
mm	milímetro
mol	cantidad de sustancia
Pa	pascal (unidad de presión)
pH	potencial de hidrógeno (medida de acidez o alcalinidad)
ppm	partes por millón
S	siemens (medida de conductancia eléctrica)
t	toneladas métricas



Glosario

Aptitud de la tierra: Potencial de establecimiento de un tipo de utilización de la tierra, resultado del análisis de combinaciones de criterios físicos, socioecosistémicos y socioeconómicos, enmarcados en una frontera agrícola.

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

Competitividad: Determinante fundamental del modelo de crecimiento y desarrollo sectorial. Se asocia con el uso eficiente de los factores de producción, la consolidación de los altos niveles de innovación en los sistemas productivos, la diversificación y ampliación de los mercados, la articulación de los mercados regionales y la población rural para desarrollar su potencial productivo y elevar su calidad de vida (UPRA, 2014, con base en Porter, 1990).

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

Criterio: Conjunto de requisitos, parámetros o variables que definen decisiones de aptitud de uso específico de un territorio rural.

Enfoque ecosistémico: Uso sostenible de los bienes y servicios de los ecosistemas y el mantenimiento de la integridad ecológica como paradigma de conservación para el bienestar humano, en cuya visión las estrategias de gestión deben considerar tanto la dinámica en las diferentes escalas de la organización biológica como las relaciones e interacciones entre los sistemas ecológicos y sociales (Martín-López, Gómez-Baggethun y Montes, 2009; Minambiente, 2012, citados por UPRA, 2014).

Evaluación de tierras: Determinación y predicción del comportamiento de una porción de tierra usada para fines específicos, de acuerdo con sus aspectos físicos, económicos y sociales. Considera los aspectos económicos del uso propuesto, las consecuencias sociales para la gente del área y del país en general y las repercusiones, benéficas o adversas, para el medioambiente (FAO, 1976).

Evaluación multicriterio: Método diseñado para cubrir un objetivo específico cuando se requiere la evaluación de varios criterios. Un criterio es la base para una decisión, puede medirse o evaluarse y puede ser de dos tipos: *factor* (para el cual se definen los niveles de aptitud) o *restricción* (que para este caso se considera de carácter técnico, normativo o técnico-normativo). Un factor es un criterio que mejora o reduce la aptitud de una alternativa específica para la actividad en consideración; una restricción es un criterio que limita, condiciona o excluye dichas alternativas (Eastman, Jin, Kyem y Toledano, 1995).

Exclusión legal: Zonas en las cuales, por mandato legal, no se permite el desarrollo de proyectos productivos del sector agropecuario.

Índice de agua no retornada a la cuenca: Relación entre la huella total de la cuenca (multisectorial) y la disponibilidad de agua azul (oferta hídrica disponible año medio) para cada una (Ideam, 2015).

Índice de regulación hídrica: Capacidad de retención de humedad de las cuencas, con base en la distribución de las series de frecuencias acumuladas de los caudales diarios.

Tipo de utilización de la tierra (TUT): Uso específico que se describe a un nivel de detalle apropiado según la escala de evaluación de tierras, en términos de la producción, el contexto social y económico; sus principales características físicas, agronómicas y productivas, así como los costos y los ingresos generados por la actividad de producción (UPRA, 2013).

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

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



Introducción

El Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 proponía impulsar la competitividad rural «a través de la provisión de bienes y servicios sectoriales que permitan hacer de las actividades agropecuarias una fuente de riqueza para los productores del campo» (Departamento Nacional de Planeación —DNP—, 2014), combinando arreglos institucionales y multisectoriales y atributos del territorio para brindar una mayor equidad de la población rural. Para lograr lo anterior, el Gobierno nacional requiere promover el uso eficiente del suelo y los recursos naturales a través del diseño de instrumentos a diferentes escalas que identifiquen la potencialidad y capacidad productiva en el marco de una agricultura ordenada; parte de esta responsabilidad recae sobre la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA) desde su creación. La UPRA fue creada por el Decreto 4145 del 3 de noviembre de 2011 como una unidad administrativa especial de carácter técnico y especializado, sin personería jurídica, adscrita al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, con autonomía presupuestal, administrativa, financiera y técnica.

De acuerdo con lo señalado en el artículo 5 del Decreto 4145 de 2011, se establecen, entre otras, las siguientes funciones de la UPRA: planificar el uso eficiente del suelo, definir los criterios y crear los instrumentos requeridos para el efecto, previendo el respectivo panorama de riesgos y una mayor competitividad de la producción agropecuaria en los mercados internos y externos; definir criterios y diseñar instrumentos para el ordenamiento del suelo rural apto para el desarrollo agropecuario, que sirvan de base para la definición de políticas para ser consideradas por las entidades territoriales en los planes de ordenamiento territorial. Por lo anterior, y teniendo en cuenta que en el proyecto de inversión «Fortalecimiento de la planificación del uso eficiente del suelo rural y la adecuación de tierras a nivel nacional» de la UPRA, se establece como segundo objetivo «desarrollar metodologías, lineamientos y criterios para la planificación del uso eficiente del suelo rural y proyectos de adecuación de tierras», la Dirección de Uso Eficiente y Adecuación de Tierras de la UPRA propuso desarrollar estudios para la planificación del uso eficiente del suelo, la adecuación de tierras y el ordenamiento productivo.

En Colombia, el análisis de las problemáticas de las zonas rurales y la definición de alternativas de manejo espacial a partir de la integración de múltiples factores ha sido limitado. El énfasis se ha puesto en los aspectos climáticos y edáficos, y los procesos ambientales, sociales, culturales y políticos —fundamentales en la





planificación integral del territorio y la definición de políticas más acordes con el medio geográfico— han sido desdeñados.

La UPRA propuso, entonces, la identificación de potenciales productivos agropecuarios abordados desde un enfoque espacial e interdisciplinario, partiendo de la premisa de que la metodología de evaluación de tierras es un instrumento de planificación para las áreas rurales que facilita la identificación de áreas geográficas con una combinación de características físicas, biológicas, humanas e institucionales aptas para un uso determinado, que pueden ser interpretadas en términos de objetivos para la gestión. La aplicación de este instrumento debe estar respaldada por información que permita analizar los diferentes procesos físicos, sociales, ecosistémicos y socioeconómicos que describen la heterogeneidad y particularidad de cada área geográfica (Ortiz-Lozano, Granados-Barba y Espejel, 2009).

En el 2014, la UPRA realizó la zonificación forestal con fines comerciales para Colombia. Tomó como base el enfoque de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés) en lo relativo a su forma de aplicación, y profundizó en los aspectos socioecosistémicos y socioeconómicos (referidos a la competitividad de las áreas), así como los de política y gobernabilidad. De igual manera, planteó una metodología fundamentada en el análisis multicriterio, cuyos criterios y variables de los componentes físicos, socioecosistémicos y socioeconómicos son ponderados de acuerdo con las características propias de una determinada cadena productiva. Para el 2017, la UPRA adelantó la evaluación de tierras para 17 tipos de utilización de la tierra a nivel nacional y, a nivel regional, acompañó técnicamente la evaluación general de tierras con fines agropecuarios para los departamentos de Tolima, Antioquia, Cesar y Nariño.

El documento se presenta dividido en 7 capítulos, los cuales corresponden a la conceptualización y estandarización de los distintos momentos o fases en que se desarrolla la evaluación de tierras con fines agropecuarios.

1

Marco general



La evaluación de tierras se inscribe en la planificación del uso de las tierras en un contexto particular. Es el proceso analítico que establece el desempeño de la tierra para un uso específico existente en una zona determinada (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación —FAO—, 1990, 1985). Tiene como objetivo proponer y determinar espacialmente sistemas de uso que sean apropiados, en sentido biofísico; aceptables, desde el punto de vista social; viables, en términos económicos, y que no ocasionen impactos negativos en el medio ambiente, es decir, que sean sostenibles a largo plazo (Martínez, 1997; UPRA, 2013).

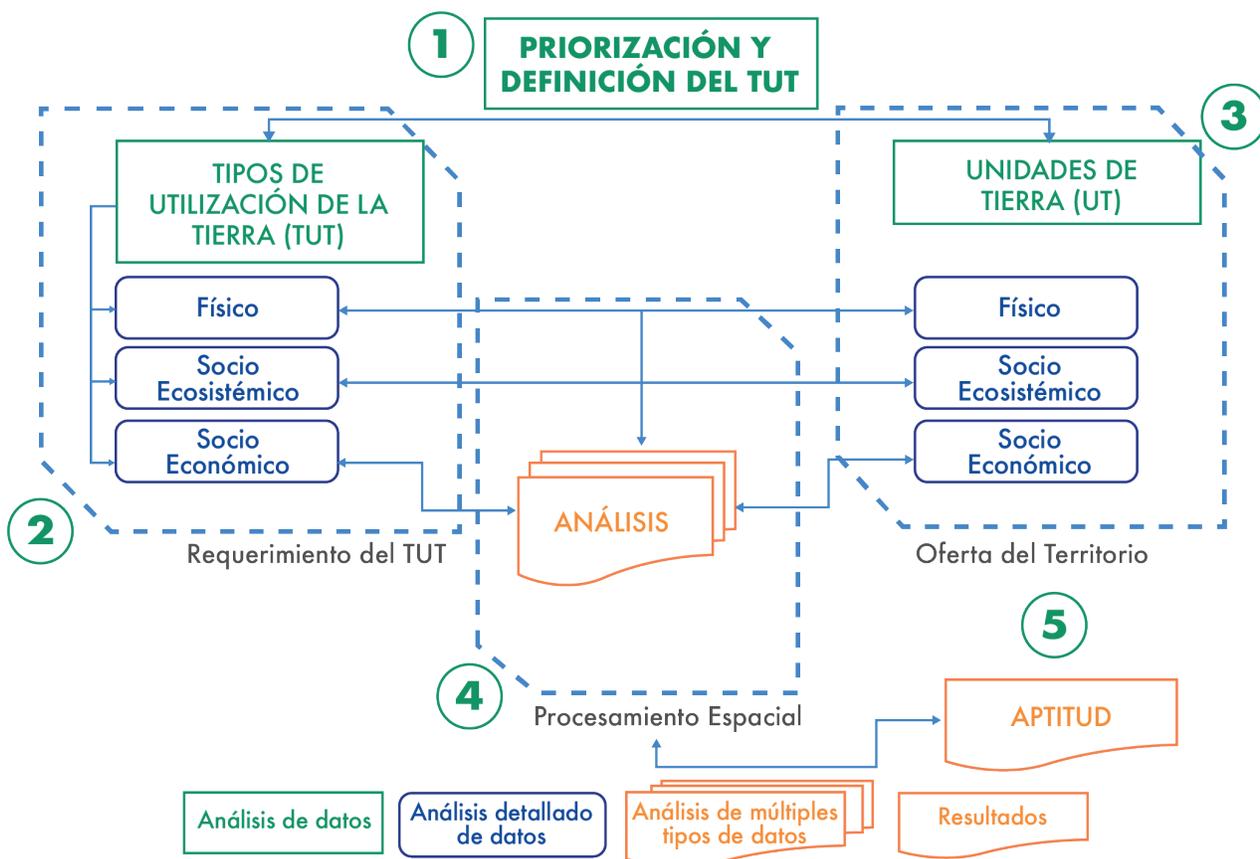
La base conceptual propuesta aquí es un análisis espacial que involucre el territorio en sus aspectos legales, institucionales, sociales y económicos; los requerimientos de los tipos de uso que se van a evaluar; las características de las tierras, y el uso actual o la cobertura. Parte de un contexto multidisciplinario con los principios y fundamentos de evaluación de tierras propuesto por FAO (1990, 1985), y adiciona en temas integrales de análisis el enfoque socioecológico y socioeconómico, con un rol de competitividad y productividad para los sistemas que se evalúen.



La evaluación de tierras compara conceptualmente lo que requiere un TUT con lo que ofrece el territorio (UT, unidad de tierra) (UPRA, 2013), que para fines de las actividades agropecuarios será un cultivo o uso agrícola (UPRA e Instituto Geográfico Agustín Codazzi –IGAC–, 2015), un servicio (adecuación de tierras) o un uso compuesto (agroforestal, ganadería bovina: uso agrícola y uso pecuario). La comparación se enmarca en tres grupos de análisis o *componentes*: componente físico, componente socioecosistémico y componente socioeconómico (figura 1.1). Los aspectos anteriores se describen y se caracterizan en términos de la relevancia que tienen para la evaluación de tierras. No se trata de un estudio exhaustivo de cada componente, sino de tomar de cada componente general los criterios y las variables claves para la determinación y zonificación de una aptitud de un TUT específico.

El nivel de detalle de la evaluación de tierras es para escalas generales. A esta escala, el país tiene la mayor cantidad de información oficial que presentan las instituciones públicas y privadas de Colombia, asociadas en su mayoría a una escala cartográfica 1:100.000.

Figura 1.1. Diagrama de flujo para realización de evaluación general de tierras



De acuerdo con la figura 1.1, para determinar la aptitud de un TUT, se requieren 5 momentos: Priorización y definición de TUT, determinación de los requerimientos, oferta del territorio, procesamiento espacial y resultados, momentos que se describen en los siguientes capítulos.



2

Priorización y definición de TUT



El momento 1 es la etapa de la selección del TUT que se va a evaluar. A través del análisis de datos y registros existentes de las actividades agropecuarias, se identifican y definen uno o más tipos de utilización de la tierra para evaluar su aptitud, dependiendo del espacio geográfico a analizar y su alcance (nacional o territorial). De acuerdo con su alcance se prioriza y define el TUT.

2.1. Priorización de TUT para escalas territoriales

Para la priorización del TUT en alcances diferentes al nacional (por ejemplo, un departamento o una región), se recomienda emplear la guía de *Mercados de productos agropecuarios* (Andrade, 2017), instrumento que ofrece las orientaciones básicas para incorporar los aspectos de las dinámicas del mercado multidimensional (territorial, nacional y mundial) al ordenamiento productivo agropecuario.

La guía está conformada por dos secciones: la sección A, dirigida a la priorización de las alternativas productivas, requerida como insumo de justificación para identificar y priorizar los principales TUT para elaborar los estudios de evaluación de tierras. Este procedimiento corresponde a una de las etapas definidas para la formulación de los planes de ordenamiento productivo que adelantan las gobernaciones con el acompañamiento técnico de la UPRA en los diferentes departamentos del país. Uno de los primeros pasos planteados en dicha sección es la consolidación de las estadísticas de la oferta agropecuaria del territorio en estudio, para realizar una selección preliminar de las alternativas productivas, partiendo de los datos oficiales de área cul-

tivada y la producción obtenida. Igualmente, se recomienda tener en cuenta los productos agropecuarios que hayan sido priorizados en la política de desarrollo nacional y territorial vigente.

Luego, se dan las orientaciones para realizar el análisis de la tendencia histórica de crecimiento o decrecimiento del área y producción de las alternativas productivas seleccionadas, y la participación de dicha producción y productividad en el contexto nacional. Posteriormente, se detalla el procedimiento para el análisis de las principales variables e indicadores de la demanda interna y externa, considerando la información disponible. Durante el desarrollo de la sección A, se presentan algunos modelos de matrices para consolidar, valorar y ponderar las variables e indicadores de la oferta y demanda de los productos, mediante el método de ponderación por ordenación simple, el cual se puede aplicar de una forma sencilla, que facilita la priorización final de los productos con criterios técnicos bien soportados. La sección B contiene las orientaciones para elaborar el diagnóstico del componente de mercados de productos agropecuarios, a partir de un análisis situacional que caracterice cualitativa y cuantitativamente las principales variables de la oferta y demanda del mercado interno y externo de los productos agropecuarios. En el primer capítulo, se dan las indicaciones para la recopilación y revisión de la información estadística disponible y de estudios relacionados con el mercado agropecuario, tanto de la oferta como de la demanda del territorio (bien sea departamento, región o municipio en estudio), así como del mercado nacional e internacional.

El segundo capítulo de la sección B presenta las instrucciones para elaborar una evaluación general de la oferta y demanda del mercado agropecuario del territorio en estudio y su participación en el contexto nacional, de tal forma que conduzca a identificar las fortalezas y la problemática transversal del mercado, entendidas como situaciones positivas y negativas que afectan de manera conjunta la oferta y demanda de los productos agropecuarios. Como complemento al instrumento de priorización de la guía, en el tercer capítulo, se plantea realizar la caracterización del mercado de los productos agropecuarios priorizados que aplicaron al estudio de evaluación de tierras y que serán objeto del ordenamiento productivo territorial, a partir de un análisis retrospectivo y actual de la oferta y demanda interna y externa de cada uno de estos productos, determinando sus debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas, que posteriormente se consolidan en una matriz DOFA, tal como se expone en el cuarto capítulo. Esta consolidación se propone con el fin de facilitar la formulación de las estrategias y acciones que harán parte del plan de ordenamiento productivo agropecuario territorial.

La guía contiene anexos que incluyen los referentes institucionales del orden nacional e internacional que son fuentes secundarias de información para el análisis del mercado. Cabe mencionar que, a nivel na-



cional, son varias las instituciones que disponen de información relevante para el análisis del mercado agropecuario, pero con ciertas falencias y vacíos; por ejemplo, se dispone de información oficial reciente de la oferta agropecuaria y de los volúmenes y precios del mercado de gran parte de los productos, que procede de fuentes como Sipsa-DANE, las cuales resultan insuficientes, pues no capturan los canales de comercialización locales, industriales e institucionales, lo que dificulta en gran medida un análisis del mercado a nivel territorial. Ante esto, se dan algunas instrucciones para recurrir a fuentes primarias. Además, los anexos de la guía contienen un modelo de ficha técnica que recoge las variables relevantes de la oferta y demanda de los productos priorizados, el instructivo para diligenciarla y ejemplos de aplicación de la ficha para el arroz y palma de aceite.

2.2. Priorización de TUT a nivel nacional

A nivel nacional (escala país), se recomienda utilizar parte de los elementos de análisis de la sección B de la guía citada. Puesto que el análisis es para un solo TUT, se deben profundizar los análisis de diagnóstico, teniendo en cuenta los aspectos situacionales del mercado agropecuario (no se emplea la sección A. Se sugiere revisar la sección 1.2 de *Cultivo comercial de papa: identificación de zonas aptas en Colombia, a escala 1:100.000*).

Por ser una escala de análisis nacional, la conformación de una estructura de costos nacional de un TUT imposibilita la evaluación de indicadores de proyectos para su establecimiento (tasa interna de retorno —TIR—, valor presente neto —VPN— y relación beneficio/costo), caso contrario para el análisis territorial.

Se debe consultar el plan nacional de desarrollo vigente, así como el plan de desarrollo del sector agropecuario para realizar una selección preliminar de los usos que pueden ser sujetos de evaluación. Igualmente, se recomienda consultar las estadísticas agropecuarias oficiales para validar y priorizar los productos por evaluar.

También, se debe identificar el producto que se desea obtener soportado preferiblemente en estudios de mercado.¹ La selección del producto permite hacer una identificación preliminar de las especies que se corresponden con las apuestas del Gobierno nacional.

Para elaborar un diagnóstico que detalle las condiciones de mercado y sanitarias del TUT por evaluar a nivel nacional, se recomienda analizar cuatro bloques de información: mercado nacional, mercado internacional, política nacional e indicadores generales (tabla 2.1).

¹ El estudio de mercado no es condicionante para la determinación del TUT, este puede ser reemplazado por información sectorial, institucional o estadísticas del ámbito nacional e internacional.

Tabla 2.1. Bloques de información para diagnóstico del mercado agropecuario a nivel nacional

Tipo de información	Descripción
Mercado nacional	Evolución del área sembrada, producción, rendimientos de usos agropecuarios: Tener el comportamiento del área semestral o anual según el tipo de cultivo (transitorio o permanente) muestra en qué periodos ha crecido o disminuido el área, <i>lo importante es conocer las razones de esos cambios</i> . Por ejemplo: si el área de un cultivo aumenta, <i>¿a qué se debe dicho aumento?</i> Posiblemente mejoró la comercialización, hubo buenos rendimientos, se promovieron más siembras, hubo rotación de cultivos transitorios, tierras en descanso, etc. Ahora bien, <i>¿a qué se debe la disminución?</i> Acaso fueron problemas fitosanitarios, variaciones climáticas, fluctuaciones de precios, incentivos de política pública, reducción de importaciones, cambios en los canales de comercialización, otros.
	Distribución de las áreas sembradas, rendimiento por departamentos o municipios: Con esta información se puede determinar en cuáles regiones del país la actividad agropecuaria es importante, y su aporte en términos de área, rendimientos y producción nacional desde el nivel municipal. Distribución de siembras por regiones: Con este indicador se conocen las estacionalidades de los cultivos.
	Precios nacionales y regionales: Evolución de los precios del mercado y explicaciones de los cambios; por ejemplo, los precios cayeron en este rango de tiempo por un aumento en las importaciones o porque hay un aumento en la oferta de cierta región, o los precios subieron por efecto de un verano en zonas que están recolectando, etc. Es importante acompañar estas variables de alguna descripción cualitativa, que permita rápidamente explicar el comportamiento del precio.
	Información sobre centros de producción, transformación y comercialización: <i>¿Quiénes y dónde se ubican los integrantes de la actividad productiva?</i> Para esto es importante identificar dónde se comercializa y en qué nivel de transformación, mercados líderes y mercados competidores, usos de la producción (porcentaje de consumo humano, consumo industrial, consumo animal, etc.), relación mercado nacional e internacional, productos sustitutos, entre otros.
	Formas de financiación: crédito público, agro comercio, industria, capital extranjero, servicios ecosistémicos, etc.
	Consumo per cápita y potencial de demanda nacional.
	Caracterización de mercados actuales y mercados potenciales mediante la consulta de un periodo histórico, indagar sobre los cambios en la cadena de valor de los productos del TUT a través del análisis de los cambios en la ganancia del proceso de intercambio comercial a precios reales y corrientes, el volumen total comercializado con diferentes países y la incidencia de la llegada de mano de obra extranjera al país.
	Importaciones, países de donde se importa, análisis de varios años, en valor y en volumen. En estos análisis se profundiza en los efectos de los acuerdos comerciales internacionales, la evolución de las cantidades comercializadas y fenómenos internacionales que impacten las importaciones domésticas como la variación en los precios de materias primas.
	Costos de producción nacional y por regiones ubicando las principales diferencias entre regiones: En algunas zonas los suelos son mejores y, por ende, los costos en fertilización son menores; en otras hay presencia de malezas, hongos o insectos que hacen que esos rublos sean diferentes. Pasa también en el arriendo, el costo del agua, los jornales, el transporte y la recolección.
Mercado internacional	<ul style="list-style-type: none"> • Principales productores a nivel mundial • Principales exportadores a nivel mundial • Principales importadores a nivel mundial • Consumo mundial y demanda potencial (otros usos, por ejemplo: biocombustibles) • Países que impactan el mercado colombiano del producto que se está diagnosticando • Políticas de algunos países frente a la cadena que se está analizando • Precios internacionales de la cadena analizada y de productos sustitutos.

Tipo de información	Descripción
Política nacional	<p>Comercialización: Por ejemplo, protección del ingreso cafetero (PIC), pago directo sobre el precio, Colombia Siembra y la promoción de cultivos transitorios, plan País Maíz, incentivo al almacenamiento, auxilios por renovación, programas de aumento al consumo, promoción de control de enfermedades, etc.</p> <p>Fondos parafiscales: Mostrar en qué tipo de inversiones están enfocados.</p> <p>Política de financiamiento: Incentivo a la Capitalización Rural (icr), Ola Invernal, líneas especiales de crédito, Fondo Agropecuario de Garantías, Seguro Agropecuario.</p> <p>Investigación y transferencia de tecnología.</p> <p>Ámbito comercial: Restricciones a las importaciones, contingentes, subastas, importaciones atadas a la absorción de cosechas, aplicación.</p>
Indicadores generales	<ul style="list-style-type: none"> • Número de productores • Empleos generados • Nivel de escolaridad que más demanda la actividad productiva • Edad de los productores • Tipo de productor (tamaño, tecnificado tradicional) • Tipo de tenencia que predomina • Tipo de semilla utilizada • Tipo de sistema de riego utilizado • Tipo de maquinaria utilizada (propia arrendada, edad de la maquinaria) • Área sembrada respecto al área de la frontera agrícola.

2.3. Definición del TUT

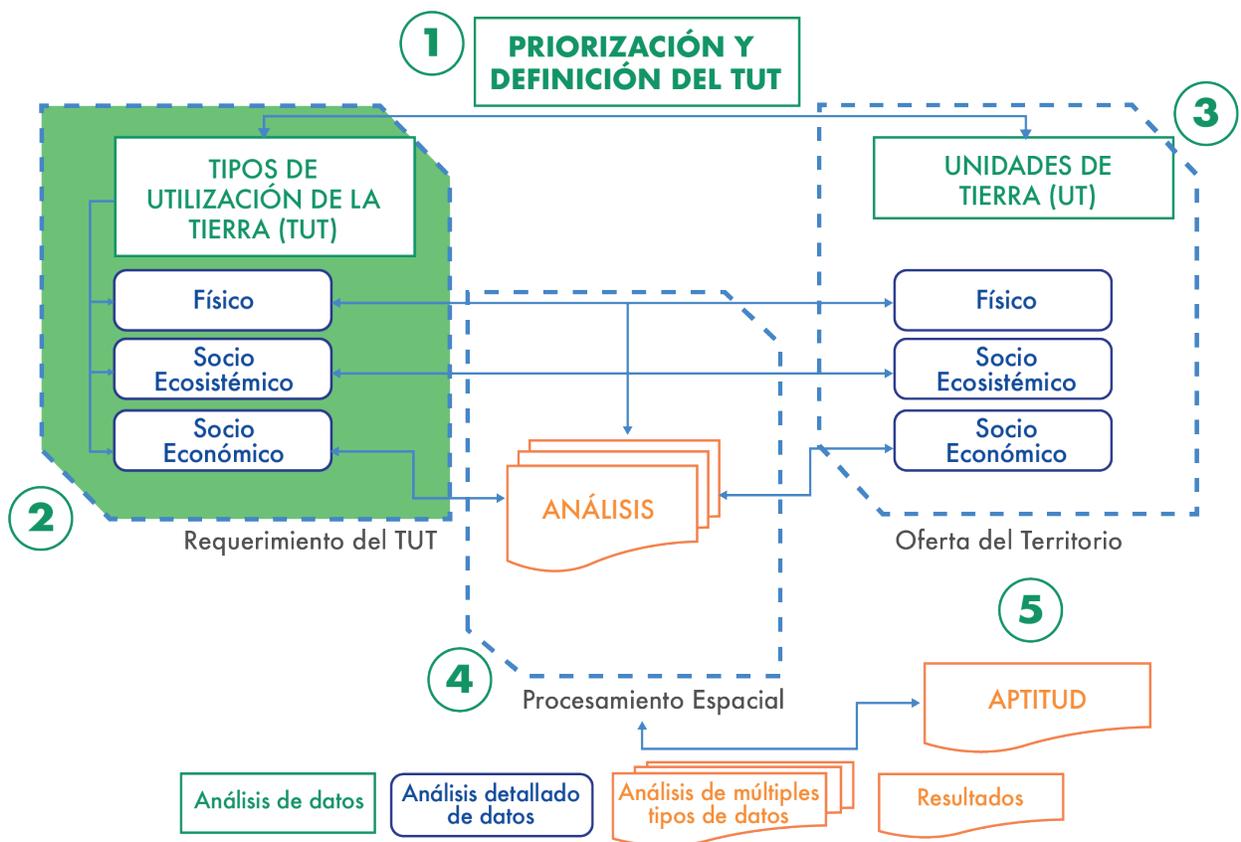
Priorizado e identificado el o los TUT, se define, o definen, con atención especial a sus propósitos agronómicos, económicos y sociales, descritos a partir de formas de producción, especie, nivel de tecnificación, mercado objetivo, ámbito político-administrativo y escala de producción. Por ejemplo, dentro de la priorización con estadísticas agropecuarias, se determina evaluar maíz, pero, desde el punto de vista agronómico, existen distintas variedades que se pueden establecer dependiendo del clima (frío a cálido); en el aspecto económico y social, es diferente el propósito y los manejos socioeconómicos de un maíz tecnificado a un maíz para autoconsumo, razón por la cual es necesario realizar la diferenciación con los criterios mencionados anteriormente. En el año 2017, la UPRA realizó la evaluación general de tierras para el maíz de clima cálido tecnificado, acotando las dimensiones de análisis para los componentes de la evaluación.

Los siguientes son ejemplos de definiciones de TUT de soya y yuca:

- Cultivo comercial tecnificado de soya (*Glycine max* L.) en clima cálido, con variedades adaptadas a la Orinoquía, para la obtención de aceite para mesa, semilla certificada o harina proteica insumo de concentrados para alimentación de bovinos, porcinos y aves, departamento del Meta, escala 1:100.000.
- Cultivo tradicional de yuca (*Manihot esculenta* Grantz), variedad llanera, para consumo en fresco y procesamiento, la obtención de tubérculos para la alimentación humana o transformación industrial (almidón), con destino al mercado local y nacional, departamento del Meta, escala 1:100.000.

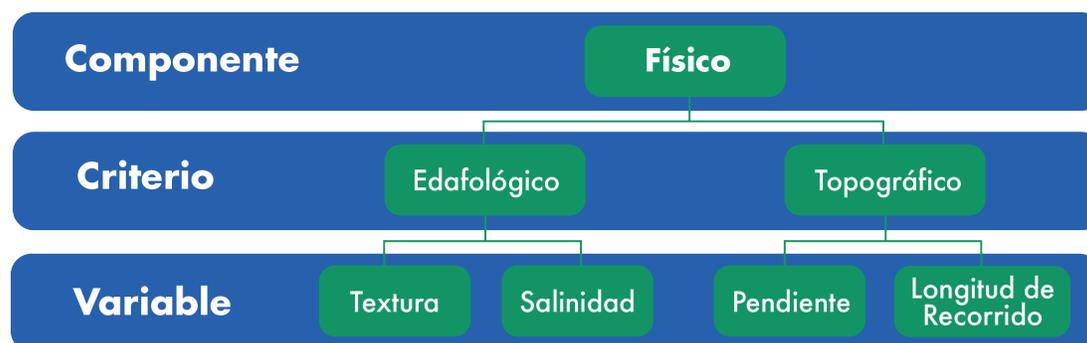
3

Tipos de utilización de la tierra



Para conceptualizar y organizar espacialmente la información de la oferta y demanda del territorio se estructura y jerarquiza la información en tres elementos de análisis: componentes, criterios y variables. *Componente* se define como la composición de varios elementos que se agrupan para dar significancia parcial a la aptitud. En evaluación de tierras están tipificados los componentes físico, socioecossistémico y socioeconómico.

Los *criterios* se precisan como conceptos agrupados por elementos con juicios individuales denominados *variables*, las cuales se encuentran en función del componente en estudio. De esta manera, los criterios de cada uno de los tres componentes, se construyen a partir de variables mínimas que los caracterizan y para las cuales se emiten juicios de valor que permiten determinar las aptitudes. La primera jerarquía es el componente, seguido de los criterios y, finalmente, de las variables. Pueden existir temáticas que no precisen de variables, caso en el que estarían definidas directamente por el criterio (figura 3.1).

Figura 3.1. Esquema de conceptualización de la información

Para realizar la evaluación de tierras, se debe conceptualizar de forma jerárquica. La información se detalla y analiza desde la unidad fundamental, que es la variable; de esta manera se seleccionan estas, se recopila información para el TUT y analizan los requerimientos de información para su establecimiento adecuado y eficiente, desde los componentes físico, socioecosistémico y socioeconómico, que se reclasifican en función de las categorías de aptitud.

Para la determinación de la evaluación de tierras con fines agropecuarios del TUT por evaluar, se clasifica la aptitud en cuatro categorías: alta, media, baja y no apto. Esta clasificación puede variar dependiendo del TUT, pero siempre de acuerdo con las definiciones de la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Categorías de aptitud en evaluación de tierras

Categoría	Concepto
Alta	Presenta limitaciones menores para implementar el TUT. Productividad y sostenibilidad recomendada con aptitudes sociales y económicas favorables en el área de estudio.
Media	Presenta limitaciones para implementar el TUT. Procesos de inversión y productividad moderados. Aptitudes sociales y económicas reducidas en el área de estudio.
Baja	Presenta altas limitaciones para implementar el TUT con procesos de inversión variables. Puede disminuir considerablemente la productividad. Aptitudes sociales y económicas muy limitadas en el área de estudio.
No apto técnico	Presenta condiciones marginales para la implementación del TUT, que afectan considerablemente la sostenibilidad y productividad.
No apto legal	Restringe totalmente la aptitud del TUT por presentarse en zonas donde normativamente no puede realizarse usos agropecuarios.

Fuente: Adaptado de Monzón, 2004; Pineda, Machado, Casanova, y Vilorio, 2006; UPRA, 2013.²

² La mayor parte de las tablas y figuras son de elaboración propia con base en datos y conceptos recabados en la construcción del documento. Para aquellas adaptadas o tomadas de otros autores, se especificará en el pie de figura.

3.1. Requerimientos físicos

El componente físico es de gran importancia para la evaluación de tierras. A través del análisis de sus elementos en el caso de un TUT determinado en un espacio geográfico, se puede valorar en primera instancia si hay o no aptitud para un tipo de producción definido.

Una mirada biofísica del territorio comprende cualidades medidas o características estimadas de la tierra. FAO (1985) propone un conjunto de variables asociadas a las cualidades y características para ser usadas en el proceso de evaluación. El número de variables estará determinado por los efectos que la cualidad tiene sobre el uso (importante, moderado o ligero), la existencia de niveles críticos para la cualidad en el área de estudio (frecuente, poco frecuente, rara o inexistente) y la disponibilidad de la información necesaria para llevar a cabo la evaluación.

Este componente se puede estudiar desde tres subcomponentes conceptuales: el climático, edáfico y sanitario, los cuales se pueden ampliar con otros, siempre y cuando exista la información oficial para sus análisis.

1. Subcomponente climático: Conjunto cambiante de las condiciones atmosféricas propias de un lugar o región. Se caracteriza por los estados y evoluciones de las variables climáticas (precipitación, temperatura y humedad del aire, radiación, insolación, viento) durante un periodo histórico de tiempo.

2. Subcomponente edáfico: Condiciones del suelo, que, como cuerpo natural y complejo, tiene vital importancia en el desarrollo de los cultivos, ya que la supervivencia de las especies vegetales depende de las características de este.

3. Subcomponente sanitario: Criterios o variables que inciden en el desarrollo de plagas y enfermedades más recurrentes a lo largo de las zonas productoras sean de carácter agrícola (fitosanitario) o pecuario (zoosanitario). El criterio asociado a este subcomponente se denomina *susceptibilidad sanitaria*, el cual se explica por las condiciones climáticas que inciden directamente en el proceso epidemiológico (aparición, inoculación, propagación e infección) de los agentes patógenos de mayor impacto.

Las variables propuestas en el presente documento, en cualquiera de sus componentes, son susceptibles de ser mejoradas o ampliadas según los conocimientos sustentados en la revisión bibliográfica. Los aquí expuestos pertenecen a una recopilación de las evaluaciones de tierras que ha realizado la UPRA y terceros en los últimos años (tablas 3.2, 3.3, 3.4).

Tabla 3.2. Criterio y variables del subcomponente climático

	Criterios	Variables
Condiciones climáticas	Conjunto de las condiciones meteorológicas correspondientes a un espacio geográfico específico. Caracterizado por las estadísticas basadas en un periodo cronológico extenso de las variables o elementos climáticos referentes al estado de la atmósfera en dicho espacio.	<p><i>Temperatura:</i> Magnitud física que caracteriza el movimiento aleatorio medio de las moléculas en un cuerpo físico. La temperatura del aire hace referencia a la medida del estado térmico del aire con respecto a su habilidad de comunicar calor a su alrededor. Depende de la latitud y de la altitud, y se toma generalmente como índice de balance calórico de las plantas.</p> <p><i>Precipitación:</i> Cantidad de agua que cae sobre la superficie terrestre en forma líquida o sólida. En términos prácticos, es la cantidad de lluvia media que se precipita en una determinada zona y contribuye a la necesidad hídrica del cultivo. La unidad de precipitación es el milímetro (mm). Un milímetro de precipitación equivale a un litro de agua por metro cuadrado de superficie (10 m³ de agua/ha). Para cultivos transitorios, el análisis de la información para la variable se recomienda realizar teniendo en cuenta los calendarios agrícolas.</p> <p><i>Brillo solar:</i> Cantidad de horas en la que los rayos del sol llegan directamente sobre la superficie terrestre. También se denomina <i>insolación</i>.</p>



Tabla 3.3. Criterios y variables del subcomponente edáfico

Criterio		Variables
Capacidad de laboreo	Facilidad o dificultad que un terreno presenta en su preparación o adecuación para establecer un cultivo.	<i>Pendiente:</i> Inclinação de un terreno respecto a un plano horizontal que pasa por su base. Se expresa como un gradiente calculado en grados sexagesimales, centesimales o porcentaje y, en términos trigonométricos, corresponde a la tangente del ángulo formado entre el declive y su correspondiente horizontal.
		<i>Textura:</i> Proporción relativa en que se encuentran, en una masa de suelo, varios grupos de granos individuales asociados por tamaño. Se refiere específicamente a las proporciones relativas de las partículas o fracciones de arena, limo y arcilla en la fracción fina del suelo, es decir, en la tierra tamizada y con diámetro inferior a 2 mm.
		<i>Pedregosidad:</i> Partes de fragmentos mayores a las gravas (0,045 m de diámetro) sobre la superficie del suelo y dentro del perfil, según la cantidad, el tamaño y el espaciamiento. En los estudios de suelos aparecen cartografiados como fases pedregosas. Dependiendo de la cantidad de fragmentos, se disminuye el área útil por unidad de superficie y puede llegar a impedir el uso de maquinaria y de implementos agrícolas.
Condiciones de enraizamiento y tuberización	Características físicas del suelo que permiten el desarrollo óptimo de las raíces de las plantas y la formación adecuada de los tubérculos. Tienen relación con la profundidad efectiva del suelo —es decir, la profundidad hasta donde penetran las raíces sin obstáculo—, con el tipo de textura y con el contenido de fragmentos de roca. En la medida en que las raíces pueden explorar mayor volumen de suelo, mayores son las posibilidades de las plantas para abastecerse de agua y nutrientes.	<i>Profundidad efectiva:</i> Es el total de la profundidad del perfil del suelo favorable para desarrollo de las raíces. También se entiende como profundidad radicular, es decir, el espacio en el que las raíces de las plantas pueden penetrar sin mayores restricciones para conseguir el agua y los nutrientes indispensables
		<i>Pedregosidad:</i> Fracciones de fragmentos mayores a las gravas (0,045 m de diámetro) sobre la superficie del suelo y dentro del perfil. Está relacionada con la cantidad, el tamaño y el espaciamiento. En los estudios de suelos se cartografía como fases pedregosas. Dependiendo de la cantidad, se disminuye el área útil por unidad de superficie y puede llegar a impedir el uso de maquinaria e implementos agrícolas.
Disponibilidad de humedad	Capacidad que tienen los suelos para aportar agua aprovechable para las plantas en cantidades suficientes para su desarrollo. Se relaciona con el contenido y movimiento interno del agua en el suelo y con la posibilidad de retención de humedad durante el año, la cual depende a su vez de las clases texturales de los suelos y de los regímenes pluviométricos. El criterio se define como la interacción del régimen de humedad y la clase textural de los suelos. El régimen de humedad se fija en términos del nivel freático y por la presencia o ausencia de agua retenida a una tensión menor de 1500 kPa en la sección control de la humedad.	<i>Régimen de humedad:</i> Se refiere a la presencia o ausencia ya sea de un manto freático o al agua retenida a una tensión menor de 1.500 kPa en el suelo, o en horizontes específicos, por periodos del año.
		<i>Textura:</i> Proporción relativa en que se encuentran, en una masa de suelo, varios grupos de granos individuales asociados por tamaño. Se refiere específicamente a las proporciones relativas de las partículas o fracciones de arena, limo y arcilla en la fracción fina del suelo, es decir, en la tierra tamizada y con diámetro inferior a 2 mm.

Criterio		Variables
Disponibilidad de oxígeno	Calidad del suelo que indica las condiciones de aireación del suelo. Cuando el suelo está libre de saturación de agua, los poros del suelo permiten la libre circulación del CO ₂ hacia la atmósfera y la entrada del oxígeno del exterior para ser absorbido por las plantas.	<i>Susceptibilidad a inundaciones:</i> La inundación es causada por el ascenso del nivel de las aguas, ya sea de una corriente hídrica o de aguas confinadas a sectores que normalmente están secos. El encharcamiento se da cuando el nivel de las aguas causantes se retira y el agua no drena, sino que permanece en el lugar. Este ocurre en zonas cóncavas a los lados de las corrientes hídricas (bacines o cubetas) y en áreas depresionales de las partes altas (bajos o depresiones).
		<i>Drenaje natural:</i> Profundidad y tiempo en el que el agua permanece en la superficie del suelo. También se asocia a la remoción natural del exceso de agua acumulada sobre la superficie y a lo largo del perfil de suelo. El drenaje natural combina el drenaje interno y externo del suelo, tiene en cuenta la relación entre pendiente, escorrentía e infiltración, las evidencias de procesos de óxido-reducción y colores gley, y la profundidad a la cual aparece el nivel freático (Cortés y Malagón, 1984).
Disponibilidad de nutrientes	Es la capacidad o potencialidad que tienen los suelos de aportar a las plantas los nutrientes necesarios para su óptimo desarrollo. Contiene las variables que inciden en el aporte y almacenamiento de los nutrientes y está relacionada directamente con los contenidos en el suelo de los elementos mayores y menores, esenciales para el desarrollo de los tubérculos.	<i>Acidez:</i> Logaritmo negativo de la actividad de iones H ⁺ en la solución o suspensión del suelo.
		Capacidad de intercambio catiónico (CIC): mide la capacidad del suelo para retener e intercambiar cationes (calcio, magnesio, potasio, cobre, zinc, hierro, manganeso, amonio), algunos de los cuales son necesarios para la nutrición de las plantas y regularización de la disponibilidad de nutrientes. Se expresa en cmol/kg suelo.
		Saturación de bases: suma de las bases cambiables (calcio, magnesio, potasio y sodio), expresada como porcentaje de la capacidad total de intercambio catiónico; el porcentaje de acidez intercambiable (aluminio e hidrógeno) corresponde al complemento del 100 %. El pH es directamente proporcional al porcentaje de saturación de bases, excepto cuando los materiales de origen de los suelos son diferentes (Fassbender y Bornemisza, 1987).
		Carbono orgánico: es el principal elemento que forma parte de la materia orgánica del suelo, por esto es común que ambos términos se confundan o se hable indistintamente de uno u otro. La materia orgánica del suelo es el conjunto de residuos orgánicos de origen animal o vegetal que están en diferentes etapas de descomposición, que se acumulan en la superficie y dentro del perfil del suelo (Rosell, 1999; citado por Martínez et al., 2008). Además, incluye una fracción viva (biota) que participa en la descomposición y transformación de los residuos orgánicos (Aguilera, 2000; citado por Martínez et al., 2008).

	Criterio	Variables
Toxicidad por sales, sodio y aluminio	<p>Cuando los elementos que son necesarios para el desarrollo de la mayoría de las plantas se encuentran en concentraciones mayores de las requeridas, pueden llegar a ser tóxicos, como es el caso de los micronutrientes (hierro, manganeso, cloro, zinc y níquel), las sales (cloruros, sulfatos, bicarbonatos, carbonatos, nitratos), la saturación del catión sodio y la saturación de aluminio.</p> <p>En el ámbito de los suelos colombianos, tiene gran importancia en suelos ácidos de clima húmedo la presencia de altas saturaciones de aluminio, y en suelos básicos, generalmente de climas secos, las altas concentraciones de sales y de sodio.</p>	<p><i>Salinidad o sodicidad:</i> Contenido de sales solubles o sodio intercambiable en zona radicular. El contenido de sales se determina normalmente en términos de la conductividad eléctrica, pero puede expresarse con cantidad o porcentaje de sales en el suelo, como también cantidad de aniones en la fracción de cambio. El sodio se determina como el porcentaje de sodio intercambiable (PSI).</p> <p><i>Saturación de aluminio:</i> Relación porcentual entre el aluminio del complejo de cambio y la acidez total. La saturación de aluminio del suelo hace referencia a la acidez debida al ion aluminio (Al⁺³), abundante en suelos ácidos con pH menor de 5,5, el cual afecta el desarrollo de las plantas, inhibe la división celular, causa deficiencias de fósforo e impide la absorción del calcio, magnesio y potasio (Cortés y Malagón, 1984).</p>
Susceptibilidad a pérdida de suelos	<p>Grado o nivel de vulnerabilidad de las tierras a ser afectadas por los agentes erosivos; integra las variables que causan o que originan dichas pérdidas.</p>	<p>Pendiente: corresponde a la inclinación de un terreno respecto a un plano horizontal que pasa por su base. Se expresa como un gradiente calculado en grados sexagesimales, centesimales o porcentaje; en términos trigonométricos, corresponde a la tangente del ángulo formado entre el declive y su correspondiente horizontal.</p> <p>Erosión actual: proceso de degradación física e integral que consiste en el desgaste de la superficie de la tierra por el desprendimiento y transporte del suelo y de otros materiales a través de la acción del agua en movimiento y el viento. Los grados de erosión reflejan la intensidad actual y la afectación en la superficie por estos procesos.</p> <p>Susceptibilidad a deslizamientos: probabilidad de ocurrencia de procesos de movimientos en masa en el terreno. Los deslizamientos son movimientos fuertes de suelo o roca que se mueven, respecto al sustrato, sobre una o varias superficies de roturas netas al superar estas la resistencia al corte; las masas generalmente se desplazan en conjunto y se comportan como una unidad en su recorrido.</p>

Tabla 3.4. Criterios y variables del subcomponente fitosanitario

	Criterio	Variables
Susceptibilidad fitosanitaria	<p>Conjunto de las principales condiciones ambientales (temperatura, precipitación y humedad relativa) que aumentan la probabilidad de que se desarrollen procesos de inoculación, infección y propagación de limitantes sanitarios en el cultivo.</p>	<p><i>Temperatura:</i> Magnitud física que caracteriza el movimiento aleatorio medio de las moléculas en un cuerpo físico. La temperatura del aire hace referencia a la medida del estado térmico del mismo con respecto a su habilidad de comunicar calor a su alrededor; depende de la latitud y de la altitud, y se toma generalmente como índice de balance calórico de las plantas.</p> <p><i>Precipitación:</i> Cantidad de agua que cae sobre la superficie terrestre en forma líquida o sólida.</p> <p><i>Humedad relativa:</i> Relación porcentual entre la masa de vapor contenida en un volumen de aire y la que tendría el mismo volumen si estuviese saturado, a la misma temperatura. Se expresa en porcentaje.</p>

3.1.1. Obtención de rangos de requerimiento

Una vez listadas las variables para confrontarlas con las unidades de tierra de acuerdo con el TUT, se deben reclasificar en las categorías de aptitud: alta, media, baja y no apta. La manera sugerida es a través de la consulta bibliográfica e investigaciones realizadas para el cultivo por evaluar, teniendo como base que las variables para un cultivo se enfocan en alcanzar la mayor productividad del mismo. Es posible que no se cuente con bibliografía suficiente para la determinación de rangos del cultivo, ya que este puede parecer promisorio o estar recién introducido en el país. En tales casos, se debe realizar la consulta con expertos o productores que puedan especificar con idoneidad los rangos de aptitud.

En una primera instancia, estos rangos son definidos y reclasificados, pero al momento de confrontarlos con las unidades de tierra correspondiente, se hace necesario ajustarlos en función del tipo de dato. Por ejemplo, para el cultivo de papa, se puede encontrar en la bibliografía que los rangos óptimos de acidez del suelo para su establecimiento y producción están entre 5,8 y 7,0, pero al confrontar este requerimiento con las unidades de tierra, se tiene que los datos no se pueden subdividir en unidades de 0,1, ya que el dato de pH se encuentra en rangos categóricos: extremadamente ácidos de 3,5 a 4,4, muy fuertemente ácidos de 4,5 a 5,0, fuertemente ácidos de 5,1 a 5,5, moderadamente ácidos 5,6 a 6,0, ligeramente ácidos 6,1 a 6,5, por esta razón, se ajusta el requerimiento de pH a 5,6 a 6,5, en función del dominio de datos de la unidad de tierra, siempre con el concepto y aval de los evaluadores.

A continuación, se ilustra un ejemplo de requerimiento físico para el TUT de papa, realizado por la UPRA en el año 2016 (tabla 3.5). En esta evaluación de tierras se realizó un análisis intermedio de subcomponentes solo para agrupar analíticamente algunos criterios, esto no afectó el marco general de análisis espacial de la evaluación de tierras.

Tabla 3.5. Ejemplo de requerimientos físicos, TUT de papa

Criterios	Variables	Unidades	Alta	Media	Baja	No apto
Condiciones climáticas	Temperatura	°C/año	[8-12]	(12-16]		<8 y >16
	Precipitación	mm/semestre	[400-600]	(600-1600]	[250-400)	<250 y >1600
	Brillo solar	Horas luz/año	(1300-2100]	(900-1300]	≤900 y ≥2100	

Crterios	Variables	Unidades	Alta	Media	Baja	No apto
Capacidad de laboreo	Pendiente	%	≤25	(25-50]	(50-75]	>75
	Textura	Clase textural	F, FL, FA, FArA, FArL	FAr, L, ArA, ArL, Orgánicos	A, AF, Ar	
	Pedregosidad	%	≤3	(3-15]	(15-50]	>50
Condiciones de enraizamiento y tuberización	Profundidad efectiva	cm	>50	[25-50]		<25
	Textura	Clase textural	F, FL, FA, L, A, AF, Orgánicos	FAr, FArA, FArL, ArA, ArL	Ar	
	Pedregosidad	%	≤3	(3 - 15]	(15 - 50]	>50
Disponibilidad de humedad	Régimen de humedad	Adimensional	Údico	Ústico	Ácuico	Perácuico y arídico
	Textura	Clase textural	Ar, ArA, ArL, FAr, FArA, FArL, orgánicos	FA, L, F, FL	A, AF	
Disponibilidad de oxígeno	Susceptibilidad a inundaciones	Adimensional	No hay	Ocasionales	Frecuentes	Muy frecuentes
	Drenaje natural	Adimensional	Bueno y excesivo	Moderado	Imperfecto y pobre	Muy pobre
Disponibilidad de nutrientes	Acidez	pH	[5,5-6,5]	[5,1-5,4] y [6,6-7,3]	[4,0-5,0] y [7,4-7,8]	<4,0 y >7,8
	Capacidad de intercambio catiónico	cmol/kg de suelo	>20	[10-20]	<10	
	Saturación de bases	%	>60	[35-60]	<35	
	Materia orgánica (%C)	%	>2,6	[1,3-2,6]	<1,3	
Toxicidad por sales, sodio y aluminio	Salinidad y/o sodicidad	dS/m PSI	< 2 dS/m < 10 % (PSI)	[2-4] dS/m [10-15 %] (PSI)	> 4 dS/m	> 15 % (PSI)
	Saturación de aluminio	%	≤60	(60-90]	>90	
Susceptibilidad a pérdida de suelos	Pendiente	%	≤ 25	(25 – 50]	(50 - 75]	>75
	Erosión actual	Adimensional	Sin erosión y ligera	Moderada		Severa y muy severa
	Susceptibilidad a deslizamientos	Adimensional	Muy baja y baja	Moderada	Alta y muy alta	
Riesgo fitosanitario	Temperatura	°C/año	En función de la plaga o enfermedad analizada. Ver fichas metodológicas de criterios y variables.			
	Precipitación	mm/semestre				
	Humedad relativa	%				

Fuente: upra, 2016.



3.2. Requerimientos socioecosistémicos

El componente socioecosistémico considera el enfoque de la biodiversidad, los bienes y servicios ecológicos vinculados estrechamente con los sistemas sociales, donde el hombre, la sociedad y su cultura, como componentes centrales de los ecosistemas, modelan y se adaptan a los cambios en la naturaleza. El objeto último de este componente es enfocar estrategias de gestión que comprendan tanto la dinámica en las diferentes escalas de la organización biológica como en las relaciones e interacciones entre los sistemas ecológicos y sociales, el uso sostenible de los bienes y servicios de los ecosistemas y el mantenimiento de la integridad ecológica como paradigma de conservación para el bienestar humano (Martín-López et al., 2009).

El componente socioecosistémico es clave para el mantenimiento del capital natural (biodiversidad, integridad ecológica y prestación de bienes y servicios ambientales), dado que incorpora, de una forma equitativa e incluyente, aspectos sociales, económicos y culturales, que no evitan restringir el desarrollo de nuevas actividades productivas por una conservación a ultranza o favorecer perspectivas meramente economicistas (UPRA, 2016).

A escala nacional, para determinar este potencial se identifican atributos ecosistémicos cuya simplicidad y alto valor predictivo y de síntesis permitan obtener una interpretación de la estructura, función y dinámica ecológica.

Estos atributos se evalúan a partir mínimo de los siguientes criterios: cobertura de la tierra (estructura) e integridad ecológica (función), donde se debe evaluar aquellas áreas donde la actividad productiva genera un menor impacto en los bienes y servicios que proveen los ecosistemas o contribuya a mejorarlos.

De acuerdo con lo anterior, se listan los principales criterios y variables a tener en cuenta en la evaluación (tabla 3.6), desde el componente socioecosistémico; pueden existir más variables y criterios, siempre y cuando la información de la unidad de tierra se encuentre disponible para su evaluación y sustentada.

Tabla 3.6. Criterios y variables del componente socioecosistémico

Criterio		Variable
Cambio de la cobertura	Determina la favorabilidad del cambio de la cobertura en el marco de la sostenibilidad del territorio, con los siguientes principios: grado de intervención del hombre y transformación de las coberturas, e importancia ecológica y ambiental de cada tipo de cobertura, de acuerdo con sus características y relevancia de la cobertura frente a la producción alimentaria.	A través de este criterio es posible identificar áreas con vegetación natural sujetas a exclusiones y áreas transformadas donde es favorable establecer el cultivo en evaluación, con una visión integral del territorio. Así mismo, permite calificar la cobertura de acuerdo con su contexto ecológico y productivo, identificando las zonas de menor impacto socioecosistémico como producto del cambio para el establecimiento del cultivo.
Integridad ecológica	Habilidad de un ecosistema para soportar y mantener una comunidad balanceada y adaptada de organismos, con una composición de especies, diversidad y organización funcional comparable con la de los hábitats naturales en una región. Estimador de la calidad ambiental, este criterio es útil en la planificación y toma de decisiones para la conservación.	<i>Conectividad estructural de las coberturas naturales:</i> Medida a escala del paisaje transformado que aporta una idea aproximada sobre la continuidad de los hábitats como espacio vital requerido para el mantenimiento de la biodiversidad natural y el desarrollo de las funciones ecosistémicas.
		<i>Índice de naturalidad por subzona hidrográfica:</i> Grado de independencia de un ecosistema o de alguna parte del mismo respecto de la acción del hombre o, lo que es igual, lo escaso de la influencia transformadora del hombre. Permite estimar la cantidad de espacios naturales destinados a garantizar la prestación de servicios ecosistémicos en una unidad territorial determinada.
		<i>Áreas de concentración de especies sensibles:</i> Zonas donde se concentran especies sensibles. Esta variable se calcula a través de indicadores como la densidad en polígonos definidos, áreas prioritarias para la conservación o la riqueza de especies migratorias en áreas críticas sobre agroecosistemas. Se integra a las áreas de importancia para la conservación de aves (AICA); de esta forma, cuanto mayor sea la concentración de estas especies, dada su sensibilidad, menor la aptitud para el establecimiento del cultivo comercial de papa, por cuanto los procesos productivos presionan sobre los procesos que sostienen las poblaciones de interés. Por el contrario, en áreas donde la concentración de estos elementos de la biodiversidad es baja, la aptitud para el establecimiento y desarrollo de cultivo de papa es mayor.

3.2.1. Obtención de rangos de requerimientos de los TUT

En la bibliografía sobre el tema, es poco común encontrar valores asociados a cultivos para la reclasificación de los requerimientos según las categorías de aptitud de este componente. Se debe partir de que es una mirada de sostenibilidad productiva, con el objeto de establecer una producción eficiente bajo un enfoque ecosistémico (Fadlalla y Elsheikh, 2016), sin la afectación significativa del entorno. De esta manera, los rangos son definidos por un grupo de expertos multidisciplinarios con conocimiento en temas sociales y ecosistémicos.

cos asociados a cultivos, conceptos que la UPRA ha venido definiendo y ajustando en los últimos cinco años, por lo que se recomienda consultar lo realizado en las evaluaciones de tierras publicadas por la unidad en su página web. A continuación, se ilustra un ejemplo de requerimiento socioecosistémico para el TUT de papa (tabla 3.7).



Tabla 3.7. Ejemplo de requerimientos socioecosistémicos, TUT papa

Criterios	Variables	Alta	Media	Baja	No apta
Cambio de la cobertura	Coberturas de la tierra	Zonas de alta favorabilidad para el establecimiento del cultivo de papa dedicadas a usos agrícolas o pecuarios donde predominan las áreas de pastos y los cultivos transitorios.	Zonas de moderada favorabilidad para el establecimiento del cultivo de papa, dedicadas a usos agrícolas o pecuarios, donde predominan los mosaicos de pastos y cultivos, cultivos agroforestales, confinados y pastos limpios.	Zonas con favorabilidad marginal para el establecimiento del cultivo de papa, corresponde a coberturas en donde predominan los cultivos de ciclo corto o permanentes dedicados a la producción de alimentos humanos, también agrupa algunas unidades de coberturas naturales y seminaturales.	Zonas no favorables para el establecimiento de cultivos de papa, son aquellas excluidas técnicamente y están referidas principalmente a las coberturas naturales y seminaturales, las áreas húmedas, las superficies de aguas y los territorios artificializados.

Criterios	VARIABLES	Alta	Media	Baja	No apta	
Integridad ecológica*	$IE = a(CECN) + b(INAT) + c(ACES)$ Donde: $a = 0,6175$, $b = 0,2968$ y $c = 0,0856$					
	Conectividad estructural de las coberturas naturales	0,079-0,385	0,386-0,692	0,693-1,000		
	Índice de naturalidad (INAT) por subzona hidrográfica	Muy baja-vital (0 %-5 %) Baja-estratégica (5 %-30 %) Moderada (30 %-50 %)	Alta (50 %-75 %)	Muy alta (75 %-100 %)		
	Áreas de concentración de especies sensibles	Áreas prioritarias de conservación (APC)				
		Áreas sin identificación de APC Menor a $-10,02$ (ln D)	APC con baja y muy baja densidad de especies sensibles $-10,02$ a $-2,77$ (ln D)	APC con moderada, alta y muy alta densidad de especies sensibles $-2,76$ a $6,42$ (ln D)		
		Áreas de importancia para la conservación de aves (AICA)				
		Áreas sin AICA Menor a $-8,085$ (ln D)	AICA con densidad muy baja o baja, de especies sensibles $-8,085$ a $-4,189$ (ln D)	AICA con densidad moderada de especies sensibles $-4,189$ a $1,67$ (ln D)		
Áreas críticas (AC) para especies migratorias en paisajes agropecuarios						
Valoración cualitativa de riqueza mediante la reclasificación de aptitud para el cultivo de papa de acuerdo con la importancia y preferencia del hábitat de las aves migratorias asociadas a ambientes acuáticos, abiertos y de bosque. Se tienen en cuenta los periodos estacionario y migratorio.						
Apropiación de agua*	Apropiación de agua	Lugares con sostenibilidad hídrica alta para el abastecimiento de la demanda del cultivo y los usos preexistentes. Puede implicar niveles bajos de riesgo hídrico para el cultivo, o presión baja por competencia con las coberturas naturales o los usos establecidos en la unidad de análisis.	Lugares con sostenibilidad hídrica moderada para el abastecimiento de la demanda del cultivo y los usos preexistentes. Puede implicar niveles moderados de riesgo hídrico para el cultivo, o presión moderada por competencia con las coberturas naturales o los usos establecidos en la unidad de análisis.	Lugares con sostenibilidad hídrica baja o nula para el abastecimiento de la demanda del cultivo y los usos preexistentes. Puede implicar niveles altos de riesgo hídrico para el cultivo, o presión alta por competencia con las coberturas naturales o los usos establecidos en la unidad de análisis.		

Criterios	Variables	Alta	Media	Baja	No apta
Variación del contenido estimado de carbono*	Variación del contenido estimado de carbono	El cultivo se convierte en sumidero de carbono	El cultivo es fuente moderada de carbono	El cultivo es fuente de emisión de carbono	

* Criterios que se han utilizado para la evaluación de tierras de alcance nacional y que se encuentran en procesos de ajuste y aprobación por la entidad técnica.

Fuente: UPRA, 2016.

3.2.2. Exclusiones para actividades agropecuarias

Con apoyo de la UPRA, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) ha establecido la frontera agrícola nacional, mediante Resolución 261 de 2018, que es el área donde no hay restricciones de tipo legal para implementar actividades agropecuarias en el territorio. La frontera agrícola cobra relevancia en la evaluación de tierras, se analiza desde el componente socioecosistémico en lo referente a las exclusiones técnicas, y afecta el potencial final de la aptitud de un TUT determinado.

La frontera agrícola (ver *Metodología para la identificación general de la frontera agrícola en Colombia*) es definida por exclusiones de tipo legal y técnico. Estas últimas son analizadas e incluidas dentro del componente socioecosistémico, ya sea a nivel de variables o de criterios. El concepto *exclusiones técnicas* puede ser complementado con la debida justificación, siempre y cuando se enmarquen en la sostenibilidad del TUT analizado.

3.2.2.1. Exclusiones técnicas

Son las áreas no cubiertas por normatividades legales asociadas a protección ambiental, pero que, por criterios técnicos de sostenibilidad, se consideran restrictivas de implementar actividades agropecuarias, referidas desde el uso del territorio continental (tabla 3.8).



Tabla 3.8. Exclusiones técnicas

Exclusión técnica	Concepto
Coberturas naturales	Se excluyen dentro del área continental, las categorías de bosques, áreas con vegetación herbácea y arbustiva, áreas abiertas sin o poca vegetación, áreas húmedas continentales y las áreas húmedas costeras, pertenecientes al mapa de coberturas (metodología <i>Corine Land Cover</i> del Ideam). Son 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 los componentes naturales del territorio.
Deforestación	Corresponde a la conversión directa o indirecta inducida de la cobertura de bosque natural a otro tipo de cobertura de la tierra (Ideam, 2010). Las áreas deforestadas se han transformado principalmente en praderas para ganadería y en áreas agrícolas. La degradación del bosque está ligada con las intervenciones del territorio asociadas a la expansión de minería, los cultivos de uso ilícitos y la extracción de maderas tropicales. Para las áreas de exclusión se identifican las que presentan cambio de bosque natural a no bosque a partir del 2010. Esta línea base de referencia hace parte de los compromisos del país de reducción de la deforestación para mitigar el cambio climático. Se utiliza el mapa de deforestación (2010-2015), con base en Ideam, 2016.

3.3. Requerimientos socioeconómicos

Para efectos de esta metodología de evaluación de tierras, el componente socioeconómico se enfoca en la competitividad, definida por Porter (1990) como la productividad con la que un país utiliza sus recursos humanos, económicos y naturales para la producción de bienes y servicios de mayor calidad y menor precio que otros productores domésticos e internacionales. Este autor aclara que la competitividad no se limita a productividad, cuando afirma que la meta principal de una nación es producir un estándar de vida alto y sostenido para sus ciudadanos. La capacidad para hacerlo depende de la productividad con que se emplea el trabajo y el capital en una nación. La competitividad y la productividad son los determinantes del modelo de crecimiento y desarrollo del sector agropecuario, toda vez que son las condiciones de viabilidad de los productos en el mercado y generan oportunidades sostenibles para todos los habitantes del campo (DNP, 2010). De igual manera, la competitividad es la capacidad para la producción de bienes y servicios de mayor calidad y menor precio frente a otros productores domésticos e internacionales y se define por la productividad con la que un país utiliza sus recursos humanos, económicos y naturales; es decir, la productividad depende tanto del valor de los productos y servicios de un país —medido por los precios que se pagan por ellos en los mercados libres— como de la eficiencia con la que pueden producirse (Porter, 1990).

La sostenibilidad y crecimiento en los niveles de competitividad dependen del logro de un uso eficiente de los factores de producción, de la consolidación de altos niveles de innovación en los sistemas productivos, de la diversificación y ampliación de los mercados, así

como de la articulación de los mercados regionales y la población rural para desarrollar su potencial productivo y elevar su calidad de vida.

De acuerdo con lo anterior, la competitividad de un TUT con fines comerciales implica un proceso que tiene en cuenta los requerimientos y condiciones multidimensionales para desarrollar su producción. Estos requerimientos y condiciones son los criterios o variables estructurales que conducen hacia la competitividad, cuyo logro se traduce en mejores condiciones de vida para la comunidad productora. Un mercado competitivo puede indicar mejores vías terrestres, precios y condiciones favorables de la tierra, seguridad pública estable, mercado laboral disponible y con buena mano de obra calificada y no calificada, generación de riqueza y apalancamientos financieros; lo que redundará en beneficio del productor y de las comunidades locales, y representará mejores condiciones de vida.

Para el componente socioeconómico, no se encuentra literatura, como sí existe para el componente físico, con la cual se puedan confrontar los valores óptimos que deberían tomar una variable, un parámetro «absoluto». Esto obedece a que las situaciones económicas y sociales de un país o un territorio pueden estar alineadas con diferentes instrumentos de política pública, como la disminución de la pobreza, la cobertura en educación, las tasas de empleo, la inflación objetivo, la gestión en general de los entes territoriales, entre muchas otras.

Desde el componente socioeconómico existen variables de dos tipos: transversales y específicas. Las *variables transversales* caracterizan el territorio indistintamente de la actividad productiva que se quiera desarrollar allí, es decir, reflejan las condiciones de competitividad. Las *variables específicas* son todas las que se relacionan de manera directa con el TUT en evaluación, por tanto, dependen de la dinámica propia de la actividad productiva. La inclusión de este último tipo de variables depende de la disponibilidad y calidad de información que repose en las entidades adscritas al Ministerio de Agricultura, gremios y asociaciones de productores, entre otras.

En la tabla 3.9 se muestran los criterios y las variables del componente socioeconómico para la evaluación de tierras con fines agropecuarios. Se clasifican en variables transversales o específicas y la fuente recomendada para su consecución, sin que esto signifique que no se puedan incluir variables que mejoren alguno de los criterios; ejemplo de esto es la tradición que algunos sistemas productivos tienen en territorios específicos, pero que no se incluye en esta tabla por no ser un criterio permanente.



Tabla 3.9. Criterios y variables del componente socioeconómico

Criterio	Variable	Tipo	Fuente
<p>Indicadores económicos</p> <p>Valores que toma una variable en el tiempo y que permiten de manera rápida formarse un concepto del estado en términos económicos de una actividad productiva.</p>	<p><i>Valor agregado agropecuario municipal:</i> Participación municipal en el PIB departamental (agropecuario-pecuario, según el caso) de cada municipio dentro de su departamento. Se construye a partir del indicador de importancia económica municipal y el PIB departamental por ramas de actividad económica, el cual se organiza y se evalúa a nivel nacional buscando medir el nivel de especialización agropecuaria del municipio.</p>	Transversal	TerriData DNP. Indicador de importancia económica por ramas de la producción.
	<p><i>Créditos otorgados a actividades productivas, asociadas al negocio central del TUT:</i> Se dan a una persona natural o jurídica para desarrollar actividades desde el proceso de producción y comercialización hasta la transformación primaria de los bienes.</p>	Específica	Finagro. Créditos otorgados por cultivo a nivel municipal.
	<p><i>Incentivo a la capitalización rural (ICR):</i> Beneficio económico que se entrega a una persona en forma individual, a un esquema asociativo o de integración, que, siendo pequeño o mediano productor, haga una inversión nueva en el sector agropecuario dirigida a la modernización, competitividad y sostenibilidad de la producción agropecuaria.</p>	Específica	Finagro. Estadísticas de ICR por cultivo a nivel municipal.
<p>Dinámica del mercado de tierra</p> <p>Este criterio puede orientar una decisión de inversión. Refleja las características asociadas a la tierra como factor productivo y que hacen parte de la estructura de costos de los sistemas productivos.</p>	<p><i>Precio o canon de arriendo de la tierra rural municipal:</i> Rangos de precios comerciales de la tierra expresados en \$/ha. En caso de no contar con esta información, se puede acudir al empleo de rangos de avalúo catastral, debidamente indexados. El precio comercial se emplea preferencialmente en los sistemas productivos permanentes, cuando se trata de sistemas productivos transitorios se debe emplear el valor comercial del arriendo en \$/ha para el periodo de tiempo que corresponda con las respectivas costumbres del sistema productivo en las diferentes regiones. En caso de que exista información de precios comerciales, pero no se cuente con el 100 % de la cobertura requerida, se pueden combinar estos precios con rangos de avalúos catastrales empleando criterios de expertos para su integración. En caso de que la información de arrendamientos no cuente con la cobertura requerida, se recomienda la regionalización y el empleo de información de arrendamiento de cultivos similares o compatibles, que permitan extrapolar esta información.</p>	Transversal	Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), 2016. Base catastral y catastros descentralizados de Antioquia, Medellín, Cali y Bogotá.
	<p><i>Tamaño tipo de los predios rurales:</i> Superficie de terreno que se expresa en rangos de tamaños definidos de acuerdo con el comportamiento medio del cultivo y las dimensiones consideradas óptimas para una productividad competitiva.</p>	Específica	IGAC, 2016. Base catastral y catastros descentralizados de Antioquia, Medellín, Cali y Bogotá.
	<p><i>Tendencia a la formalidad:</i> Es la existencia de un título válido debidamente registrado en el certificado de tradición y libertad. La formalidad contribuye a la seguridad jurídica y es una condición necesaria para la ejecución de todo proyecto productivo. Teniendo en cuenta lo anterior, basado en los registros administrativos prediales tanto de las autoridades catastrales como registrales, se deben diferenciar los predios que cuentan con registro y matrícula inmobiliaria de los que no lo tienen, o lo tienen de manera parcial o incompleta, a fin de minimizar el riesgo de las inversiones.</p>	Transversal	UPRA, 2015. Índice de tendencia a la formalidad, construido a partir de IGAC, SNR e Incoder y otras. Información predio a predio rural IGAC.

Criterio	Variable	Tipo	Fuente
Infraestructura y logística Posibilita el intercambio comercial de bienes y servicios del aparato productivo, lo que facilita la interacción entre las unidades económicas y sociales.	<i>Accesibilidad a centros de servicios:</i> Facilidad con la que se puede alcanzar un centro de servicios desde otros puntos en el territorio; sintetiza las oportunidades de contacto e interacción. Para efectos de la evaluación de tierras, esta variable se incorpora como el área de influencia para un tiempo de desplazamiento (isócronas) hasta los centros de servicios.	Transversal	Congreso de la República, Ley 1551 de 2012. DANE, proyecciones de población municipales.
	<i>Accesibilidad a centros de comercialización o de transformación:</i> Facilidad con la que se pueden alcanzar los centros de comercialización del cultivo desde un punto del territorio donde se siembra. Para efectos de la evaluación de tierras, esta variable se incorpora como el área de influencia para un tiempo de desplazamiento (isócronas) hasta los centros de comercialización y transformación industrial.	Específica	Gremios y asociaciones de productores. DANE, directorio estadístico de empresas. IGAC, Registro 2.
	<i>Existencia de cultivos comerciales:</i> Reporte oficial del área sembrada por municipio.	Específica	Agronet. Evaluaciones agropecuarias. DANE, 2014. Tercer Censo Nacional Agropecuario.
	<i>Distritos de adecuación de tierras:</i> Delimitación del área de influencia de obras de infraestructura destinadas a la dotación de un área determinada con riego, drenaje o protección contra inundaciones para el desarrollo de actividades agropecuarias.	Transversal	Agencia Nacional de Tierras o quien haga sus veces.
Mercado laboral Condiciones que afectan, positiva o negativamente, la disponibilidad de mano de obra competente para las necesidades del sector a nivel municipal.	<i>Población en edad de trabajar (PET):</i> Cantidad de población entre los 20 y 64 años, a nivel municipal, expresada como la participación porcentual de esta población respecto al total de población del municipio, conocida también como tasa bruta de participación.	Transversal	DANE. Proyecciones de población municipales.
	<i>Años promedio de escolaridad:</i> Promedio de años de estudio cursados y aprobados por la población de 15 años o más a nivel municipal.	Transversal	
	<i>Oferta educativa a nivel técnico, tecnológico y profesional en áreas agrícolas y forestales:</i> Existencia de programas de formación académica en las áreas del conocimiento de las ciencias agronómicas, forestales y afines, con modalidad presencial en el municipio.	Específica	Ministerio de Educación. Sistema de Matrículas Estudiantil (Simat): matrículas oficiales y no oficiales, y Sistema Nacional de Información de la Educación Superior (SNIES).

Criterio	Variable	Tipo	Fuente
<p>Seguridad ciudadana</p> <p>Sensación de confianza, entendida como ausencia de riesgos y daños a la vida y a la integridad física y psicológica de un individuo o de un grupo poblacional, determinada por situaciones sociales.</p>	<p><i>Homicidios:</i> Eventos que ocasionan supresión de la vida humana de forma dolosa o pre intencional, sin justificación jurídica.</p>	Transversal	<p>Ministerio de Defensa Nacional, Grupo Información de Criminalidad (Gicri). Información disponible para las zonas rurales.</p>
	<p><i>Secuestro:</i> Es un delito instrumental, es decir, un medio para conseguir un fin (Ley 599 de 2000, Código Penal, art. 168). <i>Secuestro simple:</i> Arrebatamiento, sustracción, retención u ocultamiento de una persona por cuenta de otra u otras, que se caracteriza porque el secuestrador busca conseguir un beneficio directo de la persona privada de su libertad y su liberación se producirá solo cuando el secuestrador haya logrado su objetivo. <i>Secuestro extorsivo:</i> Consiste en el arrebatamiento, sustracción, retención y ocultamiento de una persona, en el que el secuestrador exige al secuestrado y a su familia un pago o provecho, a cambio de dejar en libertad a la persona cautiva.</p>	Transversal	
	<p><i>Extorsión:</i> Delito que atenta contra el derecho fundamental de la libertad, el libre desarrollo y el patrimonio.</p>	Transversal	
<p>Institucionalidad y asociatividad</p> <p>Presencia institucional del Estado, gremial o de organizaciones de base de la cadena productiva agropecuaria en un municipio, cuyo apoyo conduce a la competitividad.</p>	<p><i>Medición del desempeño municipal:</i> Tiene como objetivo medir el desempeño de las entidades territoriales, entendido como la capacidad de gestión y de generación de resultados de desarrollo, teniendo en cuenta las condiciones iniciales de los municipios, como instrumento para el fortalecimiento de las capacidades territoriales, y la inversión orientada a resultados.</p>	Transversal	<p>DNP. Medición del desempeño municipal.</p>



Criterio	Variable	Tipo	Fuente
Identifica las condiciones internas y externas a la cadena, en términos de la oferta institucional y del fortalecimiento y consolidación del sector.	<i>Cercanía al SENA</i> : Facilidad con la que se puede alcanzar desde un sitio en el territorio el centro más cercano del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), que ofrece programas de formación profesional integral para la incorporación y el desarrollo de personas en actividades productivas que contribuyan al desarrollo social, económico y tecnológico del país. Sintetiza sus oportunidades de contacto e interacción.	Transversal	SENA. Regionales y centros de formación.
	<i>Cercanía al ICA</i> : Cercanía a una de las sedes del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), cuya función es elevar el estatus sanitario para mejorar las condiciones de inocuidad de la producción agroalimentaria nacional, aumentar la competitividad de las actividades agropecuarias y obtener admisibilidad sanitaria en los mercados internacionales.	Transversal	ICA. Directorio por seccionales.
	<i>Cercanía a Agrosavia</i> : Facilidad con la que un productor puede desplazarse desde cualquier punto en el territorio hasta un centro de investigación de Agrosavia para acceder a servicios como apoyo y formación en técnicas que sirven para el desarrollo del cultivo.	Transversal	Centros de Agrosavia.
	<i>Extensión y asistencia técnica sectorial</i> : Existencia de entidades u organizaciones que prestan servicios de extensión y asistencia técnica agropecuaria a nivel municipal, cuya función es articular y orientar acciones para el incremento de la productividad y competitividad de los sistemas locales de producción, considerando la sostenibilidad ambiental.	Específica	DANE, 2014. Tercer Censo Nacional Agropecuario. Gremios o asociaciones de productores.
	<i>Organizaciones gremiales o de base del sector</i> : Presencia e influencia de organizaciones gremiales o de base, como un indicador próximo a la existencia de redes sociales, de asociación o de cohesión social alrededor de proyectos de interés común.	Específica	Gremios o asociaciones de productores.
Condiciones de vida Conjunto de circunstancias materiales e inmateriales de la existencia y supervivencia de un individuo o grupo humano. Refleja el grado de desarrollo humano de la población perteneciente a un municipio analizado en relación con el concepto de competitividad.	<i>Índice de pobreza multidimensional (IPM)</i> : Grado de privación de las personas en un conjunto de dimensiones. Es la combinación del porcentaje de personas consideradas pobres y de la proporción de dimensiones en las cuales los hogares son, en promedio, pobres. Permite observar patrones de pobreza distintos a la monetaria, al reflejar diversos conjuntos de privaciones.	Transversal	DNP. Índice de pobreza multidimensional.

3.3.1. Obtención de rangos de requerimiento

De acuerdo con la tabla 3.9, la mayoría de los datos se registran a nivel municipal. Para la clasificación de las variables en categorías de aptitud, se establecen puntos de corte a partir del análisis del comportamiento de las variables dentro de la escala utilizada, esto permitirá a los evaluadores conocer el grado de aptitud de la zona de estudio y su posicionamiento en el contexto agropecuario nacional por municipios.

A continuación, se describen los métodos estadísticos que han sido utilizados para el agrupamiento de datos en la clasificación por categorías de aptitud del componente socioeconómico: método clúster de k-medias (KM) y método Dalenius-Hudges (DH).

De acuerdo con los resultados de las evaluaciones realizadas en la unidad, se puede establecer que, si bien el método de KM presenta un mejor comportamiento en términos de la reducción de la varianza intragrupo en los dos escenarios de simulación, el método DH sobresale en términos de la reducción de la varianza relativa de los centroides en presencia de información atípica con porcentajes inferiores al 5 %.

En este sentido, se sugiere implementar el método DH cuando la distribución de los datos presenta 5 % o menos de atípicos y KM en otros casos. En términos de la asimetría, se ha mostrado que el método KM es más eficiente.

Para identificar un dato atípico se implementa el criterio de Tukey, que consiste en señalar como atípico aquel dato que se encuentra 1,5 veces por encima del tercer cuartil o por debajo del primer cuartil (rango intercuartílico). Es decir, un dato es atípico si se encuentra por fuera del intervalo:

$$[Q_1 - 1,5 \cdot RI, Q_3 + 1,5 \cdot RI]$$

Donde Q_1 y Q_3 son el primer y tercer cuartil de la distribución de los datos respectivamente y RI es el rango intercuartílico que corresponde a la diferencia $Q_3 - Q_1$.

3.3.1.1. Método 1. Clúster de k-medias

Los clústeres buscan agrupar objetos similares entre sí y distintos de los objetos de otros agrupamientos. Los algoritmos de k-medias, como otros métodos de agrupamiento, parten de una función de aprendizaje no supervisado, donde no existen clases predefinidas y sus resultados están fuertemente determinados por el conjunto de datos disponibles y las medidas de similitud o distancia utilizadas para compararlos.

El algoritmo de k-medias busca minimizar la distancia intra-clústeres y maximizar la distancia inter-clústeres. La medida de similitud propuesta es la distancia. Si $d(i,j) > d(i,k)$ entonces el objeto i es más parecido a k que a j .

El método de k-medias, desarrollado por MacQueen en el año 1967, resulta sencillo y eficiente, dado que está basado en un único parámetro (número de grupos, ya definido en este contexto en 3), aunque puede estar sesgado por el orden de presentación inicial de los datos. La anterior desventaja se presenta cuando el método es utilizado para agrupa-

mientos multivariados, pero es fácilmente corregible en agrupamientos univariados con la presentación ordenada de los datos.

Los pasos del procedimiento genérico para la estimación de los clústeres de k-medias son los siguientes:

1. Se ordenan los datos de mayor a menor o de menor a mayor, según incidencia del fenómeno socioeconómico en estudio y su supuesta relación con los niveles de aptitud para la cadena productiva.
2. De manera inicial, se divide en 3 grupos el total de datos disponibles y se calcula el centroide (centro geométrico del clúster) como base para la construcción de la variable objetivo (distancia). El centroide que se propone es el promedio aritmético de cada inicial.
3. Dado que el algoritmo de k-medias busca minimizar la distancia interna (suma de las distancias de los datos de su centroide), se calcula para cada dato el cuadrado de las diferencias de este con los centroides de los clústeres inicialmente calculados (3) y se suman dichos valores para todos los datos del mismo clúster.
4. Se asigna cada elemento al clúster cuyo dato sea el mínimo de los 3 posibles y se recalculan los centroides con los nuevos agrupamientos.
5. Iterativamente, se van actualizando los centroides en función de las asignaciones de puntos a clúster, hasta que los centroides dejen de cambiar.

Como parte del mismo proceso, el procedimiento de k-medias considera una fase de validación que consiste en lo siguiente:

1. Evaluar la existencia de clústeres que solo están integrados por datos extremos (*outliers*).
2. Comparar dos conjuntos de clústeres alternativos evaluando su consistencia con los fenómenos socioeconómicos.
3. Comparar los resultados de los agrupamientos con los derivados de otras técnicas de agrupamiento para determinar si los resultados describen el fenómeno socioeconómico en estudio.

La validación se puede desarrollar tanto por criterios externos, que aporten información adicional, por ejemplo, los relacionados con la entropía y la pureza, como también por criterios internos, generados a partir de los propios datos como la suma de los cuadrados de las distancias al interior y entre clúster (cohesión y separación). A continuación, se ilustra un ejemplo de requerimientos socioeconómicos (tabla 3.10).

Tabla 3.10. Ejemplo de requerimientos socioeconómicos, tut de papa

CrITERIOS	VARIABLES	UNIDADES	Alta	Media	Baja
Indicadores económicos	Grado de importancia económica municipal	Categoría de importancia económica municipal (IEM) comprendida entre 1 y 7 con vigencia 2015 y asignado con base en el PIB municipal.	1 y 2	3, 4 y 5	6 y 7
	Créditos otorgados	Valor promedio anual 2010-2014 de los créditos otorgados a la cadena en el municipio (cifras en millones de pesos).	>243	[1-243]	Municipios sin historial crediticio en el periodo analizado.
	Incentivo a la capitalización rural (ICR)	Valor promedio anual por beneficiario 2010-2014 de los ICR otorgados a la cadena en el municipio (cifras en millones de pesos).	>10	[0,08-10]	Municipios sin historial de ICR.
Dinámica del mercado de tierras	Avalúo catastral de los predios rurales o precio comercial cuando exista la información.	Millones de pesos por hectárea.	Hectárea de menos de 3 millones de pesos.	Hectárea de 3-6 millones de pesos.	Hectáreas de más de 6 millones de pesos.
	Tamaño tipo de los predios rurales.	Hectárea (ha)	>3 ha		≤3 ha
	Tendencia a la presunta formalidad.	Pedio.	Predios con matrícula inmobiliaria.		Predios sin interrelación catastro-registro, sin matrícula inmobiliaria, con falsa tradición, con mejoras y con resolución de inscripción en el Registro de Tierras Despojadas y Abandonadas Forzosamente, de la Ley de Tierras Despojadas y Abandonadas.

Criterios	VARIABLES	UNIDADES	Alta	Media	Baja
Infraestructura y logística	Accesibilidad a centros de servicios.	Tiempo de desplazamiento en horas (h) calculado con base en la isócrona desde un punto en el territorio hasta el centro de servicios más cercano.	≤3 h	(3 h-6 h]	>6 h
	Accesibilidad a centros de comercialización	Tiempo de desplazamiento en horas (h) calculado con base en la isócrona desde un punto en el territorio hasta los centros de comercialización principal.	<1 h	[1 h-2 h]	>2 h
	Existencia de cultivos	Índice de competitividad. Calculado con base en el promedio anual 2010-2014 de hectáreas sembradas en papa en el municipio.	≥300 ha	<300 ha	Municipios sin información de área sembrada con papa.
	Presencia entidades bancarias	Número de entidades bancarias en el municipio.	>3	[1-3]	Sin entidad bancaria.
	Distritos de adecuación de tierras	Presencia y escala de los distritos de adecuación de tierras en el municipio.	Con presencia de distritos de adecuación de tierras de escala grande o mediana.	Con presencia de distritos de adecuación de tierras de escala pequeña.	Sin registro de presencia de distritos de adecuación de tierras.
Mercado laboral	Población en edad de trabajar (PET ₂₀₋₆₄)	Definido con base en el número de habitantes dentro del rango de edad de 20-64 años.	>50.000	[20.000-50.000]	<20.000
	Años promedio de escolaridad	Calculado con base en el número de años promedio de escolaridad de la población de 15 años o más en el municipio.	>8 años	[6 años-8 años]	<6 años
	Oferta educativa a nivel técnico, tecnológico y profesional en áreas agrícolas y forestales	Número de programas de formación académica en actividades del sector agrícola y forestal en el municipio.	≥4	[2-3]	[0-1]

Crterios	Variables	Unidades	Alta	Media	Baja
Seguridad ciudadana	Homicidios	Calculado con base en la tasa anual promedio 2010-2014 de homicidios por 100.000 habitantes en el municipio.	Sin información y <23,80	[23,80-69,30]	>69,30
	Riesgo de amenazas	Calculado con base en el índice de riesgo de amenazas 2005-2013 en el municipio.	≤0,42	(0,42-0,58]	>0,58
	Accidentes e incidentes con minas antipersonal	Calculado con base en la tasa anual promedio 2010-2014 de accidentes e incidentes por minas antipersonal por 100.000 habitantes en el municipio.	Sin información y ≤3,15	(3,15-17,71]	>17,71
	Desplazamiento forzado	Calculado con base en la tasa anual de desplazamiento forzado promedio 2010-2014 por 1.000 habitantes en el municipio.	<5	[5-10]	>10
Institucionalidad y asociatividad	Desempeño fiscal	Calculado con base en el promedio anual 2009-2013 del índice de desempeño fiscal en el municipio.	[70,02-90,73]	[60,00-70,02)	[33,23-60,00)
	Cercanía al SENA	Tiempo de desplazamiento en horas calculado con base en la isócrona desde un punto en el territorio hasta la sede del SENA más cercana.	≤2 horas	(2 horas-5 horas]	>5 horas
	Presencia del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA)	Área de influencia, calculada con base en presencia de sedes del ICA en el municipio.	Con sede		Dentro del área de influencia institucional, sin sede
	Presencia de Corpoica	Área de influencia, calculada con base en presencia de sedes de Corpoica en el municipio.	Con sede		Dentro del área de influencia institucional, sin sede

Criterios	VARIABLES	UNIDADES	Alta	Media	Baja
Institucionalidad y asociatividad	Extensión y asistencia técnica sectorial	Número de organizaciones que prestan servicios de extensión y asistencia técnica agropecuaria en el municipio.	≥3	[1-2]	Sin organizaciones de extensión y asistencia técnica agropecuaria.
	Organizaciones gremiales o de base del sector	Área de influencia con base en la presencia de organizaciones gremiales o de base en el municipio.	Con organizaciones gremiales o de base	Sin organizaciones gremiales o de base	
Condiciones de vida	Índice de pobreza multidimensional (IPM)	Calculado con base en los resultados del índice de pobreza multidimensional para el año 2005 en el municipio.	<64	[64-83]	>83

Fuente: upra, 2016.

3.3.1.2. Método 2. Dalenius-Hudges

El método de Dalenius-Hudges consiste en la formación de estratos de manera que la varianza obtenida sea mínima para cada uno.³ Se aplica en el caso de una sola variable.

El procedimiento para la conformación de los estratos es la siguiente: Sea n el número de observaciones y L el número de estratos.

1. Ordenar las observaciones de manera ascendente.
2. Agrupar las observaciones en J clases, donde $J = \min(L \cdot 10, n)$.
3. Calcular los límites de los intervalos que son abiertos a la izquierda y cerrados a la derecha a excepción del primero que es cerrado por ambos lados. Se siguen los siguientes criterios:

$$\lim \inf C_k = \min\{x_{(i)}\} + (k - 1) * \frac{\max\{x_{(i)}\} - \min\{x_{(i)}\}}{J}$$

$$\lim \sup C_k = \min\{x_{(i)}\} + (k) * \frac{\max\{x_{(i)}\} - \min\{x_{(i)}\}}{J}$$

³ La propuesta está guiada en parte por la nota técnica de estratificación multivariada del sistema de consulta e información censal del Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México que se encuentra disponible en <http://gaia.inegi.org.mx/scince2/documentos/scince/fichaTecnica.pdf>

4. A partir de los límites, se obtiene la frecuencia de casos en cada clase.

5. Obtener la raíz cuadrada de la frecuencia en cada clase.

$$C_i = \sum_{h=1}^i \sqrt{f_h} \quad (i= 1, \dots, J)$$

6. Acumular la suma de la raíz cuadrada de las frecuencias.

7. Dividir el último valor acumulado entre el número de estratos.

$$Q = \frac{1}{L} C_J$$

8. Los puntos de corte de cada estrato se toman sobre el acumulado de la raíz cuadrada de las frecuencias en cada clase de acuerdo con lo siguiente:

$$Q, 2Q, \dots, (h-1)Q$$

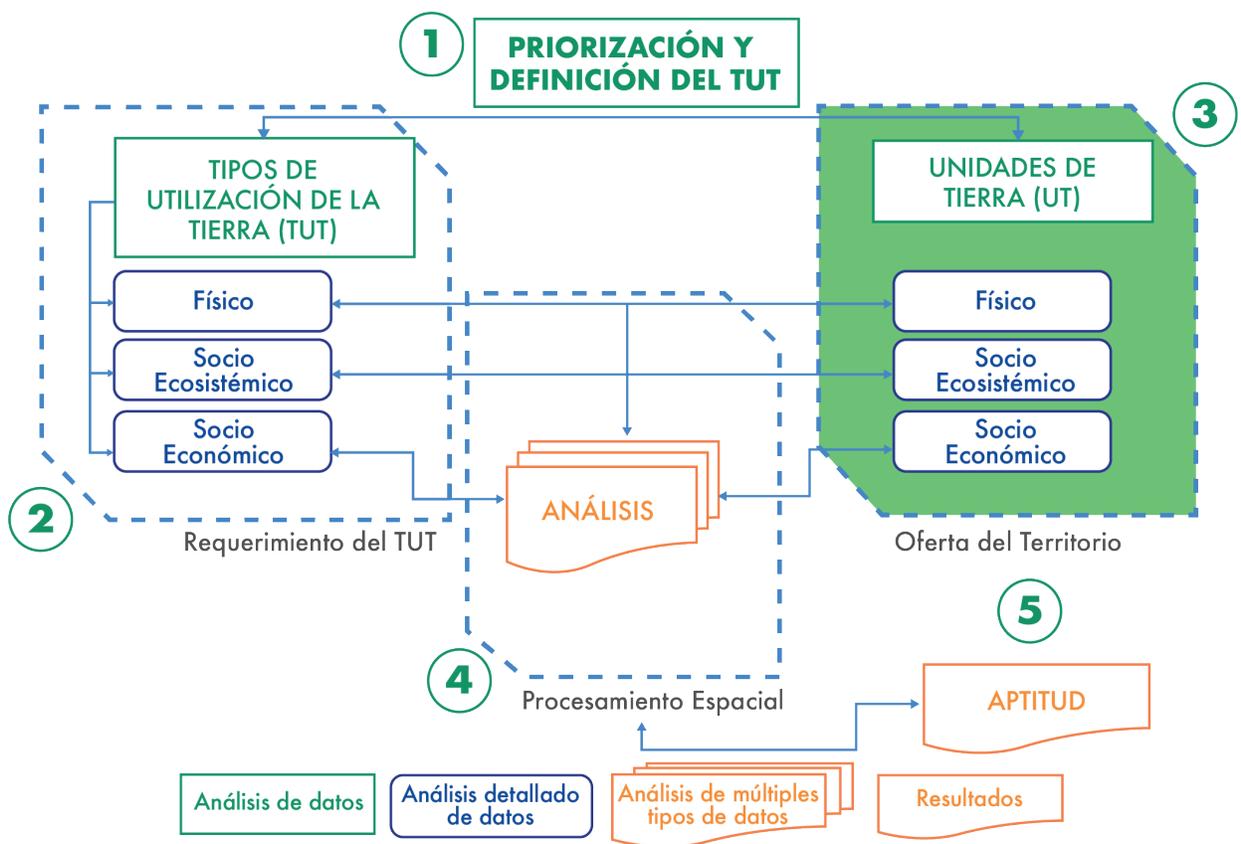
Si el valor de Q queda entre dos clases, se toma como punto de corte la que presenta la mínima distancia a Q . Los límites de los h estratos conformados son los correspondientes al límite inferior de las clases comprendidas en cada estrato.

A pesar de este tratamiento estadístico que propende por la objetividad en el tratamiento de las variables, el componente socioeconómico puede incluir otros métodos de agrupamiento; por ejemplo, la presencia o ausencia de entidades o información suministrada por el conocimiento de un experto, como en el caso de la producción de litros de leche diaria municipal, o por recopilación de información cualitativa, como ocurrió con la variable *tradición ganadera* para la zonificación de aptitud para la producción de leche bovina en pastoreo para el mercado nacional y de exportación.



4

Unidades de tierra (UT)



Hace referencia a la recopilación de las unidades de tierra contenidas en la oferta del territorio a analizar. A partir de los componentes físico, socioecosistémico y socioeconómico, exclusiones legales y condicionantes, se compila la información de las características espaciales y sus atributos, utilizados como rasgos o cualidades para ser confrontados con los requerimientos de los TUT, a fin de alcanzar el propósito de la evaluación de tierras, que es determinar o predecir el comportamiento de una porción de tierra para fines específicos productivos o para la prestación de servicios (áreas de recreación, áreas para la vida silvestre, construcción de caminos, captación de aguas, etc.) (FAO, 1997).

Las unidades de tierra deben ser las mismas a confrontar con los requerimientos de los TUT; a continuación, se describen las principales fuentes de unidades de tierra que ofrecen las entidades públicas y privadas de carácter oficial para el territorio colombiano.

4.1 Unidades de tierra físicas

El insumo fundamental para realizar la evaluación de tierras con fines agropecuarios son los estudios de suelos, que, dependiendo de la escala, se encuentran en diferentes detalles de información: general, semidetallados y detallados. El país cuenta con el 100 % de estudios generales de suelos realizados por la entidad competente, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), de esta manera, es posible realizar la evaluación de tierras desde el componente físico para todo el país.

Adicionalmente, el IGAC, desde el año 2013, realizó el esfuerzo de compendiar todos los estudios generales de suelos y espacializarlos en una sola capa cartográfica de tipo vectorial, insumo utilizado para realizar la evaluación de tierras a escala general, ya sea de alcance nacional o territorial, de esta manera se estandariza la información base para utilizar como unidad de tierra física para la ET.

Si bien los estudios de suelos son la información base del componente físico, no son la única información a tener en cuenta para la ET. En la tabla 4.1, se describen las principales fuentes de información para la determinación de variables desde el componente físico; no obstante, si existen más fuentes de información oficial para la selección y clasificación de la variable, es decisión del evaluador incluirla o no.

Tabla 4.1. Unidades de tierra físicas, fuentes de información

Variable	Fuente
Temperatura	Ideam, normal climática
Precipitación	Ideam, normal climática
Brillo solar	Ideam, normal climática
Humedad relativa	Ideam, normal climática
Pendiente	IGAC, mapa geopedológico Modelo digital de elevación (DEM, por sus siglas en inglés), Misión Topográfica Shuttle Radar (SRTM, por sus siglas en inglés) (30-90 m) o ALOS PALSAR (12,5 m)
Textura	IGAC, mapa geopedológico
Pedregosidad	IGAC, mapa geopedológico
Profundidad efectiva	IGAC, mapa geopedológico
Régimen de humedad	IGAC, mapa geopedológico
Susceptibilidad a inundaciones	Ideam, mapa de susceptibilidad a inundaciones
Drenaje natural	IGAC, mapa geopedológico
Acidez	IGAC, mapa geopedológico

Variable	Fuente
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	IGAC, mapa geopedológico y estudio de suelo
Saturación de bases	IGAC, mapa geopedológico
Carbono orgánico	IGAC, mapa geopedológico
Salinidad o sodicidad	IGAC, mapa geopedológico Ideam, mapa de degradación de suelos por salinidad.
Saturación de aluminio	IGAC, mapa geopedológico
Erosión actual	Ideam, zonificación de la degradación de suelos por erosión o IGAC, mapa geopedológico
Susceptibilidad a deslizamientos	Ideam

4.2. Unidades de tierra socioecosistémicas

En el componente socioecosistémico, el principal insumo de base para la ET son los mapas de coberturas de la tierra, ya que son los que brindan la información de las cubiertas terrestres que posee un territorio. En la actualidad el país no cuenta con un mapa de usos de la tierra, conceptualmente diferente de los de cobertura de uso (UPRA e IGAC, 2015), pues estos últimos señalan un tipo de utilización de la tierra de manera indicativa, mas no sus propósitos.

El país cuenta con el 100 % de cobertura con esta información a escala general y cartográfica 1:100.000, a cargo del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), realizada para tres periodos de tiempo: 2000-2002, 2005-2009 y 2009-2012, estandarizada desde el año 2010, con la *Leyenda nacional de coberturas de la tierra: Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia escala 1:100.000*.

En las ET que la UPRA ha realizado de alcance nacional, se ha utilizado la versión de coberturas de la tierra 2005-2009; a nivel territorial, como departamentos, se ha optado por realizar la actualización de las coberturas a escala general 1:100.000, siguiendo la rigurosidad de la metodología Corine Land Cover, con información satelital lo más actualizada posible.

En la tabla 4.2, se describen las principales fuentes de información para la determinación de variables desde el componente socioecosistémico. No obstante, si existen más fuentes de información oficial para la selección y clasificación de la variable o creación de otros criterios, es decisión del evaluador incluirla o no.

Tabla 4.2. Unidades de tierra socioecosistémicas, fuentes de información

Variable	Fuente
Cobertura de la tierra	Ideam, mapa de cobertura de tierras 2000-2002. Ideam, mapa de cobertura de tierras 2005-2009. Ideam, mapa de biomas.
Conectividad estructural de las coberturas naturales	Ideam, mapa de cobertura de tierras.
Índice de naturalidad por subzona hidrográfica	Ideam, mapa de cobertura de tierras. Ideam, mapas de subzonas hidrográficas.
Áreas de concentración de especies sensibles	Instituto Alexander von Humboldt –IAVH– (2010), áreas prioritarias para la conservación.
	Selva: Investigación para la Conservación del Neotrópico (2012), áreas críticas para especies migratorias en agroecosistemas.
	IAVH (2015), áreas de importancia para la conservación de aves.
Deforestación	Ideam (2016), mapa de bosque/no bosque 2010 para Colombia.
Agricultura familiar	UPRA (2016), mapa agricultura familiar.
Páramos	IAVH (2012), páramos. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), 2014 a 2016.
Parques nacionales	Parque nacional natural: Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales –uaespnn– (2016), límite de las otras categorías reconocidas por el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (Sinap), versión 5: Parques nacionales regionales.
Ley Segunda, categoría A	Áreas Ley Segunda, categoría A: MADS, descargada 27 de febrero de 2017 (http://www.siac.gov.co/Catalogo_mapas.html), mapa de reservas forestales nacionales de Ley 2. ^a , sustracciones, escala 1:100.000.
Reservas forestales nacionales y regionales	UAESPNN (2016), límite de las otras categorías reconocidas por el Sinap versión 5: Reservas forestales nacionales y regionales.
Parques y áreas arqueológicas protegidas	Instituto Colombiano de Antropología e Historia, ICANH (2014), límites de parques y áreas arqueológicas protegidas.
Parque regional natural	UAESPNN (2016), límite de las otras categorías reconocidas por el Sinap, versión 5: parques nacionales regionales.
Remoción en masa	Servicio Geológico Colombiano (SGC) e Ideam (2015), mapa nacional integrado de amenaza por movimiento en masa a escala 1:100.000, versión 1, a diciembre de 2015. IGAC (2012).
Amenaza volcánica	SGC (2015), mapa nacional integrado de amenaza volcánica, escala 1:100.000, a diciembre de 2015. IGAC (2012).

4.3. Unidades de tierra socioeconómicas

La información oficial para este componente se encuentra generalmente relacionada con unidades de análisis a nivel municipal, en la tabla 4.3 se listan las principales fuentes utilizadas.

Tabla 4.3. Unidades de tierra socioeconómicas, fuentes de información

criterio	Variable	Fuente
Indicadores económicos	Grado de participación en el valor agregado agropecuario departamental	DANE, indicador de importancia económica municipal (IIEM) y PIB departamental por sectores económicos.
	Créditos otorgados	Finagro. Créditos otorgados por cultivo a nivel municipal.
	Incentivo a la capitalización rural (ICR)	Finagro, estadísticas de ICR por cultivo a nivel municipal.
Tierra	Precio de la tierra rural municipal	IGAC (2016), base catastral y catastros descentralizados de Antioquia, Medellín, Cali y Bogotá.
	Tamaño tipo de los predios rurales	
	Índice de tendencia a la formalidad	UPRA (2015), índice de tendencia a la formalidad, construido a partir de IGAC, SNR e Incoder, y otras. Información predio a predio rural IGAC.
Infraestructura y logística	Accesibilidad a centros de servicios	DANE, proyecciones de población municipales.
		Ideam (2012), mapa nacional de coberturas de la tierra.
		IGAC (2012), cartografía básica, escala 1:100.000.
		IGAC (2011), instructivo para la grabación de datos.
		Mintransporte (2014), tramos red vial nacional y departamental.
	Accesibilidad a centros de comercialización	Gremios o asociaciones de productores.
		Ideam (2012), mapa nacional de coberturas de la tierra.
		IGAC (2016), base catastral registro 2.
		IGAC (2012), cartografía básica, escala 1:100.000.
		IGAC (2011), instructivo para la grabación de datos.
	Mintransporte (2014), tramos red vial nacional y departamental.	
Presencia de entidades bancarias	Superintendencia Financiera de Colombia. Establecimientos bancarios.	
Existencia de cultivos comerciales	Agronet, evaluaciones agropecuarias.	
	DANE (2014), Tercer Censo Nacional Agropecuario.	
Distritos de adecuación de tierras	Agencia Nacional de Tierras o quien haga sus veces.	
Mercado laboral	Población en edad de trabajar (PET ₂₀₋₆₄)	DANE, proyecciones de población municipales.
	Años promedio de escolaridad	
	Oferta educativa a nivel técnico, tecnológico y profesional en áreas agrícolas y forestales	Ministerio de Educación. Simat: matrículas oficiales y no oficiales, y Sistema Nacional de Información de la Educación Superior (SNIES).
Seguridad ciudadana	Homicidios y secuestros	Ministerio de Defensa Nacional, Grupo Información de Criminalidad (Gicri), información disponible para las zonas rurales.
Institucionalidad y asociatividad	Desempeño fiscal	DNP, índice de desempeño fiscal.
	Cercanía al SENA	Ideam (2012), mapa nacional de coberturas de la tierra.
		IGAC (2012), cartografía básica, escala 1:100.000.
		Mintransporte (2014), tramos red vial nacional y departamental.
	SENA, regionales y centros de formación.	

criterio	Variable	Fuente
Institucionalidad y asociatividad	Cercanía al ICA	ICA, directorio por seccionales.
		Ideam (2012), mapa nacional de coberturas de la tierra.
		IGAC (2012), cartografía básica, escala 1:100.000.
		Mintransporte (2014), tramos red vial nacional y departamental.
	Cercanía a Agrosavia	Agrosavia, centros de atención.
Ideam (2012), mapa nacional de coberturas de la tierra.		
IGAC (2012), cartografía básica, escala 1:100.000.		
Mintransporte (2014), tramos red vial nacional y departamental.		
Extensión y asistencia técnica sectorial	Organizaciones gremiales o de base del sector	DANE (2014), Tercer Censo Nacional Agropecuario. Gremios o asociaciones de productores.
		Gremios o asociaciones de productores.
Condiciones de vida	Índice de pobreza multidimensional (IPM)	DNP, índice de pobreza multidimensional.

4.4. Exclusiones legales

Hace referencia a las figuras de protección ambiental definidas en normas legales vigentes que restringen el desarrollo de actividades agropecuarias en el suelo rural; pueden ser actualizadas o complementadas de acuerdo a las normatividades vigentes (tabla 4.4).

Tabla 4.4. Exclusiones legales

Exclusión	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 Nacionales 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 tanto, la presencia de estas áreas es considerada excluyente para la adecuación de tierras.

Exclusión		Concepto
Sistema Nacional de Áreas Protegidas (Sinap)	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	Hace referencia a la Ley 1450 de 2011, por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014, Prosperidad para Todos; define en su artículo 202, parágrafo 1, que en los ecosistemas de páramos no se podrán adelantar actividades agropecuarias. Así mismo establece que como referencia mínima se tendrá en cuenta la cartografía contenida en el <i>Atlas de páramos de Colombia</i> del Instituto de Investigación Alexander von Humboldt, hasta tanto se cuente con cartografía a escala más detallada (Congreso de Colombia, 2011). En ese sentido, para efectos del análisis metodológico se tienen en cuenta los estudios adelantados por el Instituto Alexander von Humboldt a escala 1: 100.000 y la delimitación de páramos a escalas más detalladas suministradas por el MADS.
Áreas de protección cultural y social	Áreas arqueológicas protegidas con declaratoria	Zonas a cargo del Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH), donde 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.
Ley 2.ª de 1959	Zonas de reserva forestal	Zona A. Mantenimiento de los procesos ecológicos básicos necesarios para asegurar la oferta de servicios ecosistémicos. Para el mapa de frontera agrícola esta categoría se considera como de exclusión total.
AMEM		Zonas de preservación y de restauración para la preservación: pnn (2010), Cormacarena (agosto de 2015, fecha de entrega), áreas de manejo especial de La Macarena (AMEM) parque y distritos de manejo integrado (DMI).

4.5. Áreas condicionadas

Las áreas condicionadas se definen como «áreas donde las actividades agropecuarias pueden ser permitidas, restringidas o prohibidas de acuerdo con las condiciones impuestas por la ley» (Resolución 261 de 2018 del MADR), aplican de manera solo indicativa en la evaluación de tierras. Se agrupan en tres criterios: i) condiciones étnicas, ii) ambientales y iii) gestión de riesgos (UPRA, 2018). Aunque cartográficamente no suman o quitan aptitud, quienes toman decisiones deben tenerlas en cuenta en los resultados finales.

4.5.1. Condicionantes étnicas

Corresponde a los resguardos indígenas, los territorios colectivos de comunidades negras y territorios de Ley 70, teniendo en cuenta los procesos de autonomía territorial para las decisiones sobre usos agropecuarios en dichos territorios y la consulta de sus planes de vida.

4.5.2. Condicionantes ambientales

Son las categorías del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (Sinap), que depende de los resultados de zonificación ambiental o los planes de manejo de figuras como los distritos de manejo integral (DMI), los distritos de conservación de suelos (DCS), las áreas de recreación (AR), las reservas naturales de la sociedad civil (RNSC), las áreas de manejo especial de La Macarena (distintas a la zona de preservación), los sitios Ramsar, las reservas de biósfera y las áreas de interés para la conservación de aves (AICA). Se deben considerar las zonas de prospección para la declaración de nuevas áreas protegidas, entre tanto se hace su declaración definitiva. Asimismo, las áreas B y C de las zonas de reserva forestal de la Ley 2 de 1959 y sin zonificar que quedan sujetas a los usos que permitan dichas áreas o a los procesos de sustracción.

4.5.3. Condicionantes por gestión de riesgos

La Ley 1523 de 2012, por la cual se adopta la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, señala:

Principio de precaución: Cuando exista la posibilidad de daños graves o irreversibles a la vida, a los bienes y derechos de las personas, a las instituciones y a los ecosistemas como resultado de la materialización del riesgo en desastre, las autoridades y los particulares aplicarán este principio, en virtud del cual la falta de certeza científica absoluta no será óbice para adoptar medidas encaminadas a prevenir y mitigar la situación de riesgo. (Art. 3, num. 8).

De acuerdo con lo anterior, se tienen en cuenta las siguientes categorías: I) amenaza muy alta por movimientos en masa y II) amenaza alta volcánica. Estas áreas requieren evaluarse con especial atención a información o estudios más detallados que demuestren la posibilidad de mitigar el riesgo.

Los deslizamientos o movimientos en masa comprenden el desplazamiento de material litológico, suelo, roca o cobertura vegetal, la dera abajo por acción de la fuerza de gravedad, la influencia de la

pendiente del terreno y la cohesión o características del material. Esta amenaza se define como peligro latente, asociado con un fenómeno físico de origen natural, que puede presentarse en un lugar y tiempo determinados, y producir efectos adversos en las personas, los bienes o el medio ambiente. Son fuentes de información de este condicionante la amenaza por movimientos de remoción en masa (muy alta), con base en SGC (2016), y el mapa de amenaza por movimiento en masa a escala 1:100.000 y 1:500.000, actualización de noviembre de 2016.

La amenaza volcánica comprende cualquier evento volcánico potencialmente destructivo que pueda afectar un área determinada. En esencia, dicho evento no tiene en cuenta si hay o no población o bienes alrededor del volcán, sino que provoca arrasamiento y destrucción de la vegetación y los cultivos y de las estructuras existentes a lo largo de su trayectoria. Los análisis de esta condición se realizaron con base en la información de zonas de amenaza volcánica (alta) (SGC, 2017) y el mapa nacional de amenaza volcánica, escala 1:100.000.

Las amenazas por inundaciones no se consideran en este trabajo debido a que no hay información disponible a la escala de trabajo requerida; este criterio deberá ser tenido en cuenta para análisis más detallados. La tabla 4.5 presenta un resumen de los condicionantes.

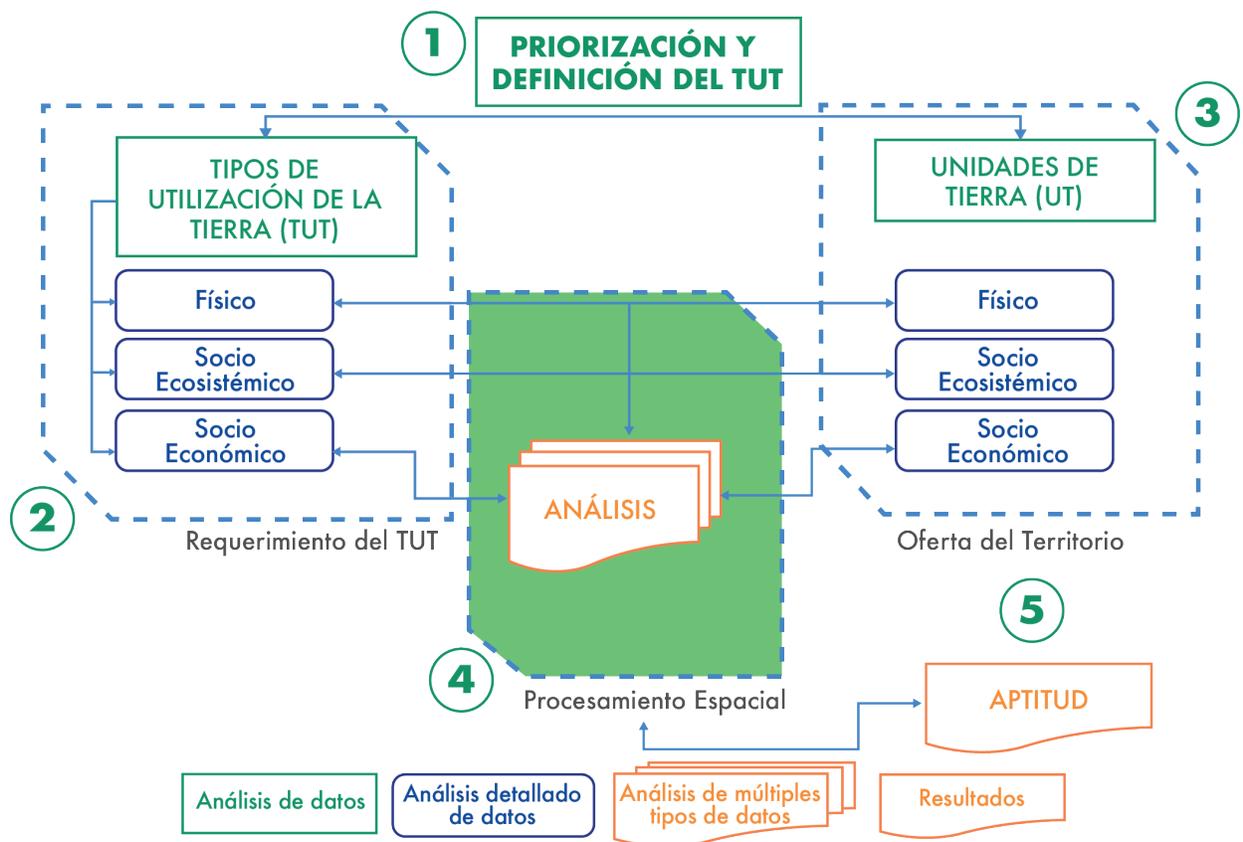
Tabla 4.5. Condicionantes en la evaluación de tierras

Condicionantes	
Étnica	Tierras de comunidades negras
	Áreas de reserva de Ley 70 de 1993
	Áreas de resguardos indígenas declarados
Ambientales	Áreas de Ley 2. ^a (b, c y sin categoría)
	Áreas de recreación
	Distrito de conservación de suelos
	Distritos de manejo integrado
	Distritos regionales de manejo integrado
	AMEM (producción)
Ambientales	Reservas naturales de la sociedad civil
	Humedales Ramsar
	Manglares
	Reservas de la biosfera
	AICA
	Zonas con potencial ambiental
Gestión de Riesgo	Remoción en masa muy alta
	Amenaza volcánica alta

Fuente: UPRA, 2018.

5

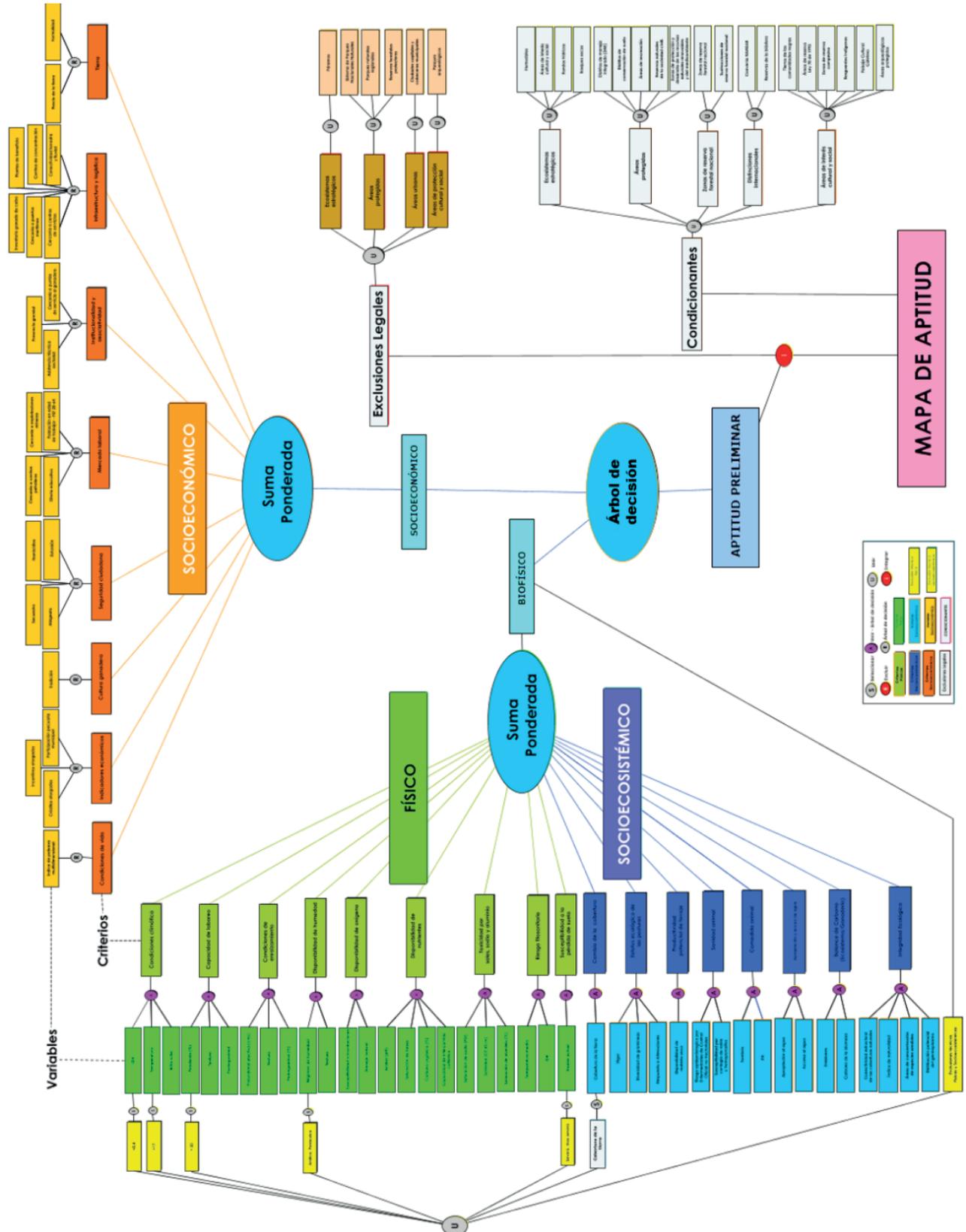
Análisis en evaluación de tierras



El proceso de análisis empieza una vez definido el tipo de utilización de la tierra (TUT), seleccionadas las variables y los criterios que se usan para obtener la aptitud para su evaluación. Con estos elementos de base, se construye el modelo cartográfico general, que resume cómo se agrupan las variables para conformar los criterios y la organización de estos por componente. Con los criterios físicos y socioecosistémicos, integrados al modelo, se genera el componente biofísico, que hace parte del componente socioeconómico.

Como se observa en la figura 5.1, existen dos procesos de integración de datos cartográficos a partir de la suma ponderada con datos ráster: el relacionado con la superposición del componente biofísico (físico + socioecosistémico) y la generación del componente socioeconómico a partir de sus criterios; estos dos resultados se combinan y se reclasifica el ráster de salida, teniendo en cuenta la matriz de paso (ver 5.1.4).

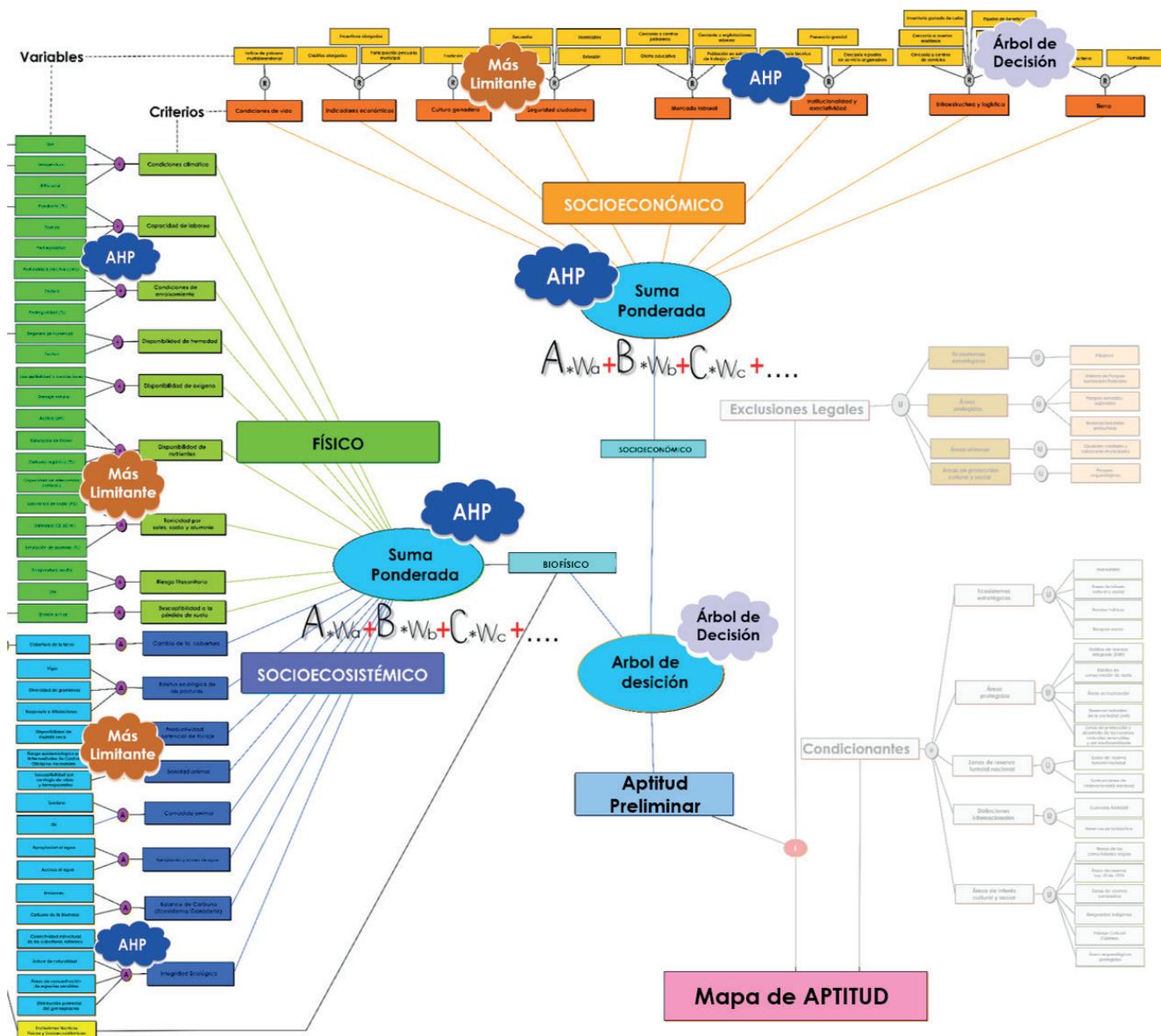
Figura 5.1. Modelo cartográfico para la evaluación de tierras



5.1. Métodos de análisis espacial

El proceso general para el análisis espacial comprende la aplicación de varias técnicas o métodos de análisis de datos espaciales, unos para agrupar las variables por criterios y otras para combinar los criterios para conformar un componente. En la figura 5.2 se ilustra de forma general los métodos por componente.

Figura 5.2. Técnicas de análisis por componente



Para la integración de capas dentro del concepto de evaluación de tierras, se utilizan cuatro métodos: más limitante, proceso analítico jerárquico (AHP, del inglés: *analytic hierarchy process*), árbol de decisión y matriz de paso. Dependiendo del nivel a integrar (variables, criterios y componentes) se utiliza: 1) Método de proceso analítico jerárquico (AHP), para agrupar variables por criterio en el componente físico, socioecosistémico y socioeconómico y agrupar criterios por componente en las temáticas biofísica y socioeconómica. 2) Método del más limitante, para agrupar variables por criterios en el componente físico. Puede ser altamente restrictivo, de tal manera que, obedeciendo a sus resultados, se puede optar por el método AHP. 3) Método de árbol de decisión, para agrupar variables a criterios, en casos donde las variables requieren conceptos y juicios de experto; puede aplicar a cualquier criterio de los 3 componentes. Y 4) matriz de paso, utilizada para determinar la aptitud final a través de la integración del componente físico y socioeconómico. A continuación, se detalla cada método.

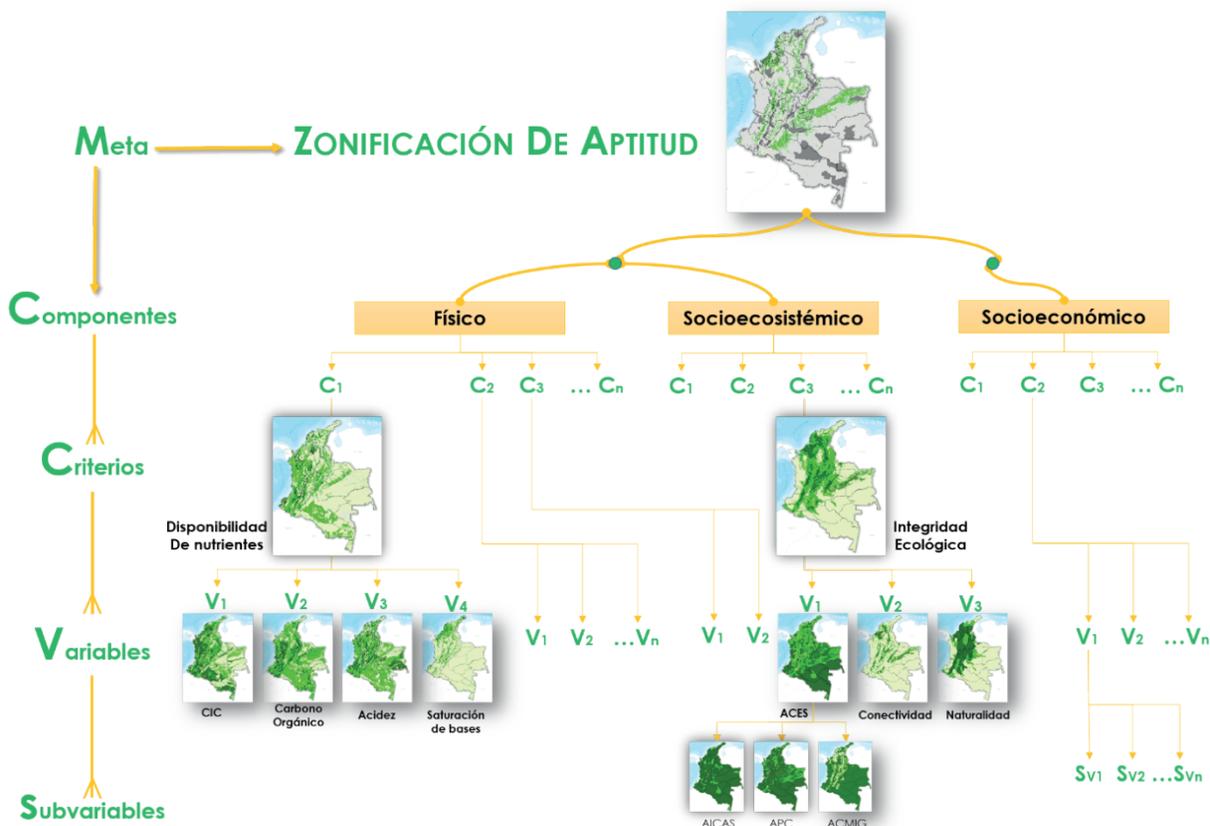
5.1.1. Método de proceso analítico jerárquico AHP

En la metodología, se emplea el AHP como método principal para resaltar que, en el ejercicio de evaluación de tierras, los criterios tienen pesos diferenciados. El AHP es un enfoque de toma de decisiones de criterios múltiples en el que los factores se organizan en una estructura jerárquica (Saaty, 1990). Este método permite básicamente obtener los pesos de los criterios que constituyen un componente, a partir de una serie de comparaciones por pares teniendo en cuenta la percepción y evaluación de los expertos temáticos. El AHP permite integrar criterios cuantitativos y cualitativos bajo diferentes calificaciones de preferencia; aunque se basa en la percepción y el conocimiento de expertos, es un método que permite verificar la consistencia de la decisión, reduciendo así el sesgo y la incertidumbre. Para obtener resultados significativos con el AHP, la relación de consistencia (CR) debe ser menor que 0,1 (inferior al 10 %), de lo contrario existe una inconsistencia, y los valores de comparación por pares deben revisarse, hasta obtener datos coherentes.

El primer paso en AHP es definir el objetivo general (meta), luego precisar el esquema jerárquico: los componentes, criterios y variables. En este sentido, la UPRA se fijó la meta de identificar las unidades espaciales categorizadas (alta, media y baja) con las que finalmente se genera el mapa de aptitud de uso para un cultivo específico.

Para lograr esta meta, se definieron 3 niveles de jerarquía: las variables que corresponden al nivel inferior, los criterios que están en el nivel intermedio y, en el nivel superior, los componentes. En síntesis, los componentes están conformados por más de un criterio, y los criterios están constituidos por más de una variable (figura 5.3).

Figura 5.3. Jerarquías para la evaluación de tierras



Para algunos criterios se requiere un cuarto nivel de jerarquía: subvariable que constituyen variables. Este es el caso del criterio integridad ecológica.

El proceso básico de AHP se puede resumir en los siguientes pasos:

- Determine el objetivo.
- Establezca una estructura jerárquica. Para el tema de aptitud, se listan las variables, se agrupan en factores y estos, a su vez, se clasifican en grupos denominados componentes. Lo clave es determinar la correspondencia de los factores entre el nivel superior (componentes) e inferior (variables) de la estructura jerárquica definida.
- Genere una matriz ($n \times n$) de comparación por pares, donde n es el número de criterios. Para esto, se convoca a expertos en campos relacionados con los diferentes componentes, de forma que puedan juzgar la importancia de los factores que influyen en el logro de la meta propuesta. Al final, se logra una matriz de comparación que muestre la importancia relativa de los criterios, teniendo en cuenta una escala de valoración.

- Sistematice esta matriz para obtener los pesos de cada uno de los criterios o variables analizadas (*software* experto de código abierto, PriEsT –*priority estimation tool*–).
- Verifique y revise la coherencia de la matriz expresada en la relación de consistencia.

5.1.2. Método del más limitante

Se basa en la ley del mínimo propuesta por el alemán Justus von Liebig en 1855; la aptitud física de un área para un TUT específico se toma de la cualidad o característica más limitante. Para implementar este método, se conforma una matriz, en las columnas se colocan las características o atributos (variables) por evaluar y en las filas la calificación de la aptitud para cada atributo; al final, en la columna de la derecha se califica la aptitud con base en el valor mínimo o el más limitante. En la tabla 5.1, se ilustra este método para el criterio condiciones climáticas, conformado por 3 variables: precipitación media anual, temperatura media anual y meses secos.

Tabla 5.1. Criterio condiciones climáticas

Prec mm/año	Temp °C/anual	Meses secos	Mínimos
1500 - 2500 <u>(A1)</u>	≥24-≤28 (A1)	≥1,<2 (A1)	A1
		≥2,<4 (A2)	A2
		≥4 (A3)	A3
	≥22-<24 (A2) o ≥28 (A2)	≥1,<2 (A1)	A2
		≥2,<4 (A2)	A2
		≥4 (A3)	A3
	≥20-<22 (A3)	≥1,<2 (A1)	A3
		≥2,<4 (A2)	A3
		≥4 (A3)	A3
1000 - 1500 <u>(A2)</u>	≥24-≤28 (A1)	≥1,<2 (A1)	A2
		≥2,<4 (A2)	A2
		≥4 (A3)	A3
	≥22-<24 (A2) o ≥28 (A2)	≥1,<2 (A1)	A2
		≥2,<4 (A2)	A2
		≥4 (A3)	A3
	≥20-<22 (A3)	≥1,<2 (A1)	A3
		≥2,<4 (A2)	A3
		≥4 (A3)	A3

5.1.3. Método de árbol de decisión

En este modelo jerárquico se califica el grado de aptitud: alta (A1), media (A2) y baja (A3) para cada una de las variables, hasta que todas hayan sido evaluadas. Luego, se suman las variables que componen el criterio (previo a esto se han asignado valores de 1 para A3, 2 para A2 y 3 para A1). Finalmente, se categorizan las calificaciones resultado de la sumatoria.

En la tabla 5.2, se ejemplifica la calificación del criterio infraestructura y logística, compuesto por 7 variables: existencia de cultivos; cercanía a centros de servicios; cercanía a puertos marítimos; presencia de aeropuertos; cercanía a centros transformación; empaque y comercialización, y presencia de distritos de riego.

Tabla 5.2. Criterio infraestructura y logística

Variables	Unidad de medida	Rangos de aptitud		
		A1 3	A2 2	A3 1
Existencia de cultivos	Hectáreas	Municipios > 133 ha sembradas	Municipios entre 38,33 y 133 ha sembradas	Municipios entre < 38,33 ha sembradas
Cercanía a centros de servicio	Tiempo de desplazamiento en horas	Municipios ≤ 2	Municipios entre 2 y 3	Municipios > 4
Cercanía a puertos marítimos	Tiempo de desplazamiento en horas	Municipios ≤ 2	Municipios entre 2 y 4	Municipios > 4
Presencia de aeropuertos	Categorías	Categoría A	Categoría B	Categoría C
Cercanía a centros transformación empaque comercialización	Tiempo de desplazamiento en horas	Municipios ≤ 2	Municipios entre 2 y 4	Municipios > 4
Distritos de riego	Tamaño	Municipios con distritos de riego de gran tamaño	Municipios con distritos de riego de mediano y pequeño tamaño	Municipios sin distritos de riego

Criterio	Aptitud		
	A1	A2	A3
Infraestructura y logística	Municipios con sumatoria de aptitud > 14	Municipios con sumatoria de aptitud entre 10 y 13	Municipios con sumatoria de aptitud < 9

5.1.4. Matriz de paso

Es el método utilizado para obtener la aptitud final de la evaluación de tierras. Integra los componentes biofísico (físico + socioecosistémico) y socioeconómico; se realiza a través de una matriz denominada «de paso», de tamaño 3 × 3, donde se comparan las clases de aptitud de los dos componentes (tabla 5.3).

De acuerdo con las evaluaciones de tierras realizadas por la UPRA en los últimos años, se ha concluido que para los TUT de cultivos que no son de uso confinado, la aptitud biofísica prevalece sobre la socioeconómica; es decir, esta última no deberá aumentar la aptitud biofísica de un espacio geográfico, ya que algunos criterios que la definen son inherentes a cambios sociales o económicos. Adicionalmente, las variables físicas son más estáticas a mediano plazo, como los criterios climáticos, a diferencia de las socioeconómicas, que son altamente dinámicas en el tiempo. En cambio, en el caso de los TUT asociados a usos confinados (porcícola, avicultor, entre otros) las variables físicas pueden ser modificadas a través de infraestructuras con el fin de obtener el beneficio del uso esperado.

De igual manera, en el caso de TUT de usos agrícolas y para escalas generales de análisis espacial, las variables socioeconómicas, en su gran mayoría, se encuentran determinadas a nivel municipal, las variables físicas y socioecosistémicas, por el contrario, se detallan a niveles mayores; en la cartografía, entonces, se debe mantener la escala del detalle por analizar: escala general (1:100.000).



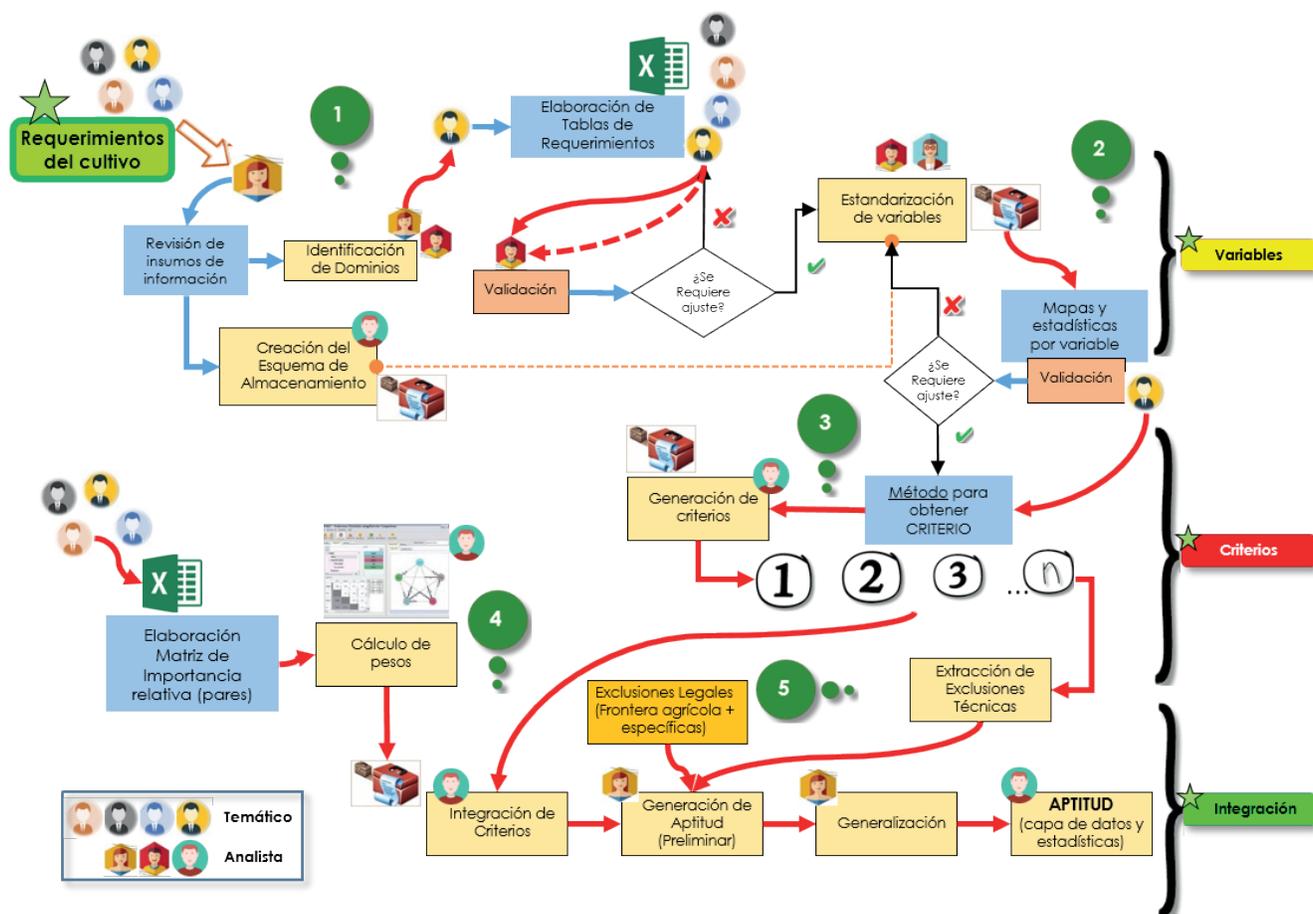
Tabla 5.3. Ejemplo de matriz de paso

Matriz de paso				
	Socioeconómico			
Biofísico		A1	A2	A3
	A1	A1	A1	A2
	A2	A2	A2	A3
	A3	A3	A3	A3

5.2. Flujo de procesos de análisis para la evaluación de tierras

El proceso de análisis se basa en el principio de trabajo conjunto y coordinado entre los expertos temáticos y los analistas. El flujo presenta dos grandes bloques: el de la obtención de insumos de información para adelantar el proceso de evaluación de aptitud y el procesamiento de datos; este último comprende i) la estandarización de las variables, ii) la integración de los criterios y la resta de las exclusiones legales (las definidas en frontera agrícola y las particulares para cada evaluación) y iii) la generación del mapa de aptitud del TUT (figura 5.4).

Figura 5.4. Flujo del proceso de análisis para la evaluación de tierras



5.2.1. Insumos de información

Esta parte del proceso (numeral 1, figura 5.4) toma como base el listado de variables y criterios que han elaborado los expertos en cada temática particular. El primer paso es la elaboración de las tablas de requerimientos por cada variable, que se traduce en la lista de datos

necesarios para obtener el mapa de aptitud. Los datos para este ejercicio provienen de fuentes oficiales y, aunque se realizan procesos para adecuarlos, se debe garantizar la integridad de los mismos.

Desde el punto de vista de las variables, la adecuación de los datos comprende 3 casos:

a. Cuando se trata de variables con datos a nivel municipal, se debe implementar el estándar de codificación definida por el DANE (código alfanumérico de 5 caracteres). Con esto, se garantiza la consistencia al unir los valores de los atributos con las unidades espaciales (municipios).

b. Para garantizar la completitud de los datos a nivel municipal, se debe evaluar la presencia de nulos y ceros, en el entendido de que nulo es diferente de cero. Los nulos representan un estado que indica que un determinado valor es ausente, inexistente, vacío o desconocido, por su parte cero (0), hace referencia a la ausencia de cantidad.

El método para tratar los valores faltantes (nulos) es el de la imputación directa, de forma que donde existan nulos en variables que afectan positivamente la aptitud (existencia de cultivos, población en edad de trabajar, créditos otorgados, entre otras) se asigna aptitud baja (A3), y si se trata de variables que afectan de forma negativa (por ejemplo, cantidad de homicidios, eventos de extorsión y presencia de minas antipersonales) se establece aptitud alta (A1).

c. Para el caso de unidades cartográficas de suelos que presenten valores nulos en sus características físicas o químicas, la forma de imputar los datos faltantes es recurrir al estudio general de suelos para obtener su valor.

También debe hacerse la adecuación de los datos desde el punto de vista espacial, para esto se siguen estas pautas:

a. Verificar que los datos cumplan con el estándar del marco de referencia para Colombia (Magna-Sirgas).

b. Hacer la respectiva proyección para garantizar que todos los datos se trabajen en el Marco Geocéntrico Nacional de Referencia (Magna) para Colombia (coordenadas planas, origen Bogotá, elipsoide WGS 84).

c. Si la capa es ráster, verificar que la resolución espacial es de 30 metros o menos (de ser menor de 30, se debe remuestrear para garantizar tamaño de píxel de 30 metros).

d. Si las capas son vectoriales, se debe verificar que los objetos estén individualizados y que no estén duplicados.



Es importante recordar la presencia de datos nulos, los cuales indican que un determinado valor es ausente, inexistente, vacío o desconocido, por lo que se dejan en blanco, como municipios o zonas sin información.

En general se deben implementar las buenas prácticas descritas en el sitio: https://github.com/UPRAAnalisis/Buenas_Practicas_de_Geoprocesamiento

5.2.1.1. Trabajo con tablas de requerimientos

Como se muestra en el flujo (figura 5.4), a partir de los datos fuente se extraen los dominios para que los expertos construyan las tablas de requerimientos con base en los valores reales almacenados en las variables. Las tablas son el insumo para dar inicio a la clasificación de aptitud de las variables, y se debe verificar que estén diligenciadas de forma consistente; esto es, garantizar que los rangos no se superpongan, pero que tampoco queden valores sin cubrir. Todas las tablas deben poseer calificaciones de aptitud alta, media y baja, sin que esto signifique que deben estar las 3 categorías. Si la variable tiene restricciones técnicas, estas deben estar identificadas con N1; un caso particular de restricción técnica son las unidades cartográficas de suelos descritas como no suelo.

Con este procedimiento, se garantiza que todas las unidades espaciales tienen un grado de aptitud A1, A2, A3 y N1. Las restricciones técnicas solo están permitidas en variables del componente físico y del socioecosistémico, en las variables del componente socioeconómico no existe la categoría de restricción técnica.

Para variables continuas, se debe precisar si el intervalo es abierto o cerrado, o indicar el límite superior de cada clase para evitar interpretaciones que induzcan a errores en la clasificación del grado de aptitud, o que se dejen valores sin clasificar (tabla 5.4).

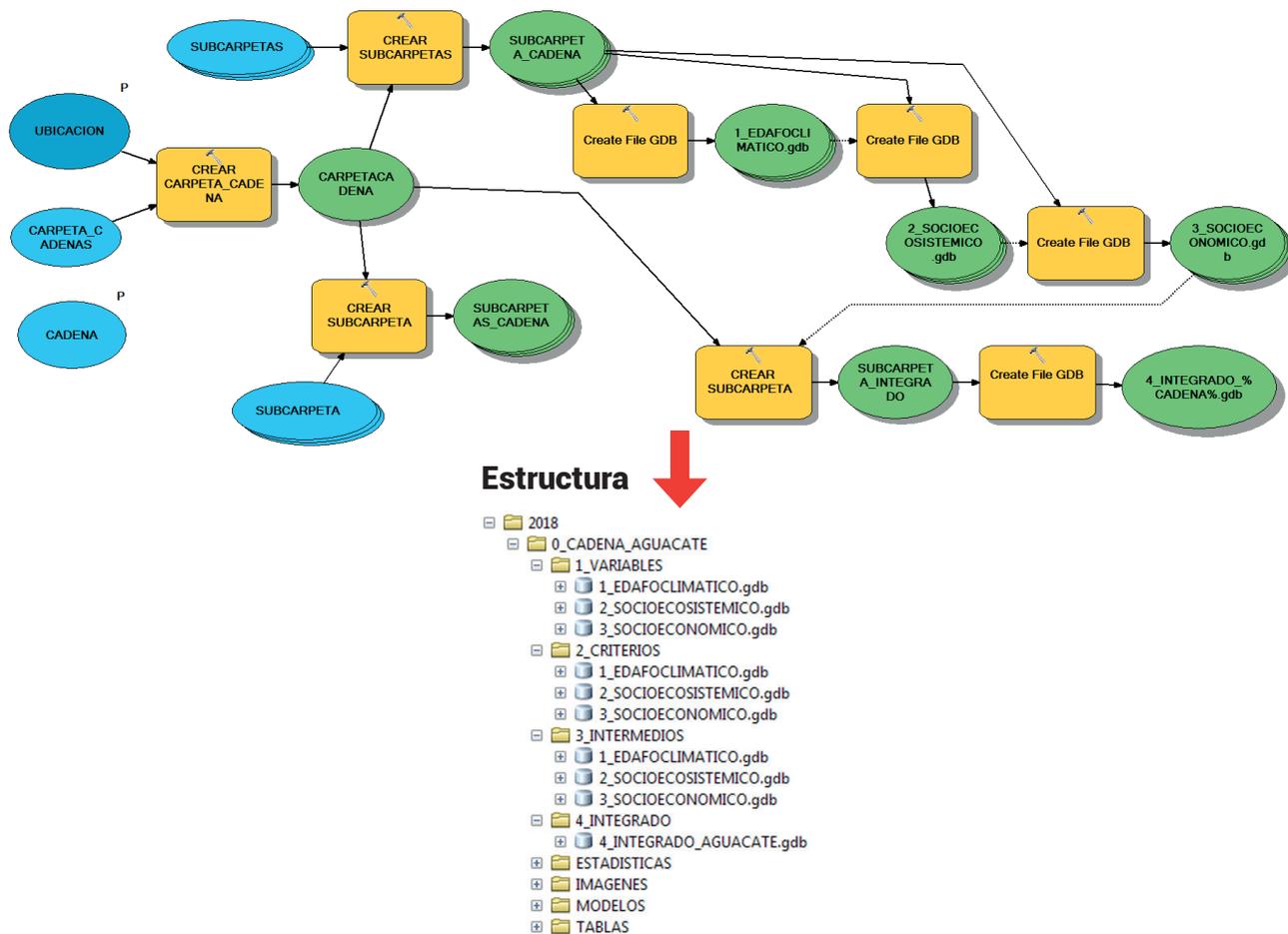
Tabla 5.4. Tabla de requerimientos diligenciada

CULTIVO	LECHUGA	APTITUD				Observación
		Variables	A1	A2	A3	
Condiciones de enraizamiento	Profundidad del suelo (cm)	>50.1	25.01 - 50	<25	-	Límites superiores: 25.50
	Pedregosidad (%)	No hay	No hay	Si hay	Si hay	
	Textura	FA, FAr, F	FARa, FARL, AF, FL	A, Ar, ArA	-	
Conservación de suelos	Erosión actual	Sin erosión	Ligera	Moderado	Severa y muy severa	
	Pendiente (%)	0 - 7	7 - 12	12 - 25	>25	
Toxicidad suelos	Sanidad (conductividad eléctrica dS/m)	0 - 2	2,1 - 4	4,1 - 8	>8,1	Límites superiores: 2, 4, 8
	Saturación de aluminio (%)	0 - 14.9	15 - 29,9	30 - 59,9	>60	Límites superiores: 14,9, 29,9, 59,9
Disponibilidad de nutrientes	pH - Acidez	5,5 - 6,5	6,5 - 7	4,5 - 5,5	<4,5 y >7,1	Límites superiores: 5,5, 6,5, 7
	%SB	>60	40 - 60	20 - 40	<20	Límites superiores: 20, 40, 60
	CIC (cmol/km de suelo)	>20	10 - 20	5 - 10	>5	Límites superiores: 10, 20
	M.O (%C.O)	>5	3 - 5	1 - 3	<1	Límites superiores: 3, 5
H2O Disponible	Régimen de humedad del suelo	Údico	Ústico	Ústico y Ácuico	Ácuico, Údico, y Ácuico	
	Número meses secos al año	<1	1 - 2	2 - 3	>3	Límites superiores: 1, 2, 3
Clima	Altitud (msnm)	2000 - 2500	1800 - 2000	2500 - 3000	<1800 ; >3000	Límites superiores: 2000, 2500, 3000
	Temperatura °C)	15 - 18	18 - 20	15 - 10	>20 ; <10	Límites superiores: 15, 18, 20
	Precipitación (mm/año)	800 - 1000	650 - 800	1000 - 1500	<650 ; >1500	Límites superiores: 800, 1000, 1500
	Brillo Solar (h/día)	5 - 6	4 - 5	3 - 4	2 - 3	Límites superiores: 3, 4, 5
	Humedad relativa (%)	75 - 80	80 - 85	85 - 90	>90	Límites superiores: 80, 85, 90

5.2.1.2. Creación del esquema de almacenamiento

Para organizar el proceso de análisis, se ha construido un modelo de procesos que genera una estructura de almacenamiento que corresponde a la propuesta jerárquica de la metodología: variables y criterios para cada componente (figura 5.5). Este esquema no solo permite la organización, sino que facilita el respaldo y la versión, además del intercambio de información. Se trata de un esquema replicable, y se puede adecuar a las necesidades de la organización donde se desarrollen proyectos de evaluación de tierras. El modelo se puede descargar desde: <https://github.com/UPRAAnalisis/Modelos-de-Geoprocesamiento>

Figura 5.5. Geoproceso para crear el esquema de almacenamiento



5.2.2. Procesamiento de datos

Este bloque del flujo del proceso de análisis (numeral 3, 4 y 5, figura 5.4) prepara las variables para agruparlas en criterios. La primera tarea es la estandarización en una escala de valores numéricos 0, 1, 2 y 3, lo que se traduce en mapas de variables (ráster y vectoriales) que contienen una columna numérica donde se almacena la calificación de aptitud. Luego viene la definición del método para lograr conformar el criterio, una vez se tienen todos los criterios, según sea el caso, se deben pasar a ráster, este es un requisito de la suma ponderada, otra exigencia es contar con los pesos respectivos. Con este proceso se obtiene un mapa de aptitud inicial, el cual se modifica con la capa de exclusiones técnicas (valores 0). Adicionalmente, se le restan las exclusiones legales y el mapa resultado se somete a un proceso de generalización para, finalmente, generar el mapa de aptitud.

Todo el procesamiento de datos está documentado con geoprocetos (modelos tipo) que se han dispuesto en un espacio al que se accede con el siguiente vínculo: <https://UPRAanalisis.github.io/>. Dichos modelos se pueden descargar y adecuarse para un cultivo específico.

5.2.2.1. Trabajo con variables

Estandarización: Las variables se encuentran en diferentes unidades, por lo que requieren un proceso de estandarización que las convierta en uniformes y adimensionales. Para hacer la estandarización se toman las tablas de requerimientos trabajadas en la sección de adecuación de datos, donde se han asignado categorías de aptitud (A1, A2, A3 y N). Para hacer operativa esta parte del flujo, se disponen los modelos dentro de la estructura de almacenamiento y se adecuan dependiendo de los requerimientos del TUT.

Adicionalmente, y dentro de los mismos modelos, se adecuan las variables para que contengan un campo de aptitud con valores numéricos, 0, 1, 2 y 3, donde 0 es exclusión técnica (N1); 1, aptitud baja (A3); 2, media (A2), y 3, alta (A1), esto con el propósito de que se puedan realizar operaciones posteriores. Un producto intermedio en esta parte del proceso es la representación espacial de la variable y la generación de las estadísticas para la validación por parte de expertos en cada temática.

Adecuación de variables: Algunas variables requieren de un procesamiento previo a la estandarización. En este grupo se encuentran variables que expresan el concepto de cercanía, las que involucran el tema de conectividad (terrestre y estructural de las coberturas naturales), y las que hacen referencia a probabilidad de ocurrencia o presencia, por mencionar algunas (tabla 5.5).

Tabla 5.5. Variables que requieren preprocesamiento

Componente	Variable	Método	Herramienta
Socioecosistémico	Riesgo epidemiológico por enfermedades de control oficial no vectoriales.	Cercanía de la presencia de casos reportados por la entidad de control de enfermedades no vectoriales (aftosa, estomatitis y tuberculosis). Tiempo de desplazamiento.	(ArcGis) <i>Spatial Analyst Distance Cost Distance</i>
	Susceptibilidad por contagio de rabia y hemoparásitos.	Probabilidad de ocurrencia al contagio de rabia a partir de casos reportados de rabia por la entidad de control.	Maxent
	Diversidad de gramíneas.	Probabilidad de presencia de especies invasoras a partir de reportes de presencia de diferentes especies de gramíneas consideradas como invasoras.	Maxent

Componente	Variable	Método	Herramienta
Socioecosistémico	Emisiones de CO ₂	Ponderación por UPA de emisiones de carbono (t) a través de datos municipales.	(ArcGis)
	Conectividad estructural de las coberturas naturales.	Costos de resistencia. Muestra la facilidad de desplazarse (fauna, plantas) sobre una matriz de coberturas intervenidas.	(ArcGis) <i>Spatial Analyst Distance Cost Distance (Saga)</i> <i>Fragmentation Standard</i>
Físico	Índice de disponibilidad de humedad (IDH).	Calcula la relación entre la precipitación media y la evapotranspiración media mes a mes. Interpolación (IDW).	(Arcgis) <i>Geostatistical Analyst Interpolation IDW</i>
Socioeconómico	Cercanía a centros petroleros.	Cercanía a cada uno de los sitios de interés (centro petrolero, explotación minera, puntos de servicio, puertos, entre otros), teniendo en cuenta una superficie de fricción o de costo. Tiempo de desplazamiento.	(ArcGis) <i>Spatial Analyst Distance Cost Distance</i>
	Cercanía a explotaciones mineras.		
	Cercanía a puntos de servicio al ganadero.		
	Cercanía a puertos marítimos.		
	Cercanía a centros de servicios.		
	Cercanía a centros de servicios.		
	Conectividad terrestre y fluvial.		(ArcGis) <i>Select By Location</i> <i>Touch the boundary</i>

Para las variables de cercanía, se analiza la accesibilidad desde lo temporal, es decir, como una función del «tiempo» que se emplea para acceder a determinados lugares. Se trata de un mapa de tiempos de desplazamiento que se calcula con base en dos elementos: i) una superficie de fricción (mapa ráster que involucra los diferentes tipos de infraestructura de transporte: carreteras, autopistas 4G y tramos fluviales navegables) y ii) una capa de datos de los sitios de interés (ciudades capitales, centro petrolero, explotación minera, puntos de servicio, puertos, entre otros). Respecto a los nodos (origen), para algunas variables no se cuenta con la localización exacta, sino con la referencia del municipio donde se encuentran ubicados; para estos casos, la modelización se realiza asumiendo las cabeceras municipales como nodos, lo cual puede provocar algunas imprecisiones en el análisis.

La construcción de la superficie de fricción requiere determinar el valor de cada celda (pixel), es decir, la impedancia o costo que supone cruzarla. Para esto se tienen en cuenta diferentes características del territorio, la red vial (actual y los tramos concesionados para vías 4G) como elemento fundamental, ríos (sus tramos navegables), el tipo de

cobertura de la tierra (asumiendo que no todo el desplazamiento se realiza a través de las vías) y la pendiente como factor que afecta la velocidad.

De esta forma, se tienen dos mapas más de velocidades, uno para la red de transporte y otro para las coberturas, el siguiente paso es conformar un mapa de velocidades. La velocidad de viaje asignada a cada celda es diferenciada teniendo en cuenta el tipo de superficie de la vía y los límites de velocidad para transporte de carga establecidos en la Resolución 1384 de 2010 del Ministerio de Transporte. Este es un mapa que muestra los menores costos para las vías con mejores especificaciones y los mayores para coberturas como bosques y superficies de agua (a estos se ha asignado un valor 1.000 veces mayor que al de una vía, para indicar que su impedancia máxima es casi inaccesible), este mapa de costos se transforma para expresarlo en términos de tiempo (segundos) requerido para cruzar una unidad lineal en el territorio. El valor estimado para cada celda es posteriormente modificado mediante un coeficiente determinado por la pendiente del terreno (a mayor pendiente menor velocidad y viceversa). Con este procedimiento se obtiene el mapa de costos en minutos desde cada nodo de origen a su destino más próximo, luego se procede a reclasificar en las unidades de tiempo pertinentes para la calificación de la variable, dependiendo de la cadena productiva que se está trabajando.

Respecto a los nodos o sitios de interés, para algunas variables no se cuenta con la localización exacta, sino con la referencia del municipio donde se encuentran ubicados. Para estos casos, la modelización se realiza asumiendo las cabeceras municipales como nodos, lo cual puede provocar algunas imprecisiones en el análisis.

En la metodología de la variable conectividad estructural de las coberturas naturales, que conforma el criterio de integridad ecológica, se realiza un análisis de costos a partir de 2 elementos: uno referido a la construcción de un mapa de la resistencia (dificultad, fricción o impedimento) que ofrece cada una de las coberturas al desplazamiento de elementos naturales (fauna, flora), según la clasificación del nivel de artificialidad; y otro que hace las veces de fuente o fragmentos de interés, denominado áreas núcleo, las cuales se generan mediante la función *fragmentation standard* aplicada a las coberturas consideradas como naturales. Una vez se tienen los 2 elementos, se procede a generar el mapa de costos de resistencia, el cual muestra la facilidad que da el ambiente para el desplazamiento sobre una matriz de coberturas intervenidas.

Este mapa resultado se reclasifica teniendo en cuenta asignar A3 (aptitud baja) a las áreas menos intervenidas, A2 (aptitud media) a las áreas cercanas a las menos intervenidas, y A1 (aptitud alta) a las



más alejadas de las áreas núcleo y que presentan mayor transformación. Esta reclasificación en grados de aptitud varía dependiendo de la cadena productiva.

Para la variable conectividad terrestre y fluvial, el objetivo es conformar zonas de conectividad que puedan ser categorizadas en términos de aptitud. Se toman como base 2 capas: la de la infraestructura de transporte y los predios. El primer paso es seleccionar los predios conexos a las vías V1, V2 y V3 (vías transitables todo el año) y los predios vecinos de estos, la zona conformada por este grupo se califica con A1 (aptitud alta); un segundo grupo de predios son los conectados a vías V4, V5 y tramos fluviales navegables, y sus vecinos, a esta zona se le asigna aptitud A2 (aptitud media), el resto del territorio tiene aptitud A3 (aptitud baja).

La variable índice de disponibilidad de humedad (IDH) se define como una relación de la precipitación media y la evapotranspiración media mes a mes. A los meses en los cuales la precipitación es mayor a la evapotranspiración se les asigna el valor de 1, para luego sacar un promedio anual con los IDH calculados cada mes. El valor anual es llevado a una capa de puntos e interpolado para ser usado como insumo, esta capa ráster se reclasifica con A1 (aptitud alta) para los valores próximos a 1 y N1 (exclusión técnica) para los valores próximos a 0; las demás categorías de aptitud se definen de acuerdo con los puntos de corte establecidos para el TUT evaluado.

5.2.2.2. Trabajo con criterios

Una vez las variables están estandarizadas se procede a construir los criterios a través de diferentes métodos, como se mostró en el acápite 5.1 de este documento. Al final, el resultado obtenido es una serie de capas ráster que representan los criterios, con una escala de medición común para todos que permite combinarlos para la evaluación de aptitud. Con este propósito, los criterios deben estandarizarse en una escala de calificación de aptitud uniforme mediante la transformación o reescala de los datos a valores numéricos 0, 1, 2 y 3. Además, se ha de garantizar una resolución espacial de 30 m x 30 m, y extensión y proyección uniformes.

Los criterios de los componentes físico y socioecosistémico para el análisis de aptitud pueden contener calificación de aptitud cero (0) para indicar que se deben excluir áreas geográficas específicas por exclusiones técnicas. Este tipo de información se hereda de las variables y se evidencia en los criterios, como ejemplo se pueden citar: condiciones climáticas (exclusiones en las variables índice de disponibilidad de humedad, temperatura y brillo solar), capacidad de laboreo (exclusiones provenientes de las variables pendiente, textura y pedregosidad), integridad ecológica (exclusiones en conectividad es-

tructural de las coberturas, índice de naturalidad, áreas de concentración de especies sensibles y distribución potencial de germoplasma).

Integración de criterios

Para empezar, se debe verificar la estandarización de los criterios, los cuales deben cumplir las siguientes reglas:

- Tener valores entre 0 y 3.
- Tener tamaño de pixel equivalente a 30 m × 30 m.
- Cubrir el área continental e insular (32 departamentos), cuando el análisis es de alcance nacional.

A excepción de los del componente socioeconómico, los criterios pueden tener valores de 0, lo que indica exclusiones de tipo técnico. Con el propósito de obtener el mapa de aptitud, se integran las capas de los criterios con sus respectivos pesos, mediante el uso de la función suma ponderada:

Donde A , B y C representan los criterios y W_a , W_b y W_c el peso del criterio que se determina mediante el método AHP.

La forma de integrar los criterios parte de reagruparlos por componentes (figura 5.5), un grupo conformado por los físicos y socioecosistémicos, denominado *componente biofísico*, y otro para los socioeconómicos, esto requiere:

- Integrar los criterios de los componentes físico y socioecosistémico mediante una suma ponderada, para esto se debe hacer la matriz de comparación por pares y obtener los pesos para cada criterio (AHP).
- Integrar los criterios del componente socioeconómico e implementar el AHP.
- Integrar los mapas resultantes de los 2 pasos anteriores, esto requiere la elaboración de un árbol de decisión.

Obtener los pesos para los criterios

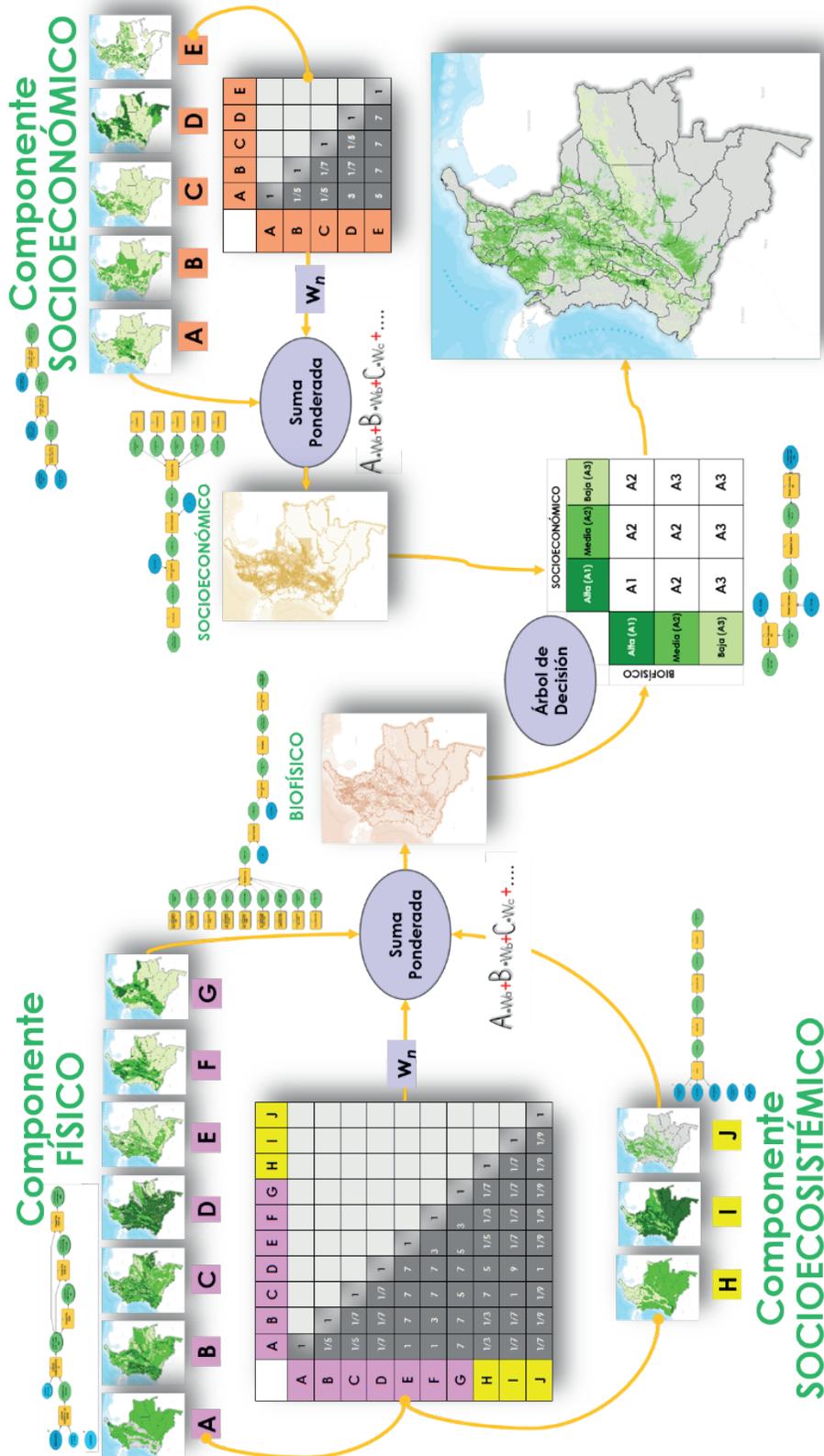
El primer paso para obtener los pesos es la elaboración de la matriz de importancia relativa (comparación por pares), que es una matriz recíproca cuadrada ($n \times n$ criterios). Para construirla se usa una escala numérica del 1 al 9, de esta forma se plasma la importancia relativa de los criterios expresada por un grupo de expertos. Las preferencias o importancia relativa (expresiones lingüísticas) se evalúan con preguntas como ¿qué tan importante es el criterio A en relación con el criterio B? La respuesta a este cuestionamiento se traduce en

un puntaje de 1 (igual importancia entre A y B) a 9 (donde A es extremadamente más importante que B). Por tratarse de una matriz recíproca, cuando el criterio A se compara con el criterio B se asigna un número, por ejemplo 3; entonces, el criterio B comparado con A se convierte en su recíproco es decir 1/3. El valor de 1 está limitado para la diagonal de la matriz o para indicar que los criterios comparados tienen la misma importancia.

Con base en la matriz diligenciada, se procede al cálculo de pesos, esto se hace implementando dicha matriz en el *software PriEst*. Un aspecto importante de este método es que pueden surgir algunas inconsistencias después de un cierto número de comparaciones por pares, sin embargo, el AHP incluye parámetros para controlar la consistencia de los valores de ponderación, al solucionar la matriz de comparación se puede visualizar y revisar el nivel de consistencia con base en 4 medidas: la relación de consistencia (RC), la medida de consistencia (MC), la congruencia y la disonancia. Dichas medidas muestran la contribución de los juicios individuales a la consistencia general de la matriz de comparación por pares.

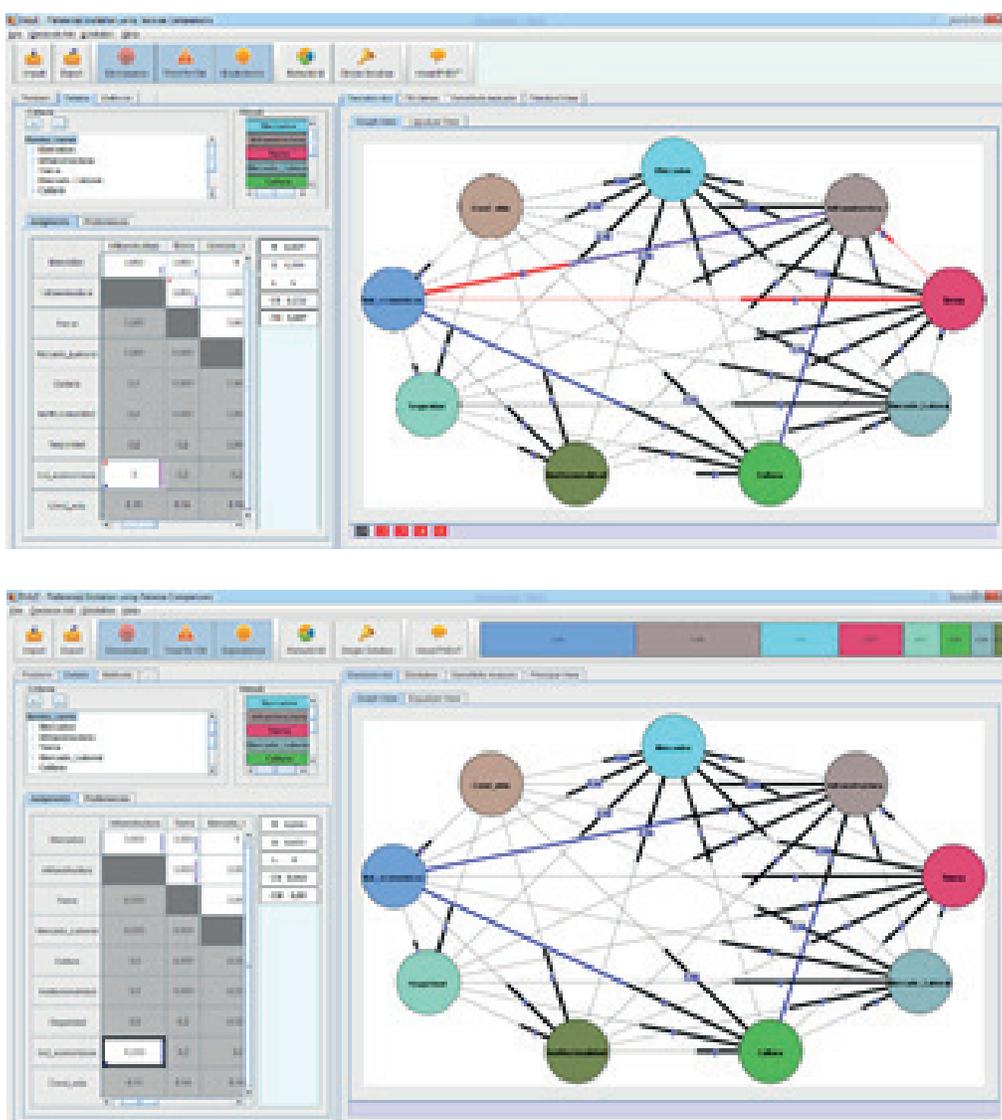


Figura 5.6. Integración de los criterios



En el ejemplo de la figura 5.6 se comparan 9 criterios socioeconómicos, allí se muestra el nivel de inconsistencia para los juicios proporcionados por los expertos ($RC = 0,232$). Las medidas de congruencia y disonancia se muestran como gráficos de barras, esto resulta particularmente útil para visualizar la inconsistencia en los juicios proporcionados por los expertos, pero además permite focalizar los ajustes. La mayor disonancia se presenta en la comparación, pero, además, la RC es superior a 0,1; esto indica que se debe revisar este y los demás juicios que muestren congruencia y disonancia significativos, para mejorar la consistencia general de la matriz.

Figura 5.7. Matriz de importancia relativa implementada



⁴ Ver el modelo Union_Criterios_Fisico_Ecosistem, en la carpeta de modelos tipo dispuesta en <https://github.com/UPRAAnalis/Modelos-de-Geoprocesamiento>.

Para cambiar los valores, se pueden usar los sugeridos por los expertos o los provenientes de métodos como los propuestos por Siraj (2011) para reducir la inconsistencia utilizando un enfoque automatizado. En la parte derecha de la figura 5.7 se muestra el cambio con el valor sugerido que pasa de 3 a 0,333 ($1/3$); con este ajuste, la relación consistencia pasa de 0,232 a 0,092, lo que significa que el resultado de la comparación por pares es aceptable y los valores de ponderación asignados a cada criterio (parte superior derecha) son consistentes y apropiados.

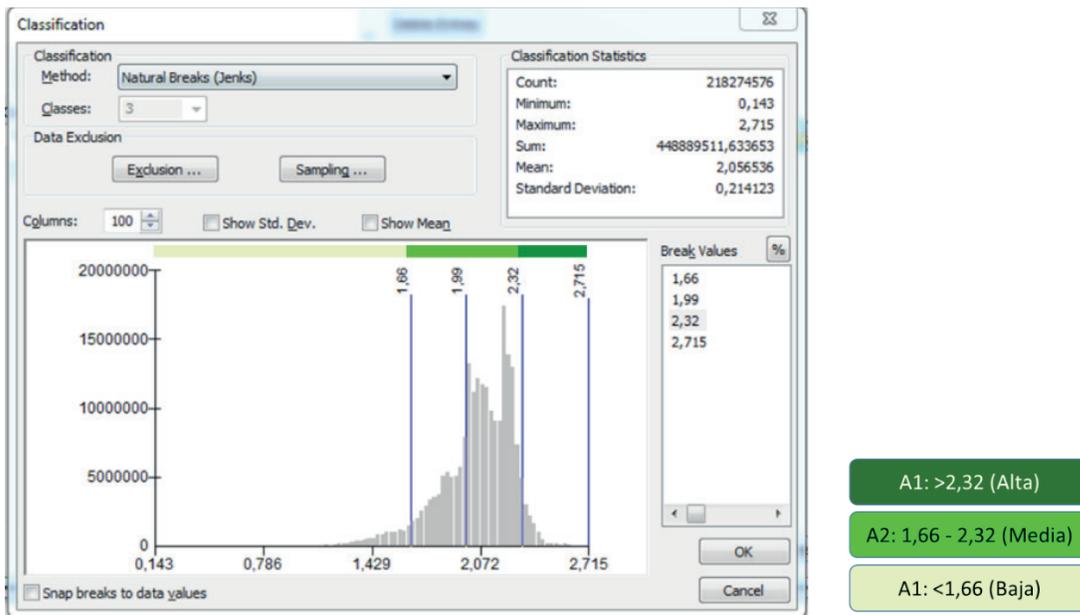
Con los pesos calculados, se procede a ejecutar la función suma ponderada. Se seleccionan los mapas ráster correspondientes a cada factor de evaluación, se digita el peso asignado a cada uno de ellos, verificando que la suma de los pesos de los factores sea igual a 1.⁴ El proceso de análisis para la integración de los criterios socioeconómicos es exactamente igual al descrito anteriormente. Un paso adicional sobre el mapa físico-socioecosistémico consiste en restar las exclusiones técnicas que provienen de la integración de las exclusiones de los criterios que poseen valores de 0 (N1).

Al final, tenemos 2 capas ráster: una con valores numéricos continuos entre 0 y 3 para físico-socioecosistémico (biofísico), y otro con valores entre 1 y 3 para socioeconómico.

Estos mapas integrados se clasifican en 3 clases (aptitud alta, media y baja) mediante el uso del método *natural breaks* (de Jenks), una clasificación donde los límites superiores de cada clase se determinan para garantizar el agrupamiento de valores similares (minimizar la variación estadística) dentro de cada clase y maximizar las diferencias entre clases (figura 5.8); además, con dicho método se asegura que existan datos en las 3 clases.



Figura 5.8. Histograma clasificación *natural breaks*



5.3. Generación del mapa de aptitud

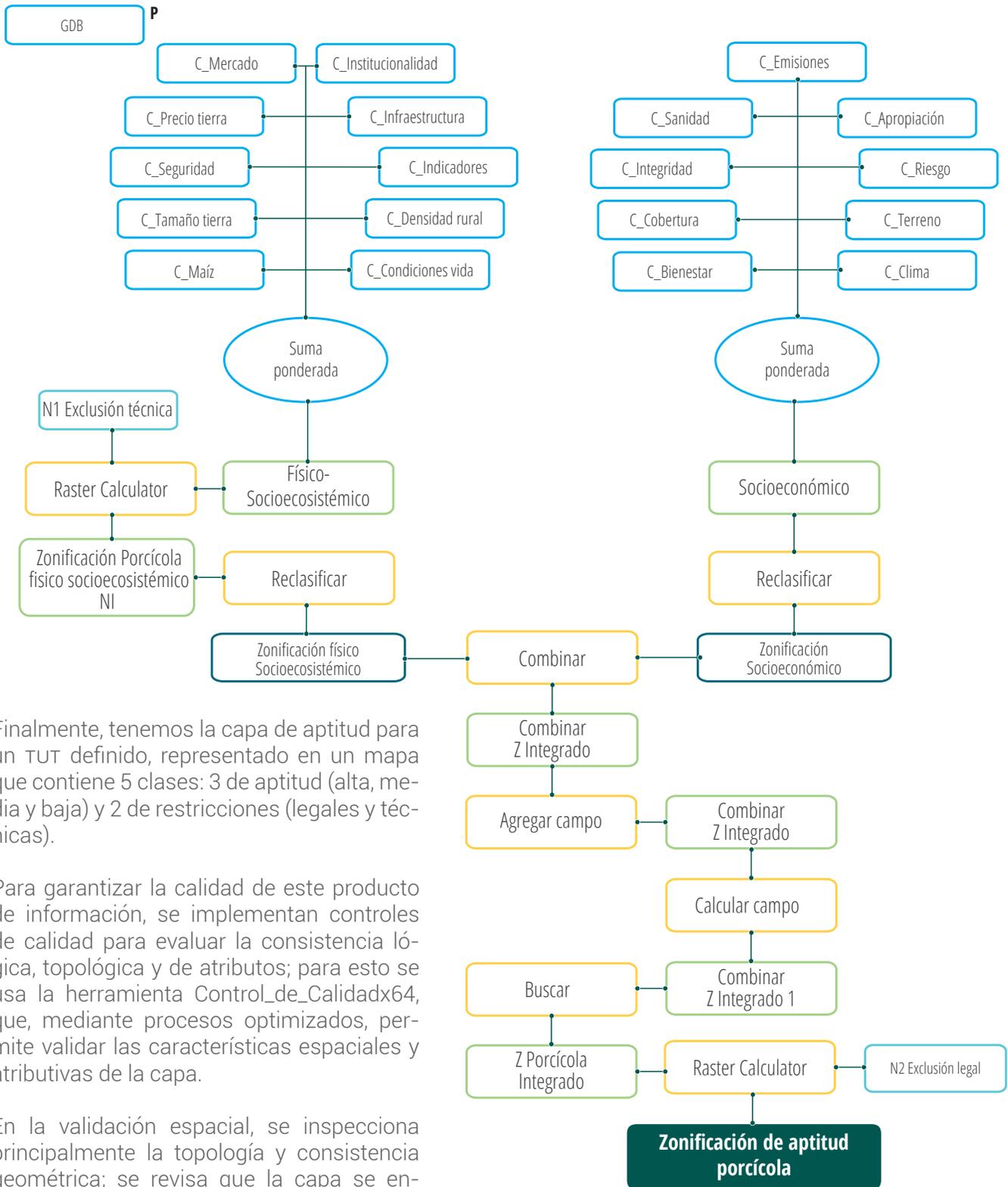
El mapa preliminar de aptitud integrada resulta de combinar los mapas físico-socioecosistémico (biofísico) y el socioeconómico, generados en el ítem anterior, y reclasificar su interrogación con el método de árbol de decisión (figura 5.9).

Para obtener el resultado final, se deben integrar las exclusiones legales (las definidas para frontera agrícola y las propias del TUT) como una capa máscara que ignora cualquier valor de aptitud sobre el que se superponga. Estas áreas entran al mapa con valor de 8 (N2), es decir que esta capa de aptitud posee valores de 0 (exclusión técnica), 1 (aptitud baja), 2 (aptitud media), 3 (aptitud alta) y 8 (exclusión legal).

Un elemento a considerar es la generalización del mapa de aptitud (figura 5.10), con funciones para datos ráster que permitan eliminar pixeles aislados (*region group, nibble, majorite filter*), pero garantizar que se mantengan las exclusiones legales.

Cualquier mapa de aptitud debe circunscribirse a la frontera agrícola, por lo que el último paso para obtener el resultado final es el proceso de análisis de exclusiones. Este consiste en extraer las áreas aptas que están dentro de frontera y realizar un proceso de generalización para datos vector que garantice áreas mayores a 25 hectáreas (estándar de unidad mínima cartografiable para escala 1:100.000). Por último, se vuelven a incluir las exclusiones legales de frontera agrícola garantizando su consistencia (área y forma).

Figura 5.9. Modelo para la generación del mapa de aptitud



Finalmente, tenemos la capa de aptitud para un TUT definido, representado en un mapa que contiene 5 clases: 3 de aptitud (alta, media y baja) y 2 de restricciones (legales y técnicas).

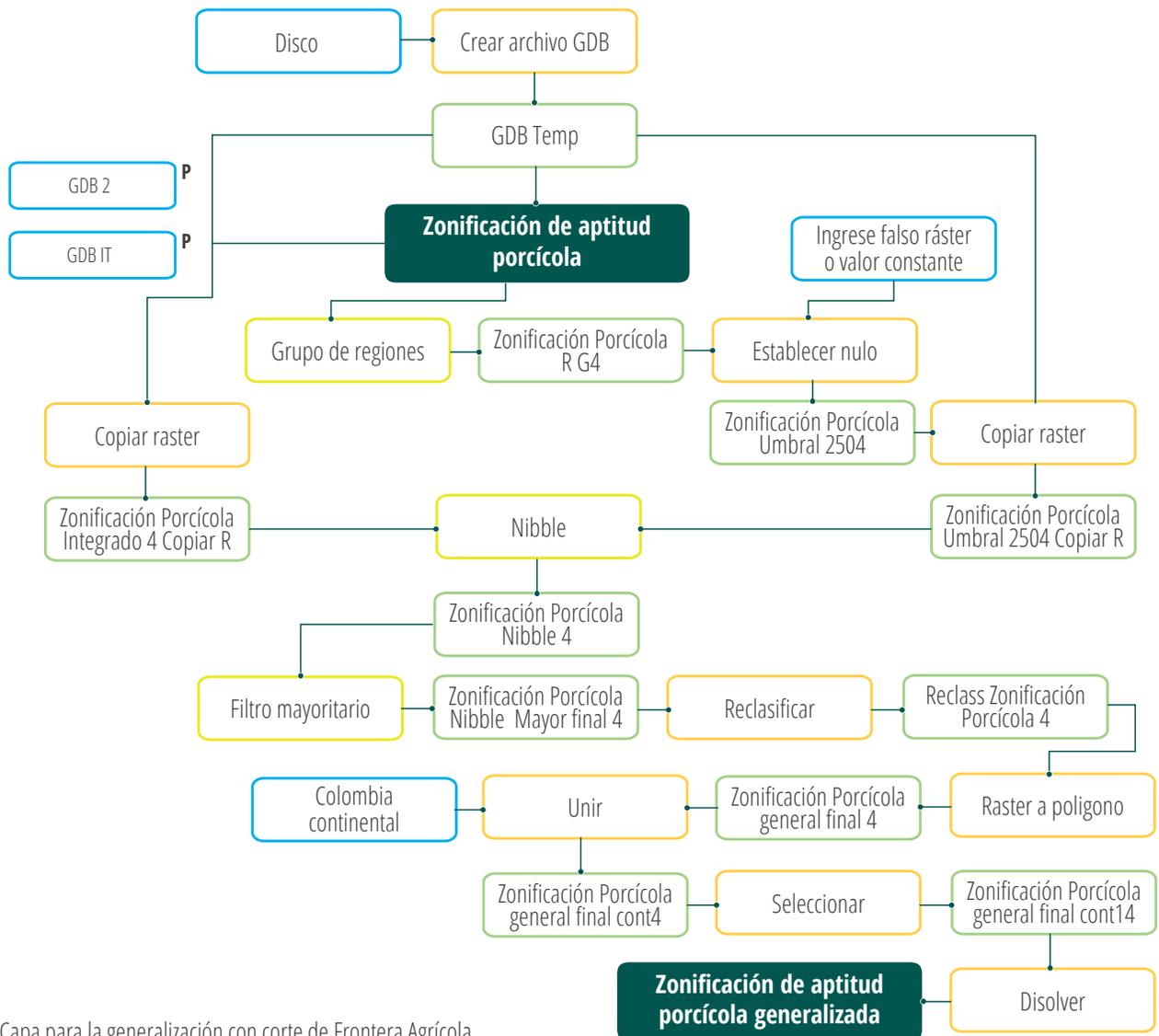
Para garantizar la calidad de este producto de información, se implementan controles de calidad para evaluar la consistencia lógica, topológica y de atributos; para esto se usa la herramienta Control_de_Calidadx64, que, mediante procesos optimizados, permite validar las características espaciales y atributivas de la capa.

En la validación espacial, se inspecciona principalmente la topología y consistencia geométrica; se revisa que la capa se encuentre en el sistema de referencia 3116

(MAGNA_Colombia_Bogota). Si es a nivel nacional, que tenga un identificador único, que no presente entidades espaciales agrupadas, polígonos con un área inferior a 25 ha, polígonos con geometrías Z y M.

Respecto a lo atributivo, se valida el nombre de la capa, el nombre de los campos y los valores de los campos. El nombre de la capa no puede contener tildes ni caracteres especiales y un máximo de 30 caracteres, de igual forma, el nombre de los campos no puede tener más de 16 caracteres, no puede llevar tildes, caracteres especiales, mayúsculas ni espacios, y para los valores de los campos se revisa que no presenten valores nulos ni caracteres especiales. La última validación consiste en revisar que el área total y la extensión espacial de la capa final sean correctas.

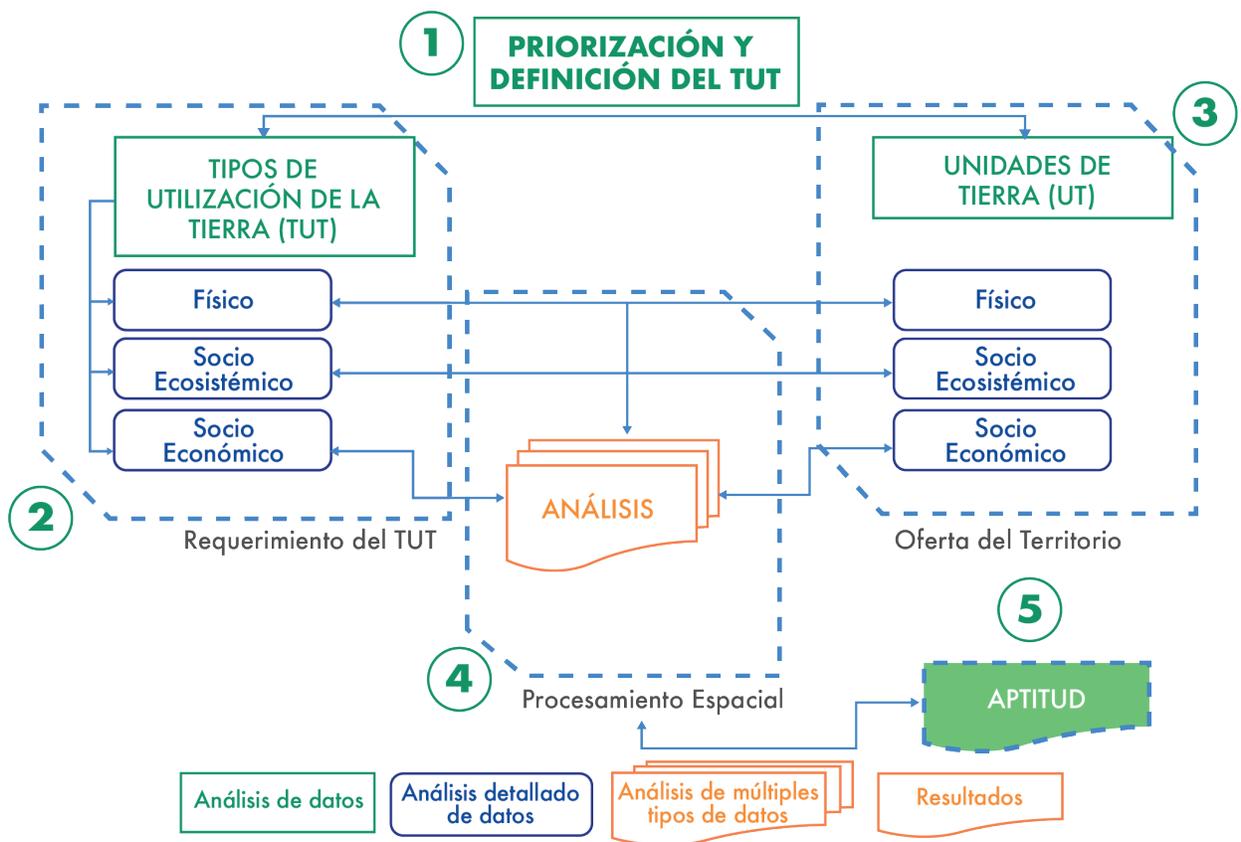
Figura 5.10. Modelo para generalización



Capa para la generalización con corte de Frontera Agrícola

6

Resultados en la evaluación de tierras



El resultado final de acuerdo con los lineamientos de los capítulos anteriores descritos, corresponde al mapa integrado (físico, socioecosistémico y socioeconómico) de aptitud final del TUT evaluado, los resultados de la evaluación se dividen en dos partes:

1. Documento técnico que, como contenido mínimo contiene la descripción de las priorizaciones, si es a nivel territorial, o el análisis del sector, si es a nivel nacional; un resumen de la metodología realizada y, como resultado, las fichas descriptivas del TUT (numeral 6.1).
2. Las capas vectoriales de aptitud del TUT, que, de acuerdo con las evaluaciones de tierras que ha realizado la UPRA o acompañado técnicamente, se encuentran disponibles para consulta y descarga en el portal <https://sipra.UPRA.gov.co>.

6.1. Fichas descriptivas

Los resultados de la evaluación de tierras para un TUT determinado se describen en un formato de fichas, las cuales se detallan dependiendo del alcance: si son de escala nacional, generalmente, en el TUT por evaluar se profundizan todos sus aspectos en función de la cadena productiva (capítulo 2); por lo tanto, las fichas se describen individualmente partiendo desde la variable, criterio y, por último, el resultado final: la aptitud con sus rangos resumen de evaluación. Si son de escala territorial, generalmente, el alcance se describe con un enfoque local, con resultados a partir de variables, criterio y el resultado final de la aptitud con sus rangos resumen de evaluación (figuras 6.1 a la 6.6).

De acuerdo con lo anterior, las fichas se ordenan de la siguiente forma:

- **Ficha Aptitud Integrada**
 - o **Ficha del componente biofísico**
 - ▶ **Ficha descriptora de criterio 1**
 - Ficha descriptora de variable 1
 - Ficha descriptora de variable 2
 - Ficha descriptora de variable n
 - ▶ **Ficha descriptora de criterio 2**
 - Ficha descriptora de variable 1
 - Ficha descriptora de variable 2
 - Ficha descriptora de variable n
 - ▶ **Ficha descriptora de criterio n**
 - Ficha descriptora de variable 1
 - Ficha descriptora de variable 2

- Ficha descriptora de variable n
- o Ficha del componente socioeconómico
 - ▶ Ficha descriptora de criterio 1
 - Ficha descriptora de variable 1
 - Ficha descriptora de variable 2
 - Ficha descriptora de variable n
 - ▶ Ficha descriptora de criterio 2
 - Ficha descriptora de variable 1
 - Ficha descriptora de variable 2
 - Ficha descriptora de variable n
 - ▶ Ficha descriptora de criterio n
 - Ficha descriptora de variable 1
 - Ficha descriptora de variable 2
 - Ficha descriptora de variable n

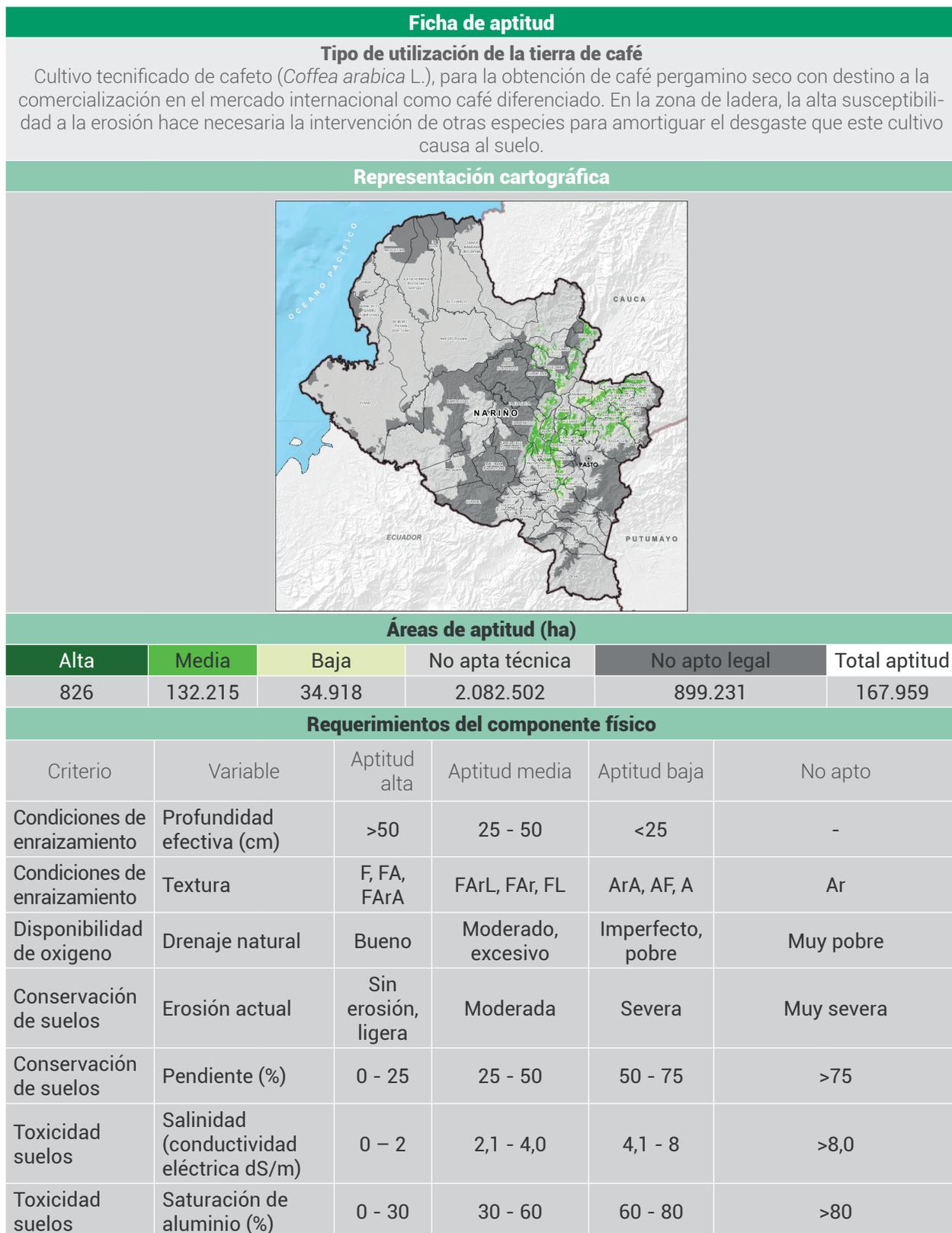
A continuación, se hacen referencias a la descripción de los campos (letras color rojo) para la ficha de aptitud integrada (figuras 6.1 y 6.2), ficha de criterio (figuras 6.3 y 6.4) y ficha de variable (figuras 6.5 y 6.6), con su respectivo ejemplo.



Figura 6.1. Ficha de aptitud integrada

Ficha de aptitud					
Tipo de utilización de la tierra (TUT)					
Definición del TUT (capítulo 2)					
Representación cartográfica					
Mapa de aptitud final					
Áreas de aptitud (ha)					
Alta	Media	Baja	No apta técnica	No apto legal	Aptitud total
Valor en ha	Valor en ha	Valor en ha	Valor en ha	Valor en ha	Suma de alta, media y baja
Requerimientos del componente físico					
Criterio	Variable	Aptitud alta	Aptitud media	Aptitud baja	No apto
Criterio 1	Variable 1	Rangos	Rangos	Rangos	Rangos
Requerimientos del componente socioecosistémico					
Criterio	Variable	Aptitud alta	Aptitud media	Aptitud baja	No apto
Criterio 1	Variable 1	Rangos	Rangos	Rangos	Rangos
Requerimientos del componente socioeconómico					
Criterio	Variable	Aptitud alta	Aptitud media	Aptitud baja	No apto
Criterio 1	Variable 1	Rangos	Rangos	Rangos	Rangos

Figura 6.2. Ejemplo de ficha de aptitud de aguacate Hass, Nariño



Disponibilidad de nutrientes	Acidez (pH)	5 – 7	4,5 - 5,0	4 - 4,5	<4; >7
Disponibilidad de nutrientes	Saturación de bases (%)	>20	10 - 20	<10	-
Disponibilidad de nutrientes	cic (cmol/kg de suelo)	>20	10 – 20	<10	-
Disponibilidad de nutrientes	M.O (% CO)	>2	1-2	<1	-
H ₂ O disponible	Régimen de humedad del suelo	Údico	Ústico	Ústico y ácuico	Ácuico, údico y ácuico
H ₂ O disponible	Número de meses secos	<5	5-7	7-9	>9
Clima	Altitud (m s. n. m.)	500 - 2000	0 - 500	2000 - 2400	>2400
Clima	Temperatura (°C)	16 - 26	26 - 28	12 - 16	<12; >24
Clima	Precipitación (mm)	1000 - 1600	1600 - 2000	800 – 1000	<800 y >2000
Clima	Brillo solar (h/día)	4 - 6	3 - 4	2 - 3	<2
Clima	Humedad relativa (%)	75 - 80	80 - 85	85 - 90	>90
Requerimientos del componente socioecosistémico					
Criterio	Variable	Aptitud alta	Aptitud media	Aptitud baja	No apto
Criterio 1	Variable1	Rangos	Rangos	Rangos	Rangos
Requerimientos del componente socioeconómico					
Criterio	Variable	Aptitud alta	Aptitud media	Aptitud baja	No apto
Criterio 1	Variable1	Rangos	Rangos	Rangos	Rangos

Figura 6.3. Ficha de criterio

Ficha de criterio	
Tipo de utilización de la tierra (TUT)	
Cultivo tecnificado de cafeto (<i>Coffea arabica</i> L.), para la obtención de café pergamino seco con destino a la comercialización en el mercado internacional como café diferenciado. En la zona de ladera, la alta susceptibilidad a la erosión hace necesaria la intervención de otras especies para amortiguar el desgaste que este cultivo causa al suelo.	
Componente	Criterio
(físico, socioecosistémico, socioeconómico, exclusión legal, exclusión técnica o condicionante)	Nombre del criterio que corresponde al componente

Definición					
Corresponde a la definición técnica del criterio que corresponde al tut en evaluación.					
Importancia					
Se define por qué es relevante la utilización o conformación del criterio en la evaluación del TUT, cuál es enfoque y su necesidad de evaluación.					
Limitantes de evaluación					
Se describe si hay alguna limitación por el tipo de dato, el estado de la información o la vigencia.					
Metodología de evaluación					
Describir un breve resumen de la metodología utilizada para su evaluación, ya sea conceptual o cartográfico.					
Valor de ponderación:			Si la integración al componente se realizó con AHP colocar el peso porcentual correspondiente.		
Variables que lo conforman (variables que conformaron el criterio)					
Variable	Aptitud alta	Aptitud media	Aptitud baja	No apto	%
Variables 1	Rangos	Rangos	Rangos	Rangos	Porcentaje de ponderación si utilizó AHP para llegar al componente
Representación cartográfica					
Colocar la salida gráfica o mapa del criterio descrito					
Fuentes de información					
Colocar las fuentes utilizadas para la creación de la variable					

Figura 6.4. Ejemplo de ficha del criterio de condiciones climáticas, TUT café, Quindío

Ficha de criterio	
Tipo de utilización de la tierra de café	
Cultivo tecnificado de cafeto (<i>Coffea arabica</i> L.), para la obtención de café pergamino seco con destino a la comercialización en el mercado internacional como café diferenciado. En la zona de ladera, la alta susceptibilidad a la erosión hace necesaria la intervención de otras especies para amortiguar el desgaste que este cultivo causa al suelo.	
Componente	Criterio
Físico	Condiciones climáticas
Definición	
El clima es un conjunto de condiciones meteorológicas correspondientes a un espacio geográfico específico y caracterizado por un registro estadístico, en un periodo de tiempo, de los elementos climáticos referentes al estado de la atmósfera. Los principales factores climáticos que afectan la producción del cultivo de café, en el departamento, con fines comerciales son temperatura, precipitación, brillo solar y humedad relativa.	

Importancia

El clima influencia la producción de cultivos en todos sus componentes, incluyendo el área del cultivo y la intensidad de la producción de los mismos. Los parámetros climáticos son determinantes para la zonificación de los cultivos debido a su relación con el rendimiento y calidad de los productos cosechados. Igualmente, el clima influye positiva o negativamente en el desarrollo de las plantas de café y su evaluación se constituye en el motor del desarrollo del cultivo en el departamento del Quindío. El clima tiene un efecto preponderante en el desarrollo y la productividad del cultivo de café. Se ha reportado que este cultivo es muy susceptible a condiciones de estrés tanto biótico como abiótico.

Limitantes de evaluación

El limitado cubrimiento con respecto a la red de estaciones meteorológicas que registran información de los diferentes parámetros climáticos (precipitación, temperatura, brillo solar, humedad relativa) genera inconvenientes para conocer la distribución espacial más detallada de las condiciones climáticas del departamento del Quindío.

Metodología de evaluación

Las condiciones climáticas se determinaron a partir de información base elaborada por el Ideam (2014) a escala 1:100.000 para el periodo 1981-2010. Se tuvieron en cuenta criterios que pueden ser de dos tipos: factores (para los cuales se definen los niveles de aptitud) o restricciones (que para este caso se consideran de carácter técnico, normativo, o técnico-normativo), en donde un factor es un criterio que mejora o reduce la aptitud de una alternativa específica para la actividad en consideración, y una restricción es un criterio que limita, condiciona o excluye dichas alternativas (Eastman et al., 1995). Los criterios y variables a ser considerados por cada uno de los componentes dentro de la zonificación, sobre los cuales se establecen las características y cualidades del territorio que le confieren cierto grado de aptitud, para soportar adecuadamente el cultivo de café fueron la precipitación, la temperatura y la altitud.

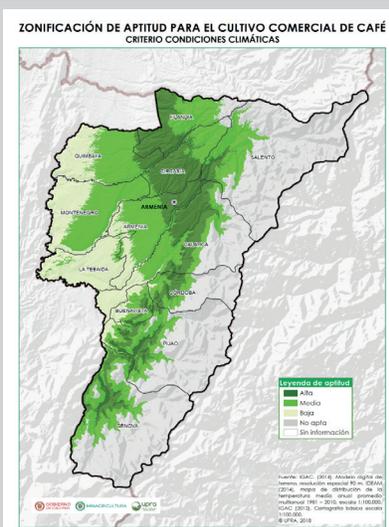
Valor de ponderación:

25,30 %

Variables que lo conforman

Variable	Aptitud alta	Aptitud media	Aptitud baja	No apto	%
Temperatura	≥ 19 - ≤ 21	≥ 16 - < 19 y > 21 - ≤ 24	-	< 16	No Aplica
Altitud	> 1200 - ≤ 1700	> 1700 - ≤ 2000	> 900 - ≤ 1200	> 2000	No Aplica

Representación cartográfica



Fuentes de información	
•	Eastman, J., Jin, W., Kyem, W. y Toledano, P. 1995. «Raster procedures for multi-criteria multi-objective decisions». Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 61(5), 539-547.
•	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM. 2014. Mapa de distribución de la temperatura media anual, promedio multianual 1981-2010, escala 1:100.000. Bogotá: IDEAM.
•	____. 2005. Atlas climatológico Nacional.
•	Instituto Geográfico Agustín Codazzi. IGAC. 2014. Modelo digital de terreno, resolución espacial de 90 m. Bogotá: IGAC.
•	____. 2012. Cartografía básica escala 1:100.000. Bogotá.

Figura 6.5. Ficha de variable

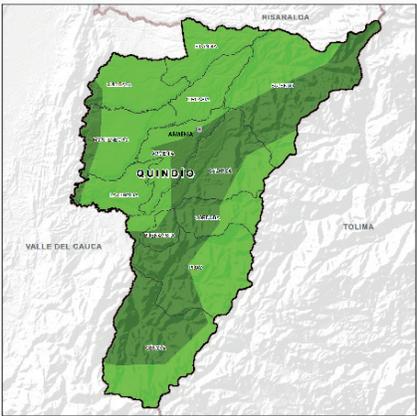
Ficha de variable			
Tipo de utilización de la tierra (TUT)			
Definición del TUT (capítulo 2)			
Componente	Criterio	Variable	
(físico, socioecosistémico, socioeconómico, exclusión legal, exclusión técnica o condicionante)	Nombre del criterio al que corresponde la variable	Nombre de la variable	
Definición			
Definición técnica de la variable que corresponde al tut en evaluación.			
Importancia			
Por qué es relevante la utilización de la evaluación de la variable, cuál es enfoque y su necesidad de evaluación.			
Limitantes de evaluación			
Se describe si hay alguna limitación por el tipo de dato, el estado de la información o la vigencia del mismo.			
Metodología de evaluación			
Describir un breve resumen de la metodología utilizada para su evaluación, ya sea conceptual o cartográfico.			
VALOR DE PONDERACIÓN:		Si la integración a criterio se realizó con AHP colocar peso porcentual de la integración.	
Rango de aptitud			
Alto	Medio	Bajo	No apto
Rangos de aptitud alta	Rangos de aptitud media	Rangos de aptitud baja	Rangos de no aptitud

Representación cartográfica
<p>Colocar la salida gráfica o mapa de variable</p> <p>(este campo es opcional, puede ser suprimido en evaluaciones territoriales)</p>
Fuentes de información
<p>Colocar las fuentes utilizados para la creación de la variable.</p>

Figura 6.6. Ejemplo de ficha de variable de altitud, TUT para café

Ficha descriptora de variable			
Tipo de utilización de la tierra de café			
<p>Cultivo tecnificado de cafeto (<i>Coffea arabica</i> L.), para la obtención de café pergamino seco con destino a la comercialización en el mercado internacional como café diferenciado. En la zona de ladera, la alta susceptibilidad a la erosión hace necesaria la intervención de otras especies para amortiguar el desgaste que este cultivo causa al suelo.</p>			
Componente	Criterio	Variable	
Físico	Condiciones climáticas	Altitud	
Definición			
<p>Distancia entre el nivel del mar y un punto determinado de la superficie terrestre. Este parámetro influencia la presión atmosférica, la temperatura y la pluviosidad, y evidencia una menor temperatura y presión atmosférica a mayor altitud.</p>			
Importancia			
<p>La temperatura y la precipitación se ven influenciadas por la altitud, por lo tanto, este parámetro es fundamental para la zonificación de los cultivos. La producción de café no es viable por encima de los 2000 m s. n. m., debido a la menor temperatura en estas zonas. La altitud ideal se encuentra entre 1200 y 1700 m s. n. m., ya que desde el punto de vista climatológico en estas zonas se encuentran las temperaturas óptimas (19 °C-21 °C) para el crecimiento y desarrollo del cultivo de café.</p>			
Limitantes de evaluación			
Sin limitaciones.			
Metodología de evaluación			
<p>Se utilizó información del modelo digital de elevación (MDE) suministrada por el igac (2014), con resolución espacial de 90 m.</p>			
Valor de ponderación:		Sin ponderación, se utilizó le método del más limitante para el criterio de condiciones.	
Rango de aptitud			
Alto	Medio	Bajo	No apto
>1200-≤1700	>1700-≤2000	>900-≤1200	>2000

Representación cartográfica



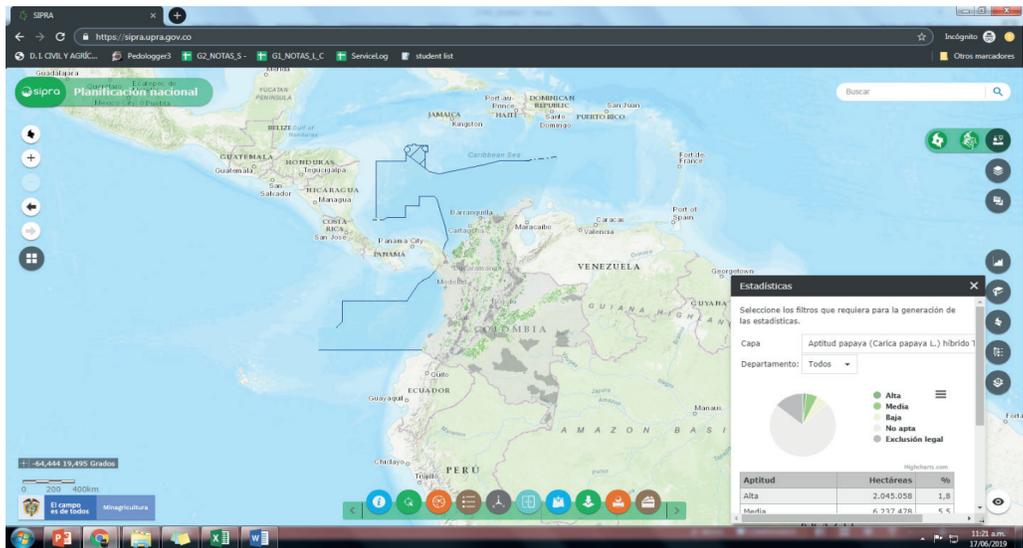
Fuentes de información

- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. IGAC. 2014. Modelo digital de terreno, resolución espacial de 90 m. Bogotá: IGAC.
- _____. 2012. Cartografía básica escala 1:100.000. Bogotá.

6.2. Capas vectoriales de aptitud

Como se describió en el capítulo 5, se debe seguir la estructura de generación, almacenamiento y resultado de la información espacial. De igual manera, toda la información recogida por la UPRA en resultados de evaluación de tierras, tanto nacional como territorial, se encuentra disponible para consulta y descarga en la plataforma del Sistema de Información de Planificación Rural Agropecuaria (Sipra) (<https://sipra.UPRA.gov.co>) (figura 6.7).

Figura 6.7. Imagen de resultado de ET en el Sipra





Referencias

Referencias

- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2010). *Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014*. Recuperado de <https://www.dnp.gov.co/Plan-Nacional-de-Desarrollo/PND-2010-2014/Paginas/Plan-Nacional-De-2010-2014.aspx>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (1985). Directivas: evaluación de tierras para la agricultura de regadío. *Boletín de Suelos* 55.
- Andrade, G. (2017). *Mercado de productos agropecuarios: guía para priorización y diagnóstico*. Bogotá: UPRA. Recuperado de <https://www.UPRA.gov.co/documents/10184/13821/MERCADO+DE+PRODUCTOS+AGROPECUARIOS/e5624d87-23d4-419f-8cda-da386065e5c7>
- Cortés, A., y Malagón, D. (1984). *Los levantamientos agrológicos y sus aplicaciones múltiples*. Bogotá: Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2014). *Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018*. Bogotá: Autor.
- Eastman, J., Jin, W., Kyem, W., y Toledano, P. (1995). Raster procedures for multi-criteria multi-objective decisions. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 61(5), 539-547.
- Fassbender, H., y Bornemisza, E. (1987). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina* (2.ª ed.). San José de Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Recuperado de <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A9793e/A9793e.pdf>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). 2016. Mapa de cambio de bosque Colombia- Área continental (Escala Fina LANDSAT) Periodo 2010 - 2015. Bogotá.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). (2015). *Estudio Nacional del Agua (ENA) 2014*. Bogotá: Autor. Recuperado de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). (2010a). *Resumen ejecutivo de la memoria técnica de la cuantificación de la deforestación histórica*. Bogotá: Autor.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam). (2010b). *Leyenda nacional de coberturas de la tierra. Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia. Escala 1:100.000*. Bogotá: Autor.
- Martínez, L. (1997). *Sistema de Información Geográfica para la Amazonia, caso Guaviare*. Bogotá: Tropenbos Colombia.
- Martínez, E., Fuentes, J., y Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*, 8(1), 68-96. Recuperado de <http://www.repositorio.uchile.cl/handle/2250/120129>
- 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. *Cuaderno Interdisciplinar de Desarrollo Sostenible (Cuides)*, 3. Recuperado de <http://www.ecomilenio.es/wp-content/uploads/2010/10/Martin-et-al-2009-CUIDES.pdf>
- Monzón, F. (2004). *Evaluación de tierras para la implementación de un sistema de ganadería semiestabulada en la subcuenca Guayabo del río Reventazón, Costa Rica* (Tesis de maestría). Programa de Enseñanza para el Desarrollo y la Conservación. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Catie).
- Fadlalla, R. y Elsheikh, A. (2016). Physical land suitability assessment based on FAO framework. *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)*, 6(12), 36-44.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (1997). Zonificación agro-ecológica. Guía general. *Boletín de suelos*, 73. Recuperado de <http://www.FAO.org/docrep/W2962S/W2962S00.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (1990). Evaluación de tierras para la agricultura en regadío: directivas. *Boletín de Suelos*, 55.

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (1976). A framework for land evaluation. *Soils Bulletin*, 32. Recuperado de <http://www.FAO.org/docrep/x5310e/x5310e00.HTM>
- Organización de Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (1983). Directivas: evaluación de tierras para la agricultura en secano. *Boletín de Suelos*, 52.
- Ortiz-Lozano, L., Granados-Barba, A., y Espejel, L. (2009). Ecosystemic zonification as a management tool for marine protected areas in the coastal zone: applications for the Sistema Arrecifal Veracruzano National Park, México. *Ocean & Coastal Management*, 52(6), 317-323. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/223320179_Ecosystemic_zonification_as_a_management_tool_for_marine_protected_areas_in_the_coastal_zone_Applications_for_the_Sistema_Arrecifal_Veracruzano_National_Park_Mexico
- Pineda, C., Machado, D., Casanova, E., y Vilorio, J. (2006). Evaluación física de tierras de la cuenca alta del río Guárico con fines de producción sustentable de agua. *Agronomía Tropical*, 56(3), 385-414. Recuperado de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2006000300005&lng=es&tlng=es
- Porter, M. (1990). La ventaja competitiva de las naciones. *Harvard Business Review*, 85(11), 69-95. Recuperado de <http://insight.ipae.edu.pe/media/contents/articulos/file/013866800%201334509161.pdf>
- Servicio Geológico Colombiano (SGC). (s. f.). Recuperado el 18 de mayo de 2017, de URL: <http://www2.sgc.gov.co/Manizales/Volcanes/Volcan-Cerro-Machin/Mapade-amenazas.aspx>
- Siraj, S. (2011). Preference elicitation from pairwise comparisons in multi-criteria decision making. *Journal of the Operational Research Society*, 55(8), 163.
- Saaty, T. (1990). *The analytic hierarchy process in conflict management*. *International Journal of Conflict Management*, 1(1), 47-68.
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). (2014). Zonificación para plantaciones forestales con fines comerciales en Colombia,

escala 1:1000.000. Bogotá: Autor. Recuperado de https://www.UPRA.gov.co/documents/10184/13821/Zonificaci%C3%B3n_plantaciones_forestales

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). (2013). *Evaluación de tierras para la zonificación con fines agropecuarios. metodología a escala general (1:100.000)*. Bogotá: Autor.

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). (2016). *Cultivo comercial de papa: identificación de zonas aptas en Colombia, a escala 1:100.000*. Bogotá: Autor.

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA). (2018). *Metodología para la Identificación general de la frontera agrícola en Colombia*. Bogotá: Autor.

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA) e Instituto Geográfico Agustín Codazzi (igac). (2015). *Leyenda de usos agropecuarios del suelo a escalas mayores a la escala 1:25.000*. Bogotá: Autor.

Viloria, J., Pineda, C., López, D., y Gabaldón, O. (2003). Aptitud de la tierra para caña de azúcar y banano en el sistema de riego Taguaiguay (Aragua-Venezuela). *Agronomía Tropical*, 53(2), 189-208. Recuperado de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2003000200006