

Metodología^{de} Evaluación de Tierras 1:25.000



INFORME FINAL

**Este documento presenta el 100% de la
consolidación de la metodología de
evaluación de tierras con fines
agropecuarios a escala semidetallada
(1:25.000)
Entregable 10**

Autores:

Yesid Aranda Camacho - MSc, cPhD, Profesor área socioeconómica
Yolanda Rubiano Sanabria - PhD, Profesora área evaluación de tierras
Luis Joel Martínez -MSc, Profesor área geomática
Hermann Restrepo- PhD, Profesor área fisiología de cultivos
Alejandro Mora-Motta – Economista- MSc. Área socioeconómica
Sergio García- I.A, MSc. Área interpretación de imágenes satelitales
Jeiner Buitrago-I.A, MSc. Área sistemas de información geográfica
Cristhian Páez- Zootecnista. Área producción pecuaria
Diana Gómez – I.A. Auxiliar administración
Maroly Hermosa – Estudiante Pregrado I.A
Gabriel Sarmiento – I.A, Estudiante MSc, Desarrollo empresarial agropecuario
Cristina Díaz- I.A- Estudiante MSc, Aguas y suelos
Arturo Ramos- I.A- Estudiante MSc, Geomática

Este documento es propiedad intelectual de la UNIDAD DE PLANIFICACIÓN RURAL AGROPECUARIA - UPRA. Sólo se permite su reproducción parcial cuando no se use con fines comerciales y citando este documento como:

Unidad de Planificación Rural Agropecuaria - UPRA, "CONSOLIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE TIERRAS PARA ZONIFICACIÓN CON FINES AGROPECUARIOS A ESCALA SEMIDETALLADA (1:25.000)".

ISBN:978-958-5552-12-8

Versión 1

Fecha: 28 de agosto de 2014

Página 3 de 189

En Diseño y Diagramación

RESUMEN

Como parte del contrato interadministrativo No. 100 de 2014 suscrito entre Unidad de Planificación de Tierras Rurales Adecuación de Tierras y Usos Agropecuarios –UPRA- y la Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias - sede Bogotá, se desarrolló una propuesta metodológica para la evaluación de tierras para zonificación con fines agropecuarios a nivel nacional a escala 1: 25.000. Siguiendo los lineamientos propuestos para la evaluación de tierras a este nivel de detalle, la metodología propuesta incluye para su desarrollo la identificación y análisis de criterios relacionados con las dimensiones biofísica, sociocultural, ambiental económica y tecnológica, en los territorios para los cuales se realiza la evaluación. Incorporando la participación de actores locales, organizaciones, instituciones y gobierno local. Se propone un modelo AHP, combinado con sistemas de información geográfica, para establecer los TUT y las alternativas de decisión más adecuadas a implementar. En la construcción y ajustes de la metodología se ha tenido como zona de referencia la altillanura plana del municipio de Puerto Gaitán – Meta. Se realizaron 4 talleres con participación de actores de diversa índole, además de consulta a expertos e informantes cualificados para validar y ajustar las herramientas. Para evaluar la usabilidad de la metodología se ha realizado la evaluación para el TUT *Hevea brasiliensis*

Palabras clave: Evaluación de tierras, proceso de análisis jerárquico, usos agropecuarios

ABSTRACT

As part of a Contract No.100 of 2014 signed by Unidad de Planificación de Tierras Rurales Adecuación de Tierras y Usos Agropecuarios –UPRA, and Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias, sede Bogotá, a proposed methodology for land evaluation for agricultural purposes at national level was developed. The method is to scale 1:25.000. Following the guidelines proposed for land evaluation at this level of detail, the methodology included for developing the identification and analysis of related biophysical, socio-cultural, environmental, economic and technological dimensions in the territories criteria for which it performs evaluation. Incorporating the participation of local actors, organizations, institutions and local government. An AHP model combined with GIS is used to establish the TUT and implement the most appropriate decision alternatives. In the construction and adjustment of the methodology has been taken as a reference area of altillanura of Puerto Gaitan – Meta; 4 workshops with local stakeholders, in addition to consultation with experts and qualified informants to validate and adjust the tools were made. To evaluate the usability of the methodology has been performed for the evaluation *Hevea brasiliensis* TUT.

Keywords: Land evaluation, Analytic Hierarchy Process, Land zoning, Land use.

En Diseño y Diagramación

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	5
ÍNDICE DE TABLAS	11
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	13
INTRODUCCIÓN	15
OBJETIVOS	16
ALCANCE	16
1. ESTADO DEL ARTE.....	17
1.1 Antecedentes de estudios de evaluación de tierras con análisis multicriterio	19
1.1.1 Estudios que siguen el análisis econométrico	20
1.1.2 Otras evaluaciones económicas	20
1.1.3 Metodologías de análisis multicriterio para la toma de decisiones	20
1.1.4 Metodologías derivadas de la teoría de la utilidad.....	21
1.1.5 Modelos de concordancia	22
1.1.6 Modelos lexicográficos.....	23
1.1.7 Métodos de punto ideal.....	23
1.1.8 Modelo de nivel de aspiraciones.....	23
1.2 Método de Análisis Propuesto: Proceso de Análisis Jerárquico (Analytic Hierarchy Process–AHP)	23
1.3 Aplicaciones de métodos multicriterio en la evaluación de tierras	24
1.4 Estimación de la función de utilidad.....	27
1.5 Componente biofísico en la evaluación de tierras	28
2. UNIDADES DE TIERRA – UT-	29
2.1 Selección de las unidades de tierra	29
2.2 Características y cualidades de las unidades de tierra	36
2.2.1 Clima ambiental.....	38
2.2.2 Relieve (topografía).....	38
2.2.3 Disponibilidad de oxígeno en la zona radicular	39
2.2.4 Disponibilidad de agua en la zona radicular	40
2.2.5 Disponibilidad de nutrientes	42
2.2.6 Capacidad de laboreo	46

2.2.7	Riesgos climáticos	47
2.2.8	Plagas y enfermedades	48
2.3	EVALUACIÓN DE LAS UNIDADES CARTOGRAFICAS DE SUELOS.....	49
2.3.1	Modelo espacial de evaluación de tierras.....	50
2.4	Condiciones legales del territorio que limitan el uso productivo	53
3.	TIPOS DE UTILIZACION DE LA TIERRA	55
3.1	Evaluación del uso actual del suelo mediante el empleo de información espacial y SIG	55
3.1.1	Clasificación y Leyenda	55
3.1.2	Sistema De Clasificación CLC-Colombia.....	56
3.1.3	Metodología para la clasificación del uso actual y la cobertura de la tierra	56
3.1.4	Recolección de datos para la caracterización de los tipos de uso de la tierra	58
3.1.5	Protocolo para cartografiar usos actuales de la tierra	63
3.1.6	Verificación del uso del suelo en campo.....	66
3.2	Priorización de los usos a evaluar	70
3.2.1	Cartografía social para la validación del uso actual del suelo	70
3.3	Prospectiva estratégica con actores locales para la definición del uso potencial del suelo .	71
3.4	Requerimientos de los TUT	71
3.4.1	Definición del TUT	71
3.4.2	Identificación del TUT	72
3.4.3	Selección del TUT	72
3.4.4	Criterios para la selección de requerimientos a evaluar	72
3.4.5	Clasificación de los requerimientos	72
3.4.6	Fuentes de información.....	73
3.5.	Requerimientos de los TUT analizados en caso de zona de referencia	74
3.5.1	T.U.T. Caucho.....	74
3.5.2	T.U.T. Pasturas Mejoradas	78
3.5	Definición del nivel tecnológico	80
3.5.1	Identificación de Fuentes de Información	80
3.5.2	Mecanismos, protocolos y conductos regulares para obtención de información	81
3.5.3	Levantamiento y análisis de información	81
3.5.4	Aplicación de la información	83
3.5.5	Validación de la Aplicación de la información.....	84
3.5.6	Incorporación de correcciones planteadas por el equipo de trabajo	84

3.5.7	Diseño de instrumentos para recolección de información primaria.....	84
3.5.8	Socialización y validación de instrumentos.....	85
4.	DATOS SOCIO CULTURALES Y ECONÓMICOS	87
4.1	Información para realizar análisis del entorno socioeconómico del territorio	87
4.1.1	Información para caracterización socioeconómica.....	87
4.1.2	Información para construcción indicadores	90
4.1.3	Esquema del proceso de participación de actores locales en la evaluación de tierras....	92
5.	ANÁLISIS ESPACIAL COMPARATIVO (SIG).....	95
5.1	Colección y generación de capas de información	95
5.2	Modelo de análisis SIG	100
5.3	Aptitud biofísica preliminar- Caso caucho.....	103
6.	ANÁLISIS MULTICRITERIO MEDIANTE PROCESO DE ANÁLISIS JERARQUICO – AHP-	109
6.1	Estructura del modelo de Proceso Analítico Jerárquico (AHP) propuesto	109
6.1.1	Características del modelo AHP propuesto	109
6.1.2	Metodología de estimación del modelo	111
6.1.3	Elementos incluidos en modelos de AHP para evaluación de tierras	115
6.2	Modelo jerárquico para la evaluación de tierras con fines de zonificación agropecuaria a escala semidetallada 1:25.000 para Colombia.....	117
6.3	Dimensiones de análisis del modelo jerárquico.....	119
6.3.1	Dimensión Biofísica.....	119
6.3.2	Dimensión Económica	120
6.3.3	Dimensión Ambiental	121
6.3.4	Dimensión Sociocultural.....	123
6.3.5	Dimensión Tecnológica.....	124
6.4	Alternativas del modelo para evaluación de tierras con fines agropecuarios a escala 1:25.000	126
6.5	Aptitud de las unidades de tierra de acuerdo a la función de utilidad –MAUT-.....	127
7.	VERIFICACIÓN DEL USO DE LA METODOLOGÍA	129
7.1	Resultados del Análisis PESTA e IGO	129
7.2	Resultados del modelo AHP para el ejercicio piloto de recolección de información para el T.U.T. en Caucho.....	132
7.2.1	Análisis de los resultados para el TUT en caucho en la zona de referencia.....	138
7.2.2	Discusión de los resultados para el TUT en caucho.....	139

BIBLIOGRAFÍA	141
ANEXO 1. PROCEDIMIENTO PARA CARTOGRAFIAR USOS ACTUALES DE LA TIERRA	151
ANEXO 2. GUIA PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN PARA SELECCIÓN DE LOS TUT	171
ANEXO 3. PROTOCOLOS GENERALES	173
ANEXO 4. ENCUESTAS E INFORMACIÓN DE SOPORTE PARA EVALUACIÓN EN EL MODELO JERÁRQUICO	175
ANEXO 5. FORMATOS ANALISIS PESTA	177
ANEXO 6. DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS TECNOLOGICAS DE LOS TIPOS DE UTILIZACIÓN (TUT)	179
ANEXO 7. ESTADÍSTICAS PARA EL LEVANTAMIENTO DE TIERRAS	187

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Síntesis de modelos y estudios relevantes de evaluación de tierras.	25
Tabla 2. Relación entre la escala, unidad de levantamiento y la ensificación de los puntos	30
Tabla 3. Leyenda del Mapa Semidetallado de Suelos Departamento de Antioquia – Bajo Cauca Plancha S_83IIIA IGAC, 2007.	32
Tabla 4 A. Resultados de granulometría y análisis químicos del perfil AS84	35
Tabla 5 A. Resultado de los análisis físicos del perfil AS84	35
Tabla 6. Cualidades y características de las unidades de tierra	37
Tabla 7. Clases de pendiente (fases estudios de suelos –IGAC 2010)	39
Tabla 8. Longitud y forma de la pendiente (IGAC, 2000)	39
Tabla 9. Clases por drenaje natural	40
Tabla 10. Clases de régimen de humedad del suelo. Adaptado (IGAC, 2000).....	41
Tabla 11. Clases de Textura del suelo y Familias texturales	41
Tabla 12. Calificación del pH	46
Tabla 12 A. Calificación la Capacidad de intercambio cationica.....	44
Tabla 13. Clases de salinidad	45
Tabla 14. Calificación de la saturación de aluminio en el suelo	46
Tabla 15. Clasificación de la profundidad efectiva	46
Tabla 16. Clasificación de los afloramientos rocosos y recubrimiento de fragmentos de roca en superficie	47
Tabla 17. Clasificación por volumen de fragmentos de roca o piedra en el perfil.	47
Tabla 18. Clasificación de las heladas.....	48
Tabla 19. Evaluación de la calidad de disponibilidad de oxígeno representada por el drenaje natural para el uso de caucho.....	49

Tabla 20. Evaluación de las cuantidades para determinar la aptitud de la unidad cartográfica de suelos para el uso de caucho	50
Tabla 21. Valores de la aptitud en las categorización de los análisis en la plataforma de SIG	51
Tabla 22. Requerimientos Biofísicos T.U.T. Caucho	76
Tabla 23. Requerimientos para TUT <i>Brachiaria humidicola</i>	79
Tabla 24. Análisis multiescalar de políticas con incidencia en el territorio	90
Tabla 25. Fuentes información para caracterización socio- cultural y económica	91
Tabla 26. Información de la dimensión biofísica.....	95
Tabla 27. Información de la Dimensión Ambiental	96
Tabla 28. Criterios de la dimensión económica.....	97
Tabla 29. Criterios de la dimensión sociocultural	97
Tabla 30. Criterios de la dimensión tecnológica	98
Tabla 31. Clasificación de la aptitud por clase y subclase	100
Tabla 32. Aptitud para la altillanura para el cultivo de caucho	103
Tabla 33. Aptitud de <i>Brachiara humidicola</i>	105
Tabla 34. Pasos del modelo AHP	111
Tabla 35. Escala de valoración de juicios AHP	113
Tabla 36. Descripción de alternativas de evaluación para usos con fines agropecuarios a escala 1:25000	127
Tabla 37. Resultados del análisis PESTA y del análisis IGO	129
Tabla 38. Resultados del modelo AHP para Caucho	134

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Modelo conceptual metodológico para la evaluación de tierras para la zonificación con fines agropecuarios en Colombia, escala semidetallada (1:25.000).	16
Figura 2. Clasificación de las principales técnicas de análisis multicriterio.	22
Figura 3. Mapa Semidetallado de Suelos Departamento de Antioquia – Bajo Cauca Plancha S_83IIIA. IGAC, 2007.	31
Figura 4. Herramienta de Evaluación de Tierras.....	50
Figura 5. Cambio de rango de una variable en el proceso de evaluación de tierras.....	51
Figura 6. Modelo espacial para la valuación de tierras.....	52
Figura 7. Salida gráfica de Aptitud para Caucho de atributos biofísicos de la plancha 252IIA	53
Figura 8. Condicionantes legales del territorio que limitan uso productivo.....	54
Figura 9. Distribución de los tipos de finca en la altillanura, municipio de Puerto Gaitán, Meta	61
Figura 10. Esquema general del proceso metodológico para cartografiar los usos actuales de la tierra .	63
Figura 11. Tipos de muestreo	67
Figura 12. Cultivo de palma de aceite tomada con un sobrevuelo	68
Figura 13. Patrones de palma de aceite y pastos	70
Figura 14. Proceso de obtención de requerimientos de los T.U.T.....	73
Figura 15. T.U.T. Caucho.....	74
Figura 16. Pastura <i>Brachiaria Decumbens</i>	78
Figura 17. Manejo de la Información para caracterización componente tecnológico.....	82
Figura 18. Productos y Validación.....	86
Figura 19. Esquema del proceso de participación de actores locales en la evaluación de tierras.....	93
Figura 20. Esquema cartográfico para el desarrollo de la evaluación de tierras a escala semidetallada (1:25.000)	99
Figura 21. Herramienta de modelo espacial para evaluación de tierras.....	100

Figura 22. Modelo espacial para la evaluación de tierras.....	102
Figura 23. Evaluación biofísica para el TUT caucho en la altillanura plana municipio de Puerto Gaitán - Meta.....	104
Figura 24. Evaluación biofísica para el TUT <i>B. humidicola</i> en la altillanura plana municipio de Puerto Gaitán - Meta.....	106
Figura 25. Esquema de un modelo de Proceso Analítico Jerárquico (AHP)	110
Figura 26. Modelo de proceso analítico jerárquico para evaluación de tierras.....	118
Figura 27. Resultados del análisis de Importancia y Gobernabilidad (IGO) en zona de referencia.	131

INTRODUCCIÓN

La evaluación de tierras basadas en la identificación del uso más idóneo en una unidad productiva, va de la mano con un plan de desarrollo, en un ordenamiento territorial a nivel municipal y distrital. La Ley 152 artículo 41, donde establece que los municipios además de los planes de desarrollo, deben contar con un plan de ordenamiento territorial, elaborado con el apoyo técnico y las orientaciones del Gobierno Nacional y los departamentos. Bajo estos conceptos en la Ley 388 el componente rural de ordenamiento territorial es un instrumento para garantizar la adecuada interacción entre los asentamientos rurales y la cabecera municipal, la conveniente utilización del suelo rural y las actuaciones públicas tendientes al suministro de infraestructura y equipamientos básicos para el servicio de los pobladores rurales.

Mediante el decreto 4145 de 2011 se creó la Unidad de Planificación de Tierras Rurales, Adecuación de Tierras y Usos Agropecuarios – UPRA- adscrita al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural con el objeto orientar la política de gestión del territorio para usos agropecuarios. Según el decreto la UPRA planificará, producirá lineamientos, indicadores y criterios técnicos para la toma de decisiones sobre el ordenamiento social de la propiedad de la tierra rural, el uso eficiente del suelo para fines agropecuarios, la adecuación de tierras, el mercado de tierras rurales, y el seguimiento y evaluación de las políticas públicas en estas materias.

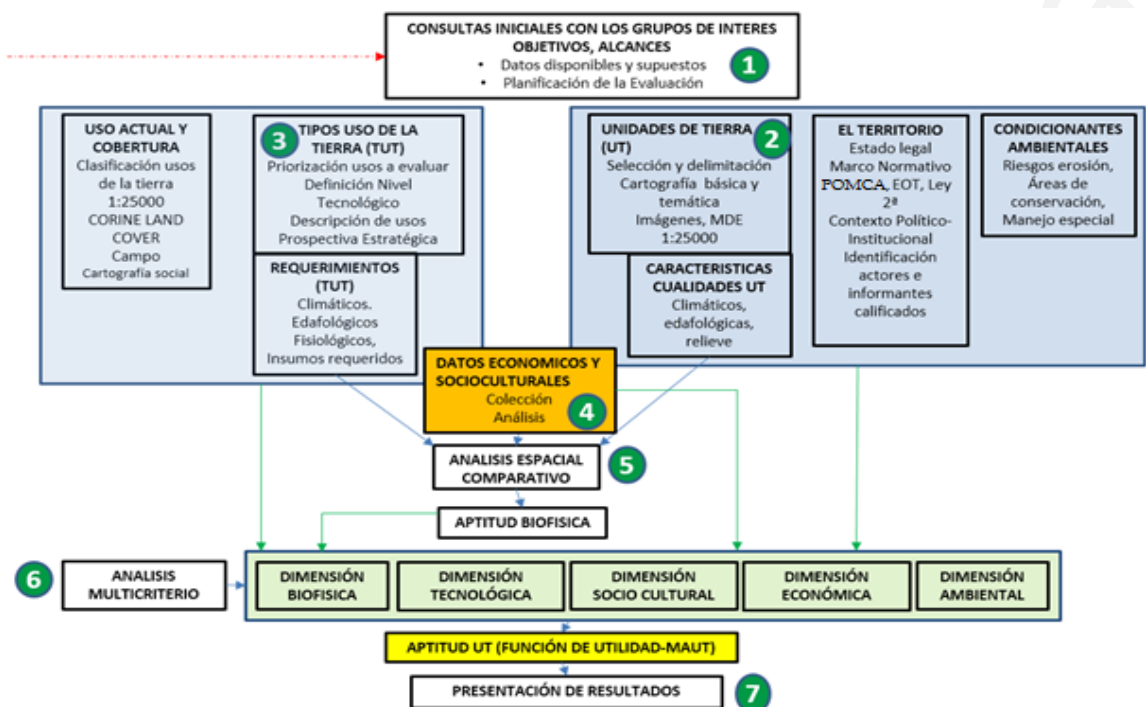
Mediante contrato interadministrativo No 100 de 2014 celebrado entre la UPRA y la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia, que busca generar la base conceptual preliminar de los protocolos para la consolidación de la metodología de evaluación de tierras para la zonificación con fines agropecuarios a escala semidetallada (1:25.000).

El protocolo metodológico, incluirá el paso a paso de cómo se extrae la información de los estudios de suelo, como se confeccionan las bases de datos de la oferta edafoclimática semidetallada, cuando se cuenta con cartografía 1:25.000, y cómo es posible incluir variables más estrechamente relacionadas con los requerimientos ecofisiológicos de los tipos de utilización específicos a evaluar, además de cómo se garantiza la participación de los actores de la sociedad local en la evaluación de los usos de la tierra con fines agropecuarios.

Este documento presenta la metodología propuesta para realizar el proceso de evaluación de tierras para zonificación con fines agropecuarios a escala semidetallada 1:25.000 para Colombia, se detallan acciones a desarrollar para identificar los usos a evaluar con participación de actores locales interesados en el proceso de planificación, incluye las herramientas para captura de información y la consulta a informantes calificados, en lo relacionado a elementos de las dimensiones biofísica, económica, sociocultural, ambiental y tecnológica así como los paso a paso referentes al uso de sistemas de información geográfica y la información a espacializar en la evaluación y el uso de un modelo multicriterio que servirá para rankear las alternativas de decisión más adecuadas a implementar según las condiciones que en los territorios soporten el desarrollo de los tipos de usos evaluados.

La Figura 1 presenta las etapas que han de seguir los interesados en realizar la evaluación de tierras a escala semidetallada, a su vez se constituye la línea que se seguirá en los capítulos que se desarrollaran en la metodología propuesta; este documento detalla los procedimientos que se proponen realizar en cada una de las fases del proceso.

Figura 1. Modelo conceptual metodológico para la evaluación de tierras para la zonificación con fines agropecuarios en Colombia, escala semidetallada (1:25.000).



OBJETIVOS

Desarrollo de una metodología de evaluación de tierras para zonificación con fines agropecuarios a escala semidetallada (1:25.000) a ser usada para Colombia.

ALCANCE

Tomando como referencia el mapa actual de los conflictos del uso de suelo rural en el país la metodología de evaluación de tierras para zonificación con fines agropecuarios a escala semidetallada (1:25.000) presentada a continuación se constituye en un instrumento que se espera contribuya a orientar la toma de decisiones en procesos de formulación de políticas, reglamentación y planificación del territorio; permitiendo abordar la planificación sectorial del uso eficiente del suelo rural y los proyectos de adecuación de tierras tomando como referencia la aptitud del uso agropecuario, de acuerdo a las demandas de producción y la vocación del uso del suelo.

1. ESTADO DEL ARTE

En el mundo las metodologías para uso del suelo se consolidaron a partir de 1990, siendo de destacar la propuesta por FAO (1976) como principal antecedente que introdujo los principios más importantes de lo que hoy se entiende como sostenibilidad (FAO, 2007).

El periodo previo al documento de FAO (1976), se destaca por el abordaje general centrado principalmente en la evaluación biofísica del territorio, para lo cual como categorías de análisis se incluyen elementos relacionados a características del suelo, buscando a partir de ellos evaluar los usos generales del suelo.

Como carencia de este primer aporte metodológico, se resalta que no tiene en cuenta variables socioeconómicas, incorporando solo algunos elementos relacionados a indicadores clásicos de evaluación económico-financiera para los usos evaluados. Los métodos para la evaluación de tierras en esta época se destacan por el uso de índices generales.

La FAO da algunos lineamientos para evaluación de tierras de FAO (1976):

Principios:

1. La aptitud de las tierras es evaluada y clasificada respecto a los tipos específicos de uso de la tierra
2. Una evaluación necesita una comparación de los beneficios obtenidos y los insumos necesarios para diferentes tipos de tierras para asesorar el potencial productivo.
3. El proceso de evaluación requiere un abordaje multidisciplinario.
4. Las evaluaciones deberían ser en términos del contexto biofísico, económico, social y político del área en cuestión.
5. La aptitud se refiere a un uso sobre una base sostenida
6. La evaluación contempla la comparación de más de un solo tipo de uso.

Principales grupos de actividades:

- i. Consultas iniciales para identificar los objetivos de la evaluación y el establecimiento de los requerimientos.
- ii. Descripción de los tipos de usos del suelo a ser considerados y establecimiento de los requerimientos.
- iii. Descripción de las unidades de mapeo de la tierra y la derivación de sus cualidades.
- iv. Comparación de tipos de uso de la tierra con los tipos de tierra presentes.
- v. Análisis socioeconómico.
- vi. Clasificación de la aptitud de la tierra (cualitativa o cuantitativa).
- vii. Presentación de resultados de la evaluación.

Fuente: FAO (2007, p. 6-7)

Se define a evaluación de la tierra como el proceso que permite identificar y valorar los usos específicos que se adaptan a las condiciones específicas de las tierras evaluadas (FAO, 2007, p. 7). Teniendo en cuenta los elementos referidos anteriormente en los principios y actividades, el proceso de evaluación de tierras al haber identificado los usos más idóneos se convierte en una herramienta importante para la planificación; así, el objetivo principal de la evaluación de tierras es la gestión mejorada del uso sostenible de la tierra para beneficio del pueblo (FAO, 2007, p. 1)

De acuerdo con Rossiter (1994), en la década de los 70 hubo un aumento creciente de personas que estaban en desacuerdo con los métodos de clasificación de tierras existentes debido a su ineficiencia para planificar adecuadamente el uso. Los principales inconvenientes que presentaban los métodos se debían a que éstos: i) se basaban únicamente en factores físicos de las tierras e ignoraban los aspectos sociales y económicos del uso de la tierra, ii) no consideraban los usos de la tierra ni sus requerimientos específicos, las clases agrupaban usos con requerimientos muy diferentes, iii) no se podían aplicar fuera del área donde se había desarrollado el método por lo tanto su generalización implicaba errores muy importantes.

Con el fin de superar estos inconvenientes, la FAO propuso el esquema de evaluación de tierras (FAO, 1976) y posteriormente; desarrollo guías para usos forestales (FAO, 1984), agricultura bajo riego (FAO, 1985), ganadería extensiva (FAO, 1981) agricultura en tierras secas (FAO, 1983). En el año 2007, la FAO revisó el esquema propuesto de 1976 y generó un documento de discusión para orientar el enfoque futuro de la evaluación de tierras.

El sistema de evaluación de la FAO fue complementado por Rossiter (1995) propuso nuevos criterios relacionados a elementos económicos, además de los criterios tradicionales relacionados a elementos biofísicos; usados para predecir el valor de micro-económico de la implementación de un determinado uso de la tierra en una superficie determinada. A partir de esta propuesta se logra generar una fragmentación de las metodologías en los periodos previo y posterior.

En la planificación del uso de la tierra con fines productivos es necesaria la búsqueda de la sostenibilidad, esta última entendida como la conjunción de las áreas del desarrollo sostenible, y por lo tanto la necesidad de reconocer tres criterios a veces conflictivos a la hora de hacer política: la eficiencia económica, la equidad social y la sostenibilidad ecológica; lo que se constituye en el reto en el proceso de planificación de tierras con fines agropecuarios (Hermanides & Nijkamp, 1998).

Recientemente la evaluación de tierras se ha incorporado la calidad (Doran y Jones, 1996) y la calidad de tierra (FAO, 1997; Bouma, 2002), a veces se utilizan indistintamente como si fueran equivalentes. La calidad del suelo se ha definido como la condición que éste presenta, que le permite funcionar dentro de los límites de ecosistemas naturales o manejados para mantener la productividad animal y vegetal, mantener o mejorar la calidad del agua, del aire, de la salud y del hábitat para los humanos (Karlen y Stott, 1994; Doran y Parkin, 1994). Bouma (2002), plantea que la capacidad de funcionamiento del suelo depende además, de factores climáticos y de manejo y en consecuencia considera que es más apropiado hablar de calidad de tierra y no de calidad de suelo.

Otros métodos de clasificación de aptitud de las tierras incorporan el uso del índice de Storie (1963) que califica las tierras en una escala de 0 a 100, intentando relacionar este valor con la productividad o con el manejo de los limitantes. Igualmente, se ha utilizado el valor potencial que es un sistema paramétrico cuyo objetivo es clasificar las tierras y generar una puntuación de valor potencial que en Colombia se utiliza para fines catastrales. La clasificación de tierras para riego y drenaje que evalúa en forma sistemática las características de la tierra que influyen en el riego, designar en categorías y establecer la extensión y el grado de aptitud de las tierras para agricultura con riego permanente.

En Colombia, el sistema de clasificación de tierras por capacidad de uso ha sido adaptado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 2010) y es ampliamente utilizado como interpretación de los levantamientos de suelos. En la década de los 70, se realizó un estudio con base en el enfoque de las ocho clases agrológicas, como parte del Programa Nacional de Clasificación de Tierras, PROCLAS produciendo 19 planchas a escala 1:500,000 que cubren gran parte del país. Actualmente, el país cuenta con información cartográfica a escala 1:100,000 y los respectivos mapas de conflictos de uso a esta escala.

En el país también se han realizado estudios de aptitud de tierras para diferentes usos y con diferentes propósitos, entre los que se destacan los realizados para: caña (Cenicaña, 2011), Tabaco (Corpoica, 2007), Banano (Uniban, 2010), Cacao (Corpoica, 2005), Cultivos Perennes y Ganadería (Martínez et al.1997), Papa (Martínez, 2006), Pasifloras (Martínez, García y Sanabria, 2009), Agraz (Muñoz, Martínez y Ligarreto, 2009).

La evaluación socioeconómica y ambiental de tierras tiene varios enfoques. En primer lugar, se expone una revisión de diferentes enfoques que ha tenido la evaluación de tierras, seguido a esto, se hace una síntesis de algunos de los criterios e indicadores asociados. En segundo lugar se hace una descripción del modelo de análisis multicriterio que se propone para desarrollar la propuesta integrada, el Proceso Analítico Jerárquico, como técnica multicriterio que permite evaluar desde un marco transdisciplinar las diferentes alternativas de usos de suelo agrícola, y que a su vez hace posible el incluir la participación de los actores en el proceso de planificación.

Antecedentes de estudios de evaluación de tierras con análisis multicriterio

En primer lugar hay que resaltar que en la construcción de modelos de decisión para el diseño de políticas agropecuarias existen por lo menos dos métodos: los econométricos y los de programación matemática (Just, 1993; Arriaza, 2002). El primer grupo mantiene un enfoque en el que se resaltan valores monetarios y requieren gran cantidad de información para llevar a cabo las regresiones para llegar a tomar la decisión. Mientras que los de programación matemática tienen como ventaja el permitir la interacción entre los insumos, productos y alternativas de decisión, siendo reducida la opacidad (McPherson y Bennet, 1979) y el error de especificación (Brooke et al., 1992), además de permitir incluir las preferencias de diversos actores que intervienen en la decisión dado el desarrollo de formas para agregar las preferencias individuales y trabajar con las preferencias de un grupo que actúa como conjunto de la sociedad (Aranda, 2014).

1.1.1 Estudios que siguen el análisis econométrico

El trabajo de (Fezzi & Bateman, 2011) utiliza un modelo de maximización de beneficios que parte de un modelo teórico que considera las ecuaciones de una función de ingresos, de donde se derivan los usos de la tierra, la aplicación de insumos, la producción agrícola y la intensidad pecuaria, tomando como unidad de análisis para la decisión, información detallada a nivel predio; este trabajo propone un modelo econométrico Tobit para encontrar los principales factores de cambio del uso del suelo y fue aplicado en Gales e Inglaterra.

1.1.2 Otras evaluaciones económicas

El estudio de Samranpong, Ekasingh, & Ekasingh (2009) partiendo de la metodología de FAO (1976) propone un índice de aptitud. Cuenta inicialmente con una evaluación biofísica y se introducen técnicas de lógica difusa, para realizar la evaluación económica a partir de la construcción de un índice físico de aptitud. Este estudio utiliza un modelo denominado EconSuit que se basa en la propuesta de Rossiter (1995) para calcular los retornos netos (TIR) de cada unidad de tierra a mapear (Land Mapping Unit).

Swenson et al. (1998) realizan un estudio de clasificación y uso del suelo de la zona del plan ambiental del Chocó en Ecuador usando una escala 1:50.000. En el diagnóstico se incluye variables biológicas, socioeconómicas y de infraestructura. Se aplican encuestas que junto con el uso de información censal permite establecer variables que son confrontadas entre sí para definir patrones socio-económicos del área de estudio.

1.1.3 Metodologías de análisis multicriterio para la toma de decisiones

Recientemente se ha mostrado que el análisis multicriterio –MCDA- se viene convirtiendo en el método más usado para soportar y ayudar en procesos de toma de decisiones en los sistemas gubernamentales en múltiples latitudes (Gamper & Turcanu, 2007, Arriaza & Nekhay, 2010), además de ser ampliamente usados en la investigación agraria (Hazell, 1971, Gasson, 1973, Hatch et al., 1974, Herath, 1981, Rehman & Romero, 1993, Gómez-limón & Berbel, 2000) ya que representan una herramienta efectiva para incorporar valores conflictivos asociados a problemáticas complejas, permiten valorar variables de difícil cuantificación, convirtiéndose en un mecanismo para desarrollar trabajos en que intervienen múltiples disciplinas.

Las técnicas de MCDA consideran gran cantidad de información, relaciones y objetivos, generalmente presentes y que condicionan el comportamiento de un problema específico. El objetivo central es orientar al decisor para seleccionar la mejor alternativa que existe entre un conjunto de alternativas posibles, en un entorno donde prima la competencia y conflicto (Pietersen, 2006).

La aplicación de modelos multicriterio para la evaluación de tierras es relativamente reciente pues el mismo desarrollo de las metodologías y su consecuente aplicación cobra fuerza a partir de 1990. Rossiter (1995) ya identificaba algunos sistemas de evaluación multicriterio de tierras que perseguían múltiples objetivos. Romero y Rehman (2003) señalan la importancia del uso de modelos multicriterio para la toma de decisiones en la agricultura, ya que el paradigma de la programación matemática tradicional y la programación lineal en particular, no resultan ser adecuados para el modelado de problemas complejos de decisión.

En tal sentido se aclara que existen dos tipos de situaciones en la toma de decisiones. En primer lugar, se encuentran los problemas que involucran un solo criterio de decisión; y en segundo lugar, las situaciones en que se involucran o consideran varios objetivos o criterios (Fernández & Escribano, 2012). Por lo general quienes se enfrentan a tomar decisiones en realidad persiguen varios objetivos simultáneamente, por lo que el paradigma tradicional que plantea un único criterio resulta ineficiente para hacer frente a situaciones más complejas.

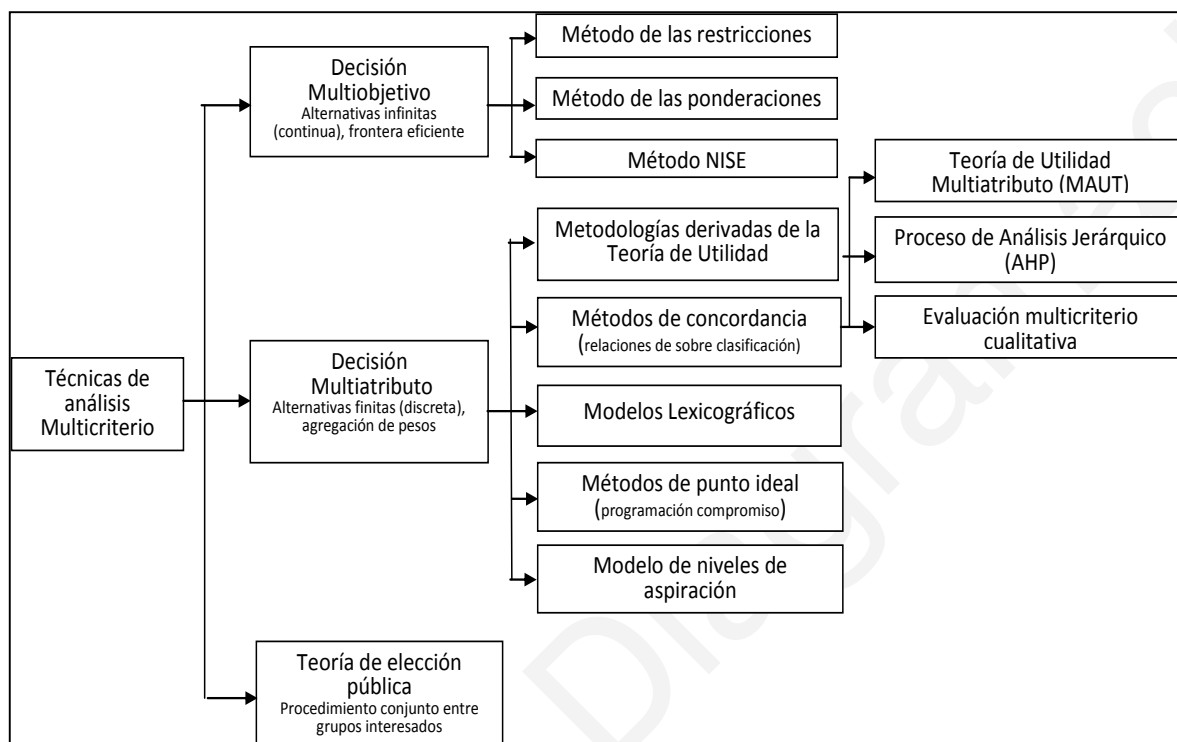
De acuerdo con Arriaza (2002) los métodos de decisión multicriterio se enmarcan en tres grupos: a. La programación multiobjetivo, que trata problemas de alternativas infinitas y su fin es hallar una solución eficiente en el sentido de Pareto (ver también Romero y Rehman, 2003); b. La programación multiatributo, en la cual las alternativas son finitas y el fin es determinar cuál de ellas tiene la valoración más alta de acuerdo a unos atributos, siendo denominados métodos de decisión multicriterio discreta los que hacen parte de este grupo y las técnicas se diferencian entre sí en la forma en que se agregan las prioridades y se normalizan los criterios. (Munda, 2008); c. Teoría de la elección pública, que intenta construir óptimos sociales buscando maximizar la satisfacción de todo el colectivo (Hollis et al, 1985)

De acuerdo con varios autores (Aranda, 2014; Munda, 2008; Nekhay, 2008) los modelos de decisiones multicriterio discreta pueden clasificarse como (Figura 2):

1.1.4 Metodologías derivadas de la teoría de la utilidad

- **Funciones de Utilidad Multiatributo (MAUT):** Se plantea la hipótesis de que cada agente económico se encuentra obligado a tomar decisiones buscando maximizar una función de utilidad basado en una serie de atributos a maximizar (Keeney y Raiffa, 1976; Hammond et al., 2001). Se busca entonces estimar una función de utilidad parcial para cada atributo, de acuerdo a las preferencias reveladas por los decisores, que luego se agregan en una función MAUT ya sea de forma aditiva o multiplicativa. Este enfoque sólido teóricamente, se basa en los supuestos de racionalidad que asociados al paradigma de la utilidad esperada cuya base axiomática fue propuesta por Von Neumann y Morgenstern (1944).
- **Proceso Analítico Jerárquico (AHP):** busca determinar los pesos que se asignan por los decisores a cada uno de los criterios, previamente incluidos en la estructuración jerárquica del modelo, a partir de la asignación de juicios de comparación por pares de todos los criterios que corresponden al mismo nivel en cada uno de las ramas jerárquicas que modelizan el problema (Saaty, 1994).
- **Proceso Analítico en Red:** es una modernización del AHP que permite el análisis de decisiones en las cuales existe interdependencia entre los elementos del modelo (Saaty, 2005), sintetiza el resultado de la independencia y retroalimentación dentro y entre los clúster de los elementos además que provee un marco teórico general utilizando una red sin la necesidad de niveles. Por lo anterior hace posible representar y predecir una variedad de competidores con las interacciones explícitamente conocidas e implícitamente asumidas y las fuerzas relativas que influyen en la toma de la decisión.

Figura 2. Clasificación de las principales técnicas de análisis multicriterio.



Fuente: Aranda (2014), Munda (1995), Nekhay (2008).

- **Evaluación Multicriterio Cualitativa** En estos métodos los atributos que conforman el modelo de análisis son medidos en escalas de tipo nominal u ordinal. Entre éstos se destaca el método de ponderación lineal (scoring), que es el más conocido y utilizado de los métodos de decisión multicriterio ya que permite abordar situaciones de incertidumbre con pocos niveles de información. En él se obtiene una puntuación global por la simple suma de las contribuciones obtenidas de cada atributo. Cuando se intervienen varios criterios con varias escalas es necesario normalizar los valores a fin de poder sumar las contribuciones de cada uno de los atributos (Burton et al., 2009).

1.1.5 Modelos de concordancia

Denominados también como métodos basados en relaciones de sobreclasificación (outranking relationship) ya que permiten realizar la comparación parcial entre los elementos. Entre estos métodos se destacan los desarrollados por en la escuela francesa, de la familia *ELECTRE* (Elimination et choix traduisant la réalité) planteados por Roy et al. (1966), y los de la familia *PROMETHEE* (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations).

1.1.6 Modelos lexicográficos

En estos las alternativas de decisión son ordenados según las preferencias en principio con respecto a un criterio; una vez si algunas de las alternativas resultan ser indiferentes se introduce un segundo criterio para ordenar y así sucesivamente (Isermann, 1982). Romero (1993) plantea que estos modelos son un subconjunto de la programación por metas, en los que el decisor asocia prioridades excluyentes a las diferentes metas; si las metas situadas en la prioridad más alta se satisfacen, se considera la posible satisfacción de metas situadas en prioridades inferiores.

1.1.7 Métodos de punto ideal

Conocidos en la literatura como modelos de programación compromiso. En estos se establece que existe una solución hipotética ideal que presenta algunos valores más altos en todos los atributos contemplados para el problema. Una vez se han establecido las alternativas susceptibles de implementar se selecciona la que más se aproxima al punto ideal (Zeleny, 1982). Entre estos métodos se destaca el TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) desarrollado en principio por Hwang y Yoon (1981) para la solución de problemas de tipo continuo, pero posteriormente adaptado para la solución de problemas multicriterio discreta

1.1.8 Modelo de nivel de aspiraciones

Denominados como programación por metas (Charnes et al., 1955; Charnes & Cooper, 1957), en estos modelos el decisor define valores aceptables para cada atributo (Arriaza, 2002). Si la primera de las alternativa analizada resulta cumplir con los valores mínimos establecidos es considerada como válida (Romero, 1993).

Método de Análisis Propuesto: Proceso de Análisis Jerárquico (Analytic Hierarchy Process– AHP)

El AHP es uno de los métodos de decisión multicriterio discreta cuyo uso ha tomado mayor fuerza durante las últimas década. Propuesto por Saaty (1980) para problemas de decisión en que intervienen criterios cualitativos, supone una sofisticación metodológica del método de Scoring. Es ampliamente usado en situaciones en las que existen múltiples escenarios, actores y criterios. Inicia con el planteamiento en una jerarquía compuesto por los criterios que son considerados relevantes para dar solución al problema a analizar, se realiza consulta con expertos o personas de la sociedad que por medio de juicios de valor en que comparan pares de criterios que pertenecen a un mismo nivel y nodo en la jerarquía modelada, usando una escala numérica asociada a descripciones semánticas para ello, permite construir matrices de juicios que tras el cálculo de vectores propios hace posible establecer las prioridades asociadas por los decisores a cada uno de los elementos del modelo y su importancia relativa para cada una de las alternativas comparadas (Moreno Jiménez, 2002).

Aplicaciones de métodos multicriterio en la evaluación de tierras

Entre los primeros trabajos que utilizaron el AHP a la evaluación de tierras se encuentran el de Romero y Remhan (2003) cuya primera edición data de 1989. Ceballos-Silva & López-Blanco (2010) Utilizan una metodología multicriterio AHP mezclada con SIG para evaluar la aptitud de las tierras para diferente cultivos en México, no obstante no utiliza criterios socioeconómicos, siendo el principal objeto determinar la aptitud de los suelos. Por su parte, Jozi y Ebadsadeh (2013) realizan un trabajo similar, aunque incluyen un método Delphi para realizar un panel de expertos y tuvo una consideración marginal del tema socioeconómico. Akinci et al. (2013) desarrollan un trabajo del mismo estilo en Turquía en donde encuentran la aptitud del suelo basados el método AHP usando para tal fin SIG y utilizando criterios de expertos para determinar los pesos del modelo. Estudios como estos son los más abundantes en la literatura (Malczewski, 1999; Gómez y Barredo, 2006) pero tienen dos deficiencias fundamentales; primero el componente socioeconómico no has sido abordado entre los criterios del modelo, quedando excluido del grueso del proceso (Arriaza y Nekhay, 2010); y segundo, los trabajos precedentes no garantizan la participación activa de los interesados en el proceso de planificación.

En cuanto a la sostenibilidad de la agricultura, pueden encontrarse varios trabajos que han abordado explícitamente el problema. Por un lado se tiene el trabajo de (Hermanides & Nijkamp, 1998) quienes aplican un método multicriterio para hacer operativo el desarrollo sostenible en el marco de la agricultura, aplicando el análisis a los olivares de islas Lesvo en Grecia. El método que utilizan es cualitativo y basado en una evaluación de impacto ambiental.

El trabajo de Parra et al. (2008) involucra el uso de AHP por medio de consulta a grupos de expertos para realizar un análisis las preferencias de la sociedad acerca de la implementación de diferentes sistemas de cultivos de olivos en el sur de España como aporte al desarrollo sostenible y a la multifuncionalidad del territorio. Usando ANP Parra et al. (2009) realizan un estudio en el que pretenden evaluar los beneficios totales (privados y públicos) de mercado y no-mercado de la actividad lechera.

Arriaza y Nekhay (2010) usando AHP y ANP combinado con SIG, realizan un análisis de la multifuncionalidad agrícola relacionada con un olivar en España. Se genera una serie de representaciones geográficas de cinco modelos de evaluación que permiten visualizar diferentes aspectos (visibilidad, recuperación de hábitat, riesgo de erosión, riesgo de incendios, producción de aceite de oliva). Posteriormente, estos modelos son agregados mediante una función de utilidad en un solo mapa, y se contrasta el estado actual versus el estado óptimo.

Tabla 1. Síntesis de modelos y estudios relevantes de evaluación de tierras.

Sistemas de evaluación	Método	Descripción	Estudios
Interpretaciones desde el inventario de suelo y producto agrícola	FCC: Clasificación de capacidad de fertilidad	Se basa en las propiedades fisicoquímicas del suelo.	(Sanchez et al., 2003)
	Índices de productividad	Índices mutiplicativos para rankear las propiedades del suelo respecto al producto	(Laya et al., 1998)
	Clasificación de potencial del suelo	Clases de calidades relativas. Asigna puntajes a 1. nivel de producto o desempeño; 2. costo relativo de aplicar tecnologías; 3. efectos adversos sobre limitaciones en valores socioeconómicos o ambientales	(Beatty et al., 1979)
	LESA: Evaluación de tierras y evaluación del sitio	Calidad relativa del suelo basada en características medurables específicas: se basan en varios indicadores que son agregados	(Coughlin et al. 1994); (Hoobler et al., 2003)
AEZ: Zonificación agroecológica		Evaluación cuantitativa basada en la adaptabilidad de plantas a ciertas regiones	(Kassam et al., 1991)
Combinación de evaluación de tierras y análisis de sistemas agrícolas	LEFSA: evaluación de tierras y análisis de sistemas agrícolas	Primer sistema en relacionar actividades agropecuarias a sistemas georeferenciados y al concepto de escala.	(Alfaro et al., 1994); (Anaman and Krishnamra 1994)
	SLM: Administración sostenible de tierras	Integra tecnología, políticas y actividades con 5 principios: i. Productividad (económica); ii. Seguridad (menos riesgo); iii. Protección (Ambiental); iv. Viabilidad (económica); v. Aceptabilidad (social)	(Dumanski and Smyth 1994)
	FESML: Marco para evaluar la administración de sistemas sostenibles	Sigue una serie de pasos lógicos científicamente bien fundados: 1) Identificación del propósito de la evaluación, específicamente los sistemas de uso de la tierra y prácticas de administración; 2. Definición del proceso de análisis (Factores de evaluación, criterios de diagnóstico, indicadores, límites); 3. Evaluación final que determina el estado de sostenibilidad del sistema. Utiliza indicadores de desempeño en vez de idoneidad de la tierra	Smyth and Dumanski, 1995)

Sistemas de evaluación	Método	Descripción	Estudios
Sistemas computarizados de evaluación de tierras y sistemas de información geográfica	ALES: Sistema de evaluación de tierras automática	Es un sistema computarizado que introduce el Marco FAO 1976 en un sistema que permite al evaluador construir su propio sistema de expertos	(ALES; Rossiter 1990)
	Micro LEIS	Componentes principales: 1. Evaluación de tierras (suelos); 2. uso de datos y conocimiento; 3. Datos meteorológicos mensuales; 4. Aproximación agroecológica integrada; 5. Generación de output en forma de GIS	(De la Rosa et al., 2001)
	Metodología SOLUS (Opciones sostenibles para el uso de tierras)	Genera coeficientes técnicos para cuantificar entradas y salidas de un sistema de producción y se optimiza el excedente económico regional por medio de programación lineal (Indicadores: A Económicos: Excedente y Empleo; B Biofísicos: Balances NPK, uso biocida; generación de GHG; pérdida de nitrógeno)	(Bouman et al., 1998)
	ISLE: Sistema inteligente para evaluación de tierras	SIG combinado con análisis de expertos	(Tsoumakas and Vlahavas 1999)
	LUCIE: Investigación y evaluación de capacidades de uso de la tierra	Principalmente para uso educativo	
Evaluaciones de tierras usando observaciones terrestres	CYSLAMB: Simulación de producción de los cultivos y modelo de evaluación de tierras para Botswana	Modelo dinámico de biomasa basado en datos históricos del clima para predecir producción potencial agrícola. Considera variables socioeconómicas para simular la producción	(Tersteeg 1994)
		Uso de imágenes satelitales y técnicas estadísticas para identificar y predecir cambios de uso del suelo	(Turner 1997; Wear and Bolstad 1998)
Otros identificados	EconSuit	Basado en la Metodología de Rositer (1995) busca desarrollar indicadores financieros	(Samranpong, Ekasingh, & Ekasingh, 2009)
	Maximización de beneficios	Modelo econométrico tipo Tobit para encontrar factores principales de cambios en usos del suelo	(Fezzi&Bateman, 2011)

Sistemas de evaluación	Método	Descripción	Estudios
Metodos Multicriterio - Multiobjetivo		Trata problemas de alternativas infinitas y su fin es hallar una solución Pareto eficiente.	(Romero y Rehman, 2003)
Métodos Multicriterio - Multiatributo	MAUT: Teoría de la Utilidad Multiatributo	Busca estimar una función de utilidad parcial para cada atributo, de acuerdo a las preferencias reveladas por los decisores, que luego se agregan en una función MAUT.	(Arriaza, 2002)
	AHP o ANP: Proceso Analítico Jerárquico o Proceso Analítico en Redes	AHP: Determinación de pesos a partir de la asignación de juicios de comparación por pares de todos los criterios que corresponden al mismo nivel en cada uno de las ramas jerárquicas que modelizan el problema; ANP: es una modernización del AHP que permite el análisis de decisiones en las cuales existe interdependencia entre los elementos del modelo	(Parra-López et al., 2009; Parra-López et al., 2008; Villanueva, Gómez-Limón, Arriaza & Nekhay, 2014; Arriaza y Gómez-Limón, 2011; Arriaza y Nekhay, 2010; Nekhay, 2008)
	Métodos Cualitativos	En estos métodos los atributos que conforman el modelo de análisis son medidos en escalas de tipo nominal u ordinal.	(Hermanides&Nijkamp, 1999)

Estimación de la función de utilidad

El modelo AHP evolucionó de la Teoría de Utilidad Multiatributo (MAUT, por siglas en inglés) y por ello se presenta en breve algunas de sus características. La MAUT sigue el procedimiento general de las teorías de la utilidad en los cuales se plantea que el agente económico persigue el objetivo de maximizar su utilidad; a diferencia de la teoría clásica de la utilidad en el proceso no interviene un único atributo, sino un conjunto de atributos. En este sentido, se plantea la estimación de una función de utilidad parcial para cada atributo de acuerdo a las preferencias reveladas de quienes toman las decisiones, y así se plantea un procedimiento de agregación de las utilidades parciales en una función de utilidad agregada. Los procedimientos de agregación que se han planteado son el *aditivo* y el *multiplicativo*.

Si el problema multicriterio al que se enfrenta el evaluador se caracteriza por ser discreto, es decir, tener un número finito de criterios de evaluación g_j , $j = 1, 2, \dots, n$, y un número finito de alternativas b_i , $i = 1, 2, \dots, m$, para cada criterio g_j se establece una función de utilidad parcial, $u_j(g_j(\cdot))$. La función de Utilidad Multiatributo se establece mediante un procedimiento de agregación de las utilidades parciales y es función de las alternativas $[U(b_i) =$

$f(u_1(g_1(b_i)), u_2(g_2(b_i)), \dots, u_m(g_m(b_i)))$], y con este planteamiento el problema se vuelve el de escoger la alternativa b^* que maximiza $U(b_i)$.

La función de agregación ($f(\cdot)$) suele ser una función lineal aditiva, o una multiplicativa. En el primer caso:

$$U(a_i) = \sum_{j=1}^m w_j \cdot u_j(g_j(b_i))$$

Donde w_j es el peso de cada criterio.

El cálculo de funciones de utilidad asociada a las alternativas evaluadas, en función del aporte que realiza a los elementos del modelo, usando para ello los pesos de importancia de criterios y alternativas, permite a los decisores establecer ranking que expresan el aporte de las alternativas para llegar a implementar decisiones que se consideran más óptimas.

Componente biofísico en la evaluación de tierras

El marco conceptual para la evaluación del componente biofísico tiene en cuenta los criterios consignados en el documento “Consolidación de la Metodología General de Evaluación de Tierras para la Zonificación con Fines Agropecuarios a Nivel Nacional: Propuesta General (UPRA-2013).

Acorde con este esquema de evaluación, se busca contrastar la oferta edafoclimática del territorio evaluado, versus los requerimientos de los tipos de utilización específico a una escala más detallada.

Esta parte hace referencia al componente Unidades de Tierra (UT), incluye la selección de las unidades de tierra para el análisis biofísico, la descripción de las características espaciales y los atributos de las mismas, utilizados como características y/o cualidades para ser confrontados con los requerimientos de los Tipos de Utilización de la Tierra (TUT), a fin de alcanzar el propósito de la evaluación, que es determinar o predecir el comportamiento de una porción de tierra para fines específicos productivos (agrícola, ganadero o forestal) o para la prestación de servicios (áreas de recreación, áreas para la vida silvestre, construcción de caminos, captación de aguas, etc.) (FAO, 1997).

Es importante destacar que en el contexto de evaluación de tierras, el término tierra, no hace referencia exclusiva al componente suelo (aunque éste sea un factor central), sino al conjunto de condiciones ambientales presentes en una porción del terreno que influyen sobre el uso y la producción agropecuaria. Se incluyen el clima, el relieve, la geología, la vegetación y las características hidrológicas, además del suelo mismo. Por consiguiente, la categoría tierra tiene la connotación de terreno o porción de un territorio, al menos desde la perspectiva biofísica del mismo.

2. UNIDADES DE TIERRA – UT-

Selección de las unidades de tierra

Una unidad de tierra, es una extensión de tierra, mapeada, con características específicas, empleada como base para la evaluación de tierras, estas unidades deberán ser lo más homogéneas posibles y tener un valor funcional práctico con relación al uso de la tierra. La información generada en levantamientos de recursos básicos, particularmente aquella que pueda ser relacionada con los requerimientos ecofisiológicos de los tipos de utilización agrícola y pecuario.

Colombia, cuenta con información de sus recursos naturales a escalas generales. Instituciones de orden nacional, como Ideam, Ingeominas, IGAC, Corpoica y Von Humboldt, han contribuido a enriquecer el acervo cartográfico y científico por mas de seis decadas.

En el contexto de la clasificación de tierras para diversos usos cabe resaltar la cobertura total del país a escalas (1:500.000) con mapas de clima, geología, zonas agroecológicas, ecosistemas y, más recientemente, mapas de suelos, coberturas terrestres y conflictos de uso escala 1:100.000.

Los gremios de la producción han comprendido la importancia de tener caracterizados sus suelos a escala detallada 1:10.000 y han invertido importantes recursos, por ejemplo Cenicaña ha realizado el levantamiento detallado de parte la zona plana del Valle del Cauca (219.000 ha), y Cenipalma ha realizado el levantamiento detallado de la zona central palmera (10.000 ha), otros gremios como el de los productores de banano de Uraba han realizado similares ejercicios

Con la información detallada 1:10.000 los productores de caña, palma y banano han desarrollado diferentes aproximaciones a la evaluación de tierras para estos cultivos, y han introducido conceptos de zonas homogéneas y manejo por sitio específico, las cuales han aumentado su competitividad y son la base para orientar las decisiones de manejo nutricional, hídrico, mecánico y agrónomico que soportan su negocio.

Para la evaluación de tierras a escala semidetallada de ésta propuesta, se hace necesario disponer de información de levantamientos de suelos a escala 1:25.000.

La información de los mapas de suelos existentes, de escala general, debe ser incrementada mediante el aumento en el detalle de la interpretación de fotografías aéreas o imágenes de satélite y se debe llevar a cabo una comprobación de campo exhaustiva, que conduzca a una delimitación más detallada asociada generalmente a las formas del terreno, con el objeto de establecer zonas con mayor grado de homogeneidad, en términos de clima, geomorfología y oferta agronómica (Malagón, 1998).

Como requisito para avanzar en los estudios de evaluación de tierras a esca semidetallada (1:25.000), es necesario avanzar en recolectar información a esta escala, enriqueciéndola con una cartografía básica que incluya vías, centros poblados, hidrología y todos aquellos aspectos de la infraestructura que permitan llevar a cabo, en condiciones adecuadas, la evaluación de los aspectos que determinan la viabilidad económica de un tipo de utilización específico.

Frente a la evidente necesidad de ampliar la base del conocimiento y las interpretaciones tendientes a fortalecer los procesos de planificación del uso de la tierra, el Estado colombiano requiere impulsar iniciativas que emprendan la caracterización de ambientes ecológicos estratégicos, páramos y humedales, a escala 1:25.000.

Es de resaltar el interés del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, quien ha desarrollado acciones para proveer información que apoye los procesos de planificación de áreas estratégicas para el desarrollo agrícola del país, promoviendo los levantamientos a escala semidetallada 1:25.000 de: el Departamento de Quindío IGAC (2013), el Municipio de Fusagasuga (Cundinamarca) (IGAC, 2010), Estudio Semidetallado de Suelos de las áreas potencialmente agrícolas del departamento de Antioquia (2007) y el Estudio Semidetallado de la Altillanura Plana del Municipio de Puerto Gaitán (Meta), actualmente en edición.

Es importante aclarar que todos los estudios de suelos del IGAC, escala 1:25.000, tienen un capítulo de clasificación de las tierras por su capacidad de uso, en ellos, la Capacidad es definida como el potencial que tienen las tierras para ser utilizadas bajo cierto tipo general de uso, con prácticas de manejo específicas, (IGAC, 2002).

Los estudios de suelos escala 1:25.000, contienen y presentan el inventario morfológico de los suelos, su extensión, clasificación, el estudio e interpretación de las propiedades o atributos asociados a las unidades espaciales (polígonos) y la relación con los factores formadores (geología, geomorfología, clima, organismos y tiempo), todos ellos fuente importante de datos para llevar a cabo la evaluación biofísica de las tierras, de ésta propuesta.

Los mapas de suelo a escala semidetallada (1:25000 a 1:50000) son utilizados a nivel de Municipio o cuenca, tienen de media a alta densidad de observaciones, y un exhaustivo control de campo. Las unidades cartográficas tienen un mayor grado de homogeneidad (Consociaciones y Complejos), las clases taxonómicas son de nivel categórico bajo (Familias, Fases de Familia y en algunos casos Series) en el sistema de Clasificación Taxonómica de los Suelos (USDA, 2014), o Subunidades de la Base de Referencia Mundial del Recurso Suelo (WRB – FAO, 2014).

La precisión esta dada por la relación entre el área de decisión mínima (ADM) correspondiente a la delimitación óptima legible (DOL) de un mapa, convertida a escala real e ilustrada en la tabla 2. En la práctica, acorde con las especificaciones de los levantamientos de suelos en el país, para los estudios semidetallados escala 1:25.000 a 1:50.000 la unidad de decisión (planificación) oscilaría entre 10 y 40 hectáreas, en tanto que para la escala 1:100.000 el tamaño sería de 160 hectáreas aproximadamente.

Tabla 2. Relación entre la escala, unidad de levantamiento y la ensificación de los puntos

ESCALA MAPA	ADM (ha)	DOL (ha)	DENSIDAD DE MUESTREO (m)
1:10.000	0.4	1.6	64 - 128
1:25.000	2.5	10	158 - 316
1:50.000	10	40	316 - 632
1:100.000	40	160	632 - 1264
1:500.000	1000	4000	3162 - 6324

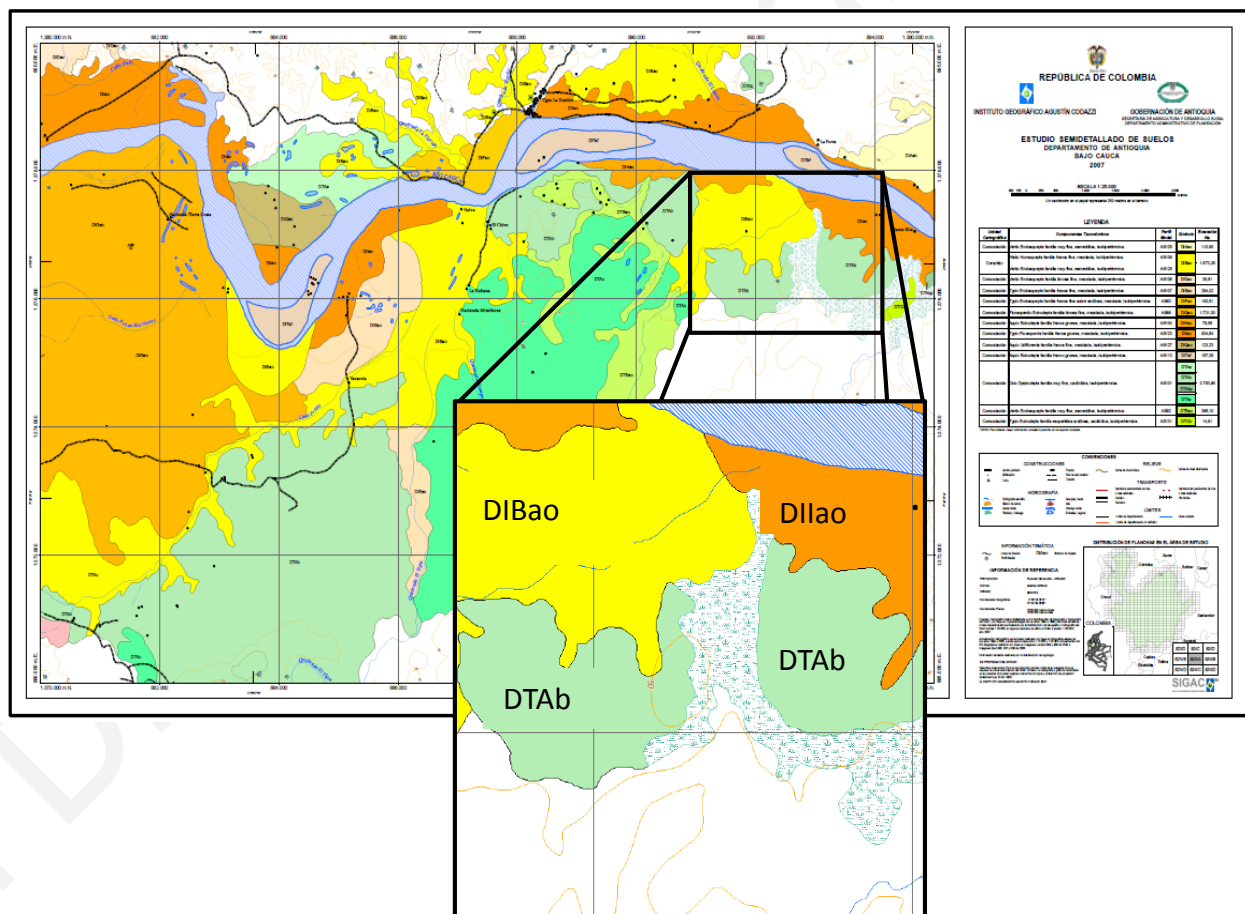
Adaptado de Rossiter (1994)

En los estudios de suelos, las unidades cartográficas espaciales (polígonos en el mapa), se vinculan mediante un símbolo que aparece en la leyenda estructurada de tal forma que es posible para cada unidad obtener información general del material parental, la geomorfología (descrita hasta nivel de forma del terreno), las unidades cartográficas y sus componentes taxonómicos, algunas características generales de los suelos, los perfiles modales representativos, el % que ocupan y la extensión en ha de las unidades de suelo (tierra, en el contexto de la evaluación).

Esta información es consultada por el evaluador para cada zona o región a evaluar y el detalle de los atributos que utilizará como características y/o cualidades en la evaluación es extraído de allí siguiendo estos pasos:

Paso 1. En el mapa (ejemplo, figura 3) seleccione la unidad cartográfica a evaluar, identifíquela mediante el símbolo o color que agrupa una o más delineaciones o polígonos.

Figura 3. Mapa Semidetallado de Suelos Departamento de Antioquia – Bajo Cauca Plancha S_83IIIA. IGAC, 2007.



Cada estudio incluye una explicación del símbolo

D I B a o

D : Paisaje, Planicie aluvial del río Cauca
I : Tipo de Relieve, Plano de Inundación
B : Primera Unidad Cartográfica descrita
a : Fase por pendiente, ligeramente plana (1-3%)
o : fase por inundaciones (ocasionales).

El símbolo, lo llevará a la leyenda (ejemplo, Tabla 3) en donde usted podrá identificar para la unidad de tierra de interés, su ubicación en el paisaje, el tipo de relieve y la forma del terreno, el material que dio origen al suelo, algunas características generales del mismo y el tipo de Unidad Cartográfica a evaluar: Consociación y/o Complejo con sus componentes taxonómicos clasificados hasta el nivel de Familia, además de las fases cartográficas.

Tabla 3. Leyenda del Mapa Semidetallado de Suelos Departamento de Antioquia – Bajo Cauca
Plancha S_83IIIA IGAC, 2007.

Paisaje Ambiente Morfo- genético	Tipo de relieve	Forma del terreno	Litología y/o sedimento s	Características de los suelos	Unidad Cartográfica y Componentes Taxonómicos	No Perfil	%	Símbolo	Extensión Ha
PLANICIE ALUVIAL DEL RIO CAUCA	PLANO DE INUNDACIÓN	CUBETA DE DECANTACIÓN	Aluviones muy finos y medios	Superficiales, pobremente drenados, de texturas finas a moderadamente finas, reacción fuerte y muy fuertemente ácida, media a alta saturación de bases, contenido medio a bajo de carbón orgánico y fertilidad moderada a alta	Complejo Histic Humaquepts Familia franca fina, mezclada, isohipertérmica	AS10 8	40	DIBaf	5474
					Vertic Endoaquepts Familia muy fina, esmectítica, isohipertérmica	AS12 5	30		
					Aquertic Eutrudepts Familia fina, mezclada, isohipertérmica	AS84	30	DIBao	
	TERRAZA	PLANO DE TERRAZA Y TALUD	Aluviones muy finos	Profundos, de texturas muy finas y finas, bien drenados, reacción extremadamente ácida, baja saturación de bases, contenidos medios a bajos de carbón orgánico y fertilidad natural baja a muy baja	Consociación Oxic Dystrudepts familia muy fina, caolinitica, isohipertérmica	AS10 1	75	DTAa	
								DTAb	
							15	DTAbp	
					Oxic Dystrudepts familia fina, caolinitica, isohipertérmica	AS12 1		DTAb3	
								DTAc	
								DTAd	

Fuente: IGAC, 2007. Extraído

Paso 2. Para interpretar las Consociaciones, busque el símbolo en la leyenda (tabla 3) y elija el componente taxonómico, perfil modal, que ocupe el mayor porcentaje, generalmente por encima del 75%.

Para interpretar los complejos, proceda de manera similar, pero esta vez, tome la información de cada uno de los componentes (2 o más perfiles modales). Una vez haya realizado la evaluación, usted deberá calificar la unidad, con aquel componente, que tenga el mayor grado de limitación para el uso que esta valorando.

Para las fases cartográficas (erosión, pendiente, salinidad, sodicidad, encharcamientos o inundaciones) utilice esta información para valorar cada delineación o polígono.

Paso 3. Una vez haya seleccionado el perfil o perfiles modales, busque en la memoria del estudio la información vinculada al símbolo y que aparecerá en la descripción de las unidades cartográficas, proceda a buscar en el documento la descripción del perfil o perfiles modales y extraiga la información con la que deberá calificar la oferta edafoclimática.

En este caso vamos a tomar como ejemplo uno de los perfiles modales (AS 84) del Complejo identificado con el símbolo DIBao, en el mapa de la Figura 3 y la leyenda de la Tabla 3.

Descripción de sitio

Perfil No: AS84 **Tipo de perfil:** Modal
Taxonomía: Aquertic Eutrudepts Familia fina, mezclada, isohipertérmica
Unidad Cartográfica: Complejo **Símbolo unidad cartográfica:** DIBao
Localización geográfica: Departamento: Antioquia. Municipio: Caucaasia
Sitio: Costado izquierdo de la vía que conduce al caserío La Ilusión, en la hacienda El Paraíso
Coordenadas planas: 1'381.152 N; 887.960 E. **Altitud:** 44 m.s.n.m
No. Foto aérea: 111. **No. Vuelo:** C2214. **No. Plancha:** 83 I C
Paisaje: Planicie aluvial del río Cauca. **Tipo de relieve:** Terraza
Forma del terreno: Bajo. **Litología / sedimentos:** Aluviones finos
Clase de pendiente: Ligeramente plana. **Grado de la pendiente:** 0 - 3%
Clima ambiental: Cálido húmedo
Precipitación promedio anual: 2.000 a 3.000 mm
Temperatura promedio anual: 28°C. **Clima edáfico:** Údico e isohipertérmico.
Tipo y grado de erosión: No presenta
Tipo y clase de pedregosidad superficial: No presenta
Drenaje natural: Imperfecto **Nivel freático:** Profundidad: 100 cm
Inundaciones: Frecuentes. **Duración:** largas
Profundidad efectiva: Moderadamente profunda
Horizontes diagnósticos: Epipedón ócrico y endopedón cámbico
Características diagnósticas: Régimen de humedad údico, características redoximórficas y **coeficiente de extensibilidad lineal mayor de 6 cm**
Vegetación natural: Sustituida totalmente por pastos
Uso actual: Ganadería semiintensiva en pastos naturales (panameña, mindaca, canutillo)
Limitantes del uso: Inundaciones y encharcamientos
Descrito por: José Samuel Botón Jiménez
Fecha: Septiembre 27 de 2006

Descripción de los horizontes morfogénéticos



00 – 14 cm Ap	Color en húmedo gris verdoso (5G5/1) con moteados de color rojo (2.5YR5/8), frecuentes (10%), pequeños, diferenciados; textura arcillosa; estructura en bloques angulares, medios y gruesos, fuertes; consistencia en húmedo muy friable, en mojado muy pegajosa y muy plástica; frecuentes poros muy finos y finos; muchas raíces muy finas y finas, vivas y de distribución normal; poca actividad de macroorganismos; pH 4.4, reacción extremadamente ácida; límite claro y plano.
14 – 40 cm Bw1	Colores en húmedo rojo (2.5YR6/8) y rojo claro (2.5YR7/8) en un 20%; textura arcillo limosa; estructura en bloques subangulares, medios, moderados; consistencia en húmedo muy friable, en mojado muy pegajosa y muy plástica; frecuentes poros finos y medianos; frecuentes raíces finas y medias, vivas y de distribución normal; poca actividad de macroorganismos; pH 4.6, reacción muy fuertemente ácida; límite gradual y plano.
40 – 60 cm Bw2	Colores en húmedo oliva (5Y5/6) y gris oliva claro (5Y6/2); textura arcillo limosa; estructura en bloques subangulares, medios, moderados; consistencia en húmedo muy friable, en mojado muy pegajosa y muy plástica; frecuentes poros finos y medianos; pocas raíces medias, vivas y de distribución normal; no hay actividad de macroorganismos; pH 4.8, reacción muy fuertemente ácida; límite claro y plano.
60 – 90 cm Bw3	Colores en húmedo gris rojizo (2.5YR7/1) y rojo claro (2.5YR6/8) en un 10%; textura arcillosa; estructura en bloques subangulares, medios, moderados; consistencia en húmedo muy friable, en mojado muy pegajosa y muy plástica; frecuentes poros muy finos, finos y medianos; no hay raíces; no hay actividad de macroorganismos; pH 5.2, reacción fuertemente ácida; límite gradual y plano.
90 – 140 cm C	Colores en húmedo rojo (2.5YR5/6) y gris rojizo (2.5YR7/1); textura franco arcillosa; sin estructura, masiva; consistencia en húmedo muy friable, en mojado muy pegajosa y muy plástica; frecuentes poros muy finos, finos; no hay raíces; no hay actividad de macroorganismos; pH 4.9, reacción muy fuertemente ácida.

Fuente: descripción tomada textualmente del Levantamiento Semidetallado de Suelos del Departamento de Antioquia, Bajo Cauca.(IGAC, 2007).

En la descripción de los perfiles modales se encuentra la información externa, que corresponde al sitio donde éste se halla ubicado y que esta acompañada por la descripción de los horizontes morfogenéticos. Para las dos se hallan resaltados en color rojo algunos de los atributos que se valoran durante la evaluación de tierras.

Para el ejemplo del perfil AS 84, se presentan las tablas con los resultados de los análisis granulométricos, químicos y físicos (tablas 4A, 4B y 4C, 5A y 5B). Para algunos perfiles se consignan datos la mineralogía de las fracciones arenas y arcillas y en algunos casos análisis micromorfológicos. La información descrita, complementada con datos provenientes de otras estudios temáticos es la fuente para calificar las características o cualidades en el proceso de evaluación de tierras.

Tabla 4 A. Resultados de granulometría y análisis químicos del perfil AS84

Profundidad cm	Granulometría %			Clase Textural	Gravilla %	pH 1:1	C.O. %	M.O. %	N Total %	CaCO ₃	CaCO ₃ equival ente	P ppm	Fertilidad	
	Arenas	Limos	Arcillas										Valor	Calific.
00-14	0.25	33.80	63.92	Ar		4.50	1.30	2.47	0.12			0.61	5.84	Moderada
14-40	8.69	44.1	47.25	ArL		4.70	0.41	0.78	0.04			1.4		
40-60	3.3	44.9	51.75	ArL		4.8	0.25	0.48	0.02	(-)		ND		
60-90	7.17	27.2	65.62	Ar		5.3	0.21	0.40	0.02	(-)		0.61		
90-140	24.8	38.1	37.10	Far		5.0	0.08	0.15	0.01	(-)		1.0		

Tabla 4 B. Resultados de análisis químicos del perfil AS84

Profundidad cm	Complejo de cambio cmol/kg									Saturaciones %				
	CICA	CICE	CICV	BT	Ca	Mg	K	Na	Al	SCa	SMg	SK	SNa	SAI
00-14	35.4	19.84	15.56	13.94	9.7	3.8	0.18	0.26	5.90	27.40	10.73	0.51	0.73	29.74
14-40	32.6	21.19	11.41	17.59	12.2	5.0	0.19	0.20	3.60	37.42	15.34	0.58	0.61	16.99
40-60	36.6	26.1	10.49	24.9	17.0	7	0.28	0.23	1.20	46.56	20.22	0.77	0.63	4.60
60-90	38.3	25.33	12.97	25.20	16.3	8.3	0.4	0.24	0.1	42.56	21.67	0.94	0.63	0.51
90-140	51.6	39.94	11.66	38.54	22.4	15.4	0.36	0.38	1.4	43.41	29.84	0.70	0.74	3.51

Tabla 4 C. Resultados de análisis químicos del perfil AS84

Profundidad cm	Saturaciones %		Relación de cationes			Relación CICA/Ar	C.E. dS/m	RAS	PSI	Clase
	SBA	SBE	Ca/Mg	Mg/K	Ca+Mg/K					
00-14	39.38	100	2.55	21.11	75	0.55				
14-40	53.96	100	2.44	26.32	90.53	0.69				
40-60	68.06	100	2.3	26.43	87.14	0.71				
60-90	65.8	100	1.96	23.06	68.33	0.58				

Tabla 5 A. Resultado de los análisis físicos del perfil AS84

Profundidad cm	Densidad g/cm ³		Porosidades %			Contenido de humedad %				
	Aparente	Real	Macro	Micro	Total	Satur.	30kPa	100kPa	500kPa	1500kPa
00-14	1.1					59.5	49.34	42.3	39.12	32.86
14-40	1.01	2.74	11.28	51.85	63.14	53.21	43.7	37.79	35.24	31.84

Tabla 5 B. Resultado de los análisis físicos del perfil AS84

Profundidad cm	Humedad Aprovechable			Límites de plasticidad			COLE
	%	Vol.	cm	Líquido	Plástico	Ind. Plast.	
00-14	16.48	18.13	4.53	70.35	41.34	29.01	0.119
14-40	11.86	11.96	2.99	93.02	39.97	53.05	0.119
40-60							0.099
60-90							0.034

Características y cualidades de las unidades de tierra

Las características de la tierra, son atributos cuantitativos o cualitativos que se utilizan para calificar la aptitud de una unidad de tierra respecto de un tipo de utilización seleccionado. Estas características, describen las cualidades de la tierra, por ejemplo el drenaje natural, la textura y la profundidad del nivel freático, pueden ser utilizados para describir la disponibilidad de oxígeno para las plantas.

Las cualidades de la tierra, son atributos de las unidades de tierra que actúan de manera diferencial sobre la aptitud de una unidad de tierra respecto de un tipo de utilización específico, por ejemplo, la cualidad condiciones de enraizamiento, evaluada utilizando la característica profundidad efectiva, en una unidad de tierra cuyo espesor es igual a 65 cm, tiene un grado de aptitud alto para los tipos de utilización arroz, maíz, sorgo, pasturas, moderado para palma de aceite y no apto para caucho.

La evaluación de tierras puede efectuarse indistintamente utilizando características individuales, cualidades medidas o estimadas mediante una o más características o una combinación de las dos. FAO (1985) propone un conjunto de cualidades y características para ser usadas en el proceso de evaluación de tierras. El número de características y cualidades 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. En la tabla 5 se presentan las cualidades de las unidades de tierra que se asocian a una o más características (indicadores) propuestas para la evaluación escala 1:100.000, en el marco del Contrato 124 de 2013 (UPRA, 2013).

A continuación, la tabla 6 describe algunas de las cualidades y características necesarias para determinar la oferta edafoclimática que posteriormente debe ser contrastada con los requerimientos ecofisiológicos específicos de cada tipo de utilización.

Tabla 6. Cualidades y características de las unidades de tierra

CUALIDAD DE LA TIERRA (Función o proceso)	CARACTERÍSTICA DE LA TIERRA (indicador de calidad)
Clima ambiental ¹	Clase climática (Köpen, Thorntwaite) Pisos térmicos Provincias de humedad (Caldas Lang) Precipitación (cantidad, distribución, intensidad) Temperatura (anual, mensual) Evapotranspiración Humedad Relativa Brillo solar Balance hídrico Régimen de humedad del suelo ₂ Régimen de temperatura del suelo
Relieve (Topografía) ¹	Pendiente ² Forma de la pendiente Longitud de la pendiente Exposición Aspecto Microrelieve
Disponibilidad de Oxígeno en la zona radicular	Condición de drenaje ₂
Disponibilidad de agua en la zona radicular	Régimen de humedad Textura ₂
Disponibilidad de nutrientes	pH Saturación de aluminio Saturación Ca, Mg, K Relaciones Ca, Mg, K % Carbono Orgánico % Materia Orgánica % Fósforo
Exceso de sales	Salinidad Sodicidad
Toxicidades del suelo	Aluminio Carbonatos de calcio Yeso Sulfato ácido
Capacidad de laboreo	Pendiente ² Profundidad efectiva Textura ² Volumen de piedras
Riesgo Erosión	Efecto de la pendiente (factor LS) Efecto de la cobertura (factor C. índices cobertura) Efecto del suelo (Factor K) Efecto de lluvias (Índice de Fournier)
Riesgo de degradación	Compactación Contaminación
Riesgos climáticos	Heladas Sequias
Riesgos de inundación	Duración de la inundación Frecuencia de la inundación
Plagas y enfermedades	Plagas Enfermedades

Fuente: Informe final contrato 124 UPRA (2013)

2.1.1 Clima ambiental

El clima, cualidad de las unidades de tierra, tiene incidencia directa sobre la fisiología de las plantas y afecta de manera directa el proceso de fotosíntesis y por ende el crecimiento, la producción y la calidad de los cultivos.

La caracterización del clima se puede usar para zonificar preliminar de las unidades de tierra y dentro de éstas seleccionar los tipos de utilización a evaluar. Para lo cual se toman datos disponibles históricos de las estaciones climáticas en el área a evaluar (estadísticas y promedios de temperatura, precipitación, evapotranspiración, brillo solar, velocidad y dirección del viento, humedad relativa entre otros).

Como la cobertura de estaciones climáticas en el país no es suficiente, en algunos casos es necesario recurrir a datos de estaciones ubicadas en el área de influencia o a superficies de datos generadas mediante interpolación de datos regionales, nacionales o globales o por modelos (WORDCCLIM) de menor grado de certidumbre, provistas por centros de investigación nacionales o internacionales (Cenicaña, Cenicafe, Corpoica, Ciat).

El resultado de estos análisis genera zonas homogéneas en términos de precipitación, pisos altitudinales asociados a temperatura que delimiten el número de usos de la tierra a evaluar.

2.1.2 Relieve (topografía)

El relieve (topografía) como cualidad de las unidades de tierra define, entre otros, el nivel tecnológico, la posibilidad de mecanización, los microclimas, la exposición de las laderas, la cual se asocia a la cantidad de radiación solar, definitiva en la fisiología de las plantas.

Para caracterizar el relieve se acude a las fases de pendiente de los estudios de suelos. También, al procesamiento de Modelos Digitales de Elevación (MDE), que permiten derivar mapas de grado, longitud y forma de la pendiente (Munar y Martínez, 2010). más detallados y que superpuestos a las unidades de suelos, pueden mejorar la calidad de las unidades a interpretar.

Pendiente: La pendiente es una característica del suelo que hace referencia a la inclinación de la superficie del terreno y que está relacionada con las prácticas de manejo mecánico, e hidrológico y además es un determinante de la erosión y de los procesos de remoción en masa. En la Tabla 7 se presentan las clases por grado de pendiente, letra en minúscula, que hace parte del símbolo identifica las fases cartográficas por erosión en los mapas de suelos escala 1:25.000 en Colombia.

Además del grado de la pendiente, en evaluación de tierras es importante reconocer la longitud y la forma de la pendiente, las cuales definen el grado de dificultad de la mecanización, la nivelación y aspectos importantes en áreas donde se requiere el uso de riego o drenaje (Tabla 8).

Tabla 7. Clases de pendiente (fases estudios de suelos –IGAC 2010)

CLASES GRADO PENDIENTE	%	Símbolo
A nivel	0-1	p
Ligeramente plana	0-3	a
Ligeramente inclinada (ondulada)	3-7	b
Moderadamente inclinada (ondulada)	7-12	c
Fuertemente inclinada (ondulada)	12-25	d
Ligeramente escarpada (empinada, quebrada)	25-50	e
Moderadamente escarpada (empinada, quebrada)	50-75	f
Fuertemente escarpada (empinada, quebrada)	> 75	g

Tabla 8. Longitud y forma de la pendiente (IGAC, 2000)

LONGITUD PENDIENTE	LONGITUD (m)	FORMA PENDIENTE
Corta	<50 metros	Recta
Media	50-1 00 metros	Convexa
Larga	100-300 metros	Cóncava
Muy larga	> 300 metros	Compleja Irregular

2.1.3 Disponibilidad de oxígeno en la zona radicular

La deficiencia de oxígeno puede ser uno de los factores más limitantes en la producción de cultivos (a excepción del arroz) ya que causa un retardo en la emergencia de las plántulas, reduce los rendimientos y en la mayoría de los casos, es responsable de las mal formaciones en tuberosas, o en la proliferación de hongos y problemas fitosanitarios (Ruíz, 1986). La condición de drenaje expresada en términos de drenaje natural, es la característica más comúnmente utilizada para evaluar la disponibilidad de oxígeno en la zona radicular.

Drenaje natural: El drenaje natural hace referencia a la 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 la pendiente, escorrentía e infiltración y las evidencias de procesos de óxido-reducción (colores gley), también de la profundidad a la cual aparece el nivel freático (Malagón, 1984). En la Tabla 9 se presentan las clases por drenaje natural.

Los cambios de color, de textura y estructura evidencian procesos de ausencia o presencia de oxígeno en las capas del suelo, este es un indicador cualitativo, que puede probar la existencia de procesos de óxido reducción en los suelos, asociados a la dinámica y movimiento del agua en el suelo, y en este caso por las condiciones de drenaje puede ser determinada, de manera más fácil la mayor o menor disponibilidad de oxígeno (Martínez, 2006).

Tabla 9. Clases por drenaje natural

CLASE %	DESCRIPCIÓN
Muy pobre	Áreas planas, suelos con exceso de agua en la superficie, baja infiltración, conductividad hidráulica lenta, colores gley, nivel freático superficial.
Pobre	Suelos generalmente con exceso de humedad en la superficie o cerca de ella, conductividad hidráulica lenta, colores gley, nivel freático superficial.
Imperfecto	Suelos con una capa freática fluctuante entre los 50 y 60 cm.
Moderado	Suelos con humedad suficiente para afectar las plantas o las labores de cultivo
Bueno (bien)	Capacidad de retención de humedad intermedia y cantidades óptimas de la misma; nivel freático profundo a más de 120 cm.
Excesivo	Conductividad hidráulica alta y muy alta. Baja capacidad de retención de humedad. Suelos aptos para cultivos solamente si se riegan.

En la descripción de las unidades cartográficas y en la descripción de los perfiles modales se reportan el drenaje externo, el drenaje interno y el drenaje natural. Es conveniente verificar en la descripción de los horizontes, la profundidad a la cual aparece el nivel freático y los colores (gley) asociados a los procesos de reducción.

2.1.4 Disponibilidad de agua en la zona radicular

Este indicador evalúa la cantidad de agua disponible para los cultivos durante el ciclo vegetativo que garantizan su crecimiento y normal desarrollo. Para determinarlo se utiliza el régimen de humedad del suelo y la familia textural.

El **régimen de humedad del suelo**, está definido en términos de la presencia o ausencia de agua retenida a menos de 1.500 kPa y es un indicador de la disponibilidad de agua para el cultivo (Malagón, 1984). La humedad se determina en la sección control de suelo (número de días acumulados o consecutivos en que el suelo está seco (contenido de humedad inferior al establecido a 15 bares) o húmedo (contenido de humedad entre $1/10 - \frac{1}{2}$ y 15 bares). En la Tabla 10 se presenta la forma como se califica esta característica.

La **textura**, es una característica física que hace relación a la proporción en que se encuentran en la fracción de la "tierra fina" del suelo las partículas de arena, limo y arcilla. Esta propiedad está relacionada con aspectos físicos y químicos que ocurren en el suelo como: infiltración, permeabilidad, retención de humedad, aireación y capacidad de intercambio iónico; además es un parámetro importante en la clasificación taxonómica de los suelos (Malagón, 1984). En la Tabla 11 se presentan las clases de textura del suelo, el símbolo utilizado para su descripción y los grupos texturales.

Tabla 10. Clases de régimen de humedad del suelo. Adaptado (IGAC, 2000)

CLASE REGIMEN DE HUMEDAD	DESCRIPCIÓN
Peráquico	Permanentemente saturado con agua
Áquico	Régimen de reducción en un suelo que está virtualmente libre de oxígeno disuelto porque está saturado con agua.
Perúdic	La sección control de humedad del suelo permanece húmeda, favorecida por la cobertura vegetal natural.
Údic	La sección de control de humedad no está seca en alguna parte por un período tan largo como 90 días acumulativos en años normales.
Ústico	La sección de control de humedad está seca en alguna parte por un período mayor a 90 días acumulativos en años normales.
Arídico	Seca en todas partes por más de la mitad de los días acumulativos por año

Tabla 11. Clases de Textura del suelo y Familias texturales

CLASE TEXTURA	Símbolo	FAMILIA TEXTURAL
Arenosa Arenosa franca	A AF	Arenosa
Franco arenosa Franca Franco limosa	FA F FL	Franca gruesa < 18% de Ar
Franco arcillo arenosa Franco arcillosa Limosa Franco arcillo limosa	FArA FAr L FArL	Franca fina < 18% de Ar
Arcillo arenosa Arcillo limosa	ArA ArL	Fina < 60% de Ar
Arcillosa	Ar	Muy Fina > 60% de Ar

La evaluación puede referirse a la textura de la capa superficial del suelo (25 cm), del horizonte superficial o al total del perfil. En los estudios semidetallados se diferencian las familias texturales (promedio ponderado por horizontes de la textura de la sección control) de las fases por tipo (textura de la capa arable).

2.1.5 Disponibilidad de nutrientes

El *suministro de nutrientes* es junto con la disponibilidad de oxígeno y de humedad, una de las cualidades de la tierra más importantes para la producción de cultivos. La evaluación de esta cualidad, puede enfocarse en términos de la disponibilidad que tiene el suelo para proveer nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, y la capacidad que tiene el suelo para fijar nutrientes que juega un papel relevante cuando los sistemas analizados involucran el manejo nutricional mediante la adición de fertilizantes.

La *disponibilidad de nutrientes* puede evaluarse mediante diversos métodos. Para la escala 1:25.000 se tiene información de la calificación de fertilidad realizada por el IGAC mediante la interpretación de los resultados de los análisis de caracterización química de los horizontes de los perfiles de los suelos modales de los estudios de suelos (Tabla 11A).

Tabla 11A. Calificación de la fertilidad de los suelos (IGAC, 2010)

pH Agua 1:1		Rango Puntaje	<4.5; >8.5 1	4.6-5.0; 7.9-8.4 2	5.1-5.5; 7.4-7.8 3	5.6-6.0 4	6.1-7.3 5
Saturación de aluminio %		Rango Puntaje	>60 1	60-30 2	29-15 3	14-5 4	<5 5
Capacidad de cambio me/100g AcNH en pH7		Rango Puntaje	<5 1	5-10 2	11-15 3	16-20 4	>20 5
BASES	Porcentaje de saturación	Rango Puntaje	<10 0.5	10-35 1.0	36-50 1.5	51-70 2.0	>70 2.5
	Totales me/100g	Rango Puntaje	<4 0.5	4-8 1.0	8.1-12 1.5	12.1-16 2.0	>16 2.5
% CARBÓN ORGÁNICO	Clima Frio	Rango Puntaje	<1.3 1	1.4-2.6; >10 2	2.7-4.0; 8.1-10 3	4.1-5.2; 8.0-6.6 4	5.3-6-5 5
	Clima Medio	Rango Puntaje	<0.5 1	0.6-1.7; >7.6 2	1.8-2.9; 6.5-7.6 3	3.0-4.1; 5.4-6.5 4	4.2-5.3 5
	Clima Cálido	Rango Puntaje	<0.2 1	0.2-0.5 2	0.51-1.7 3	1.71-2.9 4	>3.0 5
Fosforo ppm Bray II		Rango Puntaje	<10 1	10-20 2	21-30 3	31-40 4	>40 5
Potasio me/100g		Rango Puntaje	<0.1 1	0.1-0.2 2	0.21-0.3 3	0.31-0.4 4	>0.4 5

En caso que el suelo tenga sales o sodio, entonces se procede a incluir la calificación de la tabla 11B. Para efectuar el cálculo se utiliza la ecuación de la Tabla 11C que pondera el valor desde muy alto hasta muy bajo, el cual aparece reportado en la descripción de los perfiles modales.

Tabla 11B. Calificación de la fertilidad de los suelos con sales y/o sodio. (IGAC, 2010)

CE dS/m a 25°C	Saturación de sodio	Clase	Puntaje negativo	
			0-25 cm	25-50 cm
2-4	<15	S1	0	0
4-8	<15	S2	1	0.6
8-16	<15	S3	2	1.4
>16	<15	S4	3	2
<4	<15	Na	5	4
4-8	<15	S1 Na	4	3
8-16	<15	S2 Na	5	5
>16	<15	S3 Na	5	5

Tabla 11C. Calificación de la fertilidad de los suelos con sales y/o sodio. (IGAC, 2010)

FT	Fertilidad total	Valor	Apreciación
F1	Fertilidad 0-25 cm	>8.4	Muy alta
F2	Fertilidad 25-50	8.4-6.8	Alta
K	0.285	6.7-5.2	Media
X ₁	Salinidad y/o sodio 0-25 cm	5.1-3.6	Baja
X ₂	Salinidad y/o sodio 25-50 cm	<3.6	Muy baja
1	Fertilidad en suelos normales $FT=(0.7 F_1 + 0.3 F_2)K$		
2	Fertilidad en suelos salinos y/o sódicos $FT=K[(0.7 (F_1 - X_1) + 0.3 (F_2 - X_2))]$		

La *calificación de fertilidad* puede ser también realizada teniendo en cuenta uno a uno los parámetros químicos, acorde con la disponibilidad de información y con los requerimientos específicos de cada tipo de utilización. Tal como aparece en las Tablas 12 a la 12B

La *Reacción del Suelo (pH)* es la propiedad que determina el grado de acidez o alcalinidad que tienen los suelos e influye de manera directa en la disponibilidad de la mayoría de los nutrientes (P 6.5 y 7.7; K y S > 6.5; Ca y Mg 6 - 8.5; Fe < 7; Mn 5.5 – 7.5; B y Cu 5 – 7 y > 9 y Mo > 10, entre otros), regula la actividad de los micro-organismos, propicia la concentración de elementos y sustancias tóxicas, la cantidad y tipo de cargas eléctricas de las arcillas y la mineralización y evolución de los materiales orgánicos (Malagón, 1984).

En la Tabla 12 se presenta la escala de pH de los suelos. Es importante resaltar que valores extremos de pH por debajo de 3.5, pueden ser indicativos de procesos de formación de horizontes sulfato ácidos, particularmente en ambientes donde suelos orgánicos han sido

drenados, se produce la síntesis de ácido sulfúrico expresión de un alto nivel de degradación del suelo.

La *capacidad de intercambio catiónico del suelo*, expresada en centimol carga por kilogramo (cmolc.kg-1) mide la capacidad del suelo para retener cationes (Ca, Mg, K, Cu, Zn, Fe, Mn, NH₄), algunos de los cuales son necesarios para la nutrición de las plantas, regula la disponibilidad de nutrientes (Tabla 12 A). Suelos con baja capacidad de intercambio catiónico pueden retener pocos cationes y, en consecuencia, requieren dosis bajas y más frecuentes de fertilizantes que los suelos con alta CIC (Malagón, 1984).

Tabla 12. Calificación del pH Tabla 12 A. Calificación la Capacidad de intercambio cationica

Rango pH	Clase pH
< 3.5	Ultraácido
3.5 – 4.4	Extremadamente ácido
4.5 – 5.0	Muy fuertemente ácido
5.1 – 5.5	Fuertemente ácido
5.6 – 6.0	Moderadamente ácido
6.1 – 6.5	Ligeramente ácido
6.6 – 7.3	Neutro
7.4 - 7.8	Ligeramente alcalino
7.9 – 8.4	Moderadamente alcalino
8.5 – 9.0	Fuertemente alcalino
> 9	Muy Fuertemente alcalino

Rango	CIC (Cmolc kg ⁻¹)
0 -5	Muy baja
5,1 -10	Baja
10,1 - 20	Mediana
20,1 - 30	Alta
30,1 -200	Muy Alta

La *saturación de bases y bases intercambiables* está determinada por los cationes intercambiables (Ca, Mg, K, Na), se denominan bases intercambiables y el porcentaje que poseen de la CIC se llama saturación de bases. Estos elementos intervienen en los fenómenos de intercambio iónico y la reacción del suelo, constituyendo, con excepción del Na, nutrientes esenciales para las plantas y sirven para evaluar la fertilidad del suelo (Malagón, 1984). En las Tablas 12 B se presenta la calificación de SB y de los cationes intercambiables del suelo, Ca, Mg y K.

Tabla 12B. Clasificación de la saturación de cationes y bases totales del suelo

Clase saturación de Bases del suelo (SB)	RANGO %	Saturación	Ca (%)	Mg(%)	K(%)
Muy bajo	0 -20	Muy bajo	0 -5	0 -1	0 – 0.5
Bajo	20,1 - 40	Bajo	5,1 - 10	1,1 - 5	0,51 - 1
Medio	40,1 -60	Medio	10,1 - 20	5,1 - 10	1,1 - 3
Alto	60,1 - 80	Alto	20,1 - 40	10,1 - 20	3,1 - 5
Muy Alto	80,1 - 100	Muy Alto	40,1 - 100	20,1 - 100	5,1 - 100

El *exceso de sales y sodio*, obedece a la acumulación de sales libres, y sodicidad, o saturación del complejo de cambio con iones de sodio. Las sales inhiben la absorción del agua por ósmosis, niveles moderados de sales retardan el crecimiento y reducen los rendimientos,

niveles altos son tóxicos para la mayoría de los cultivos. El ion sodio es tóxico para la mayoría de las plantas y además dispersa la materia orgánica y las arcillas produciendo sellamiento de los poros del suelo, lo que disminuye la actividad de los organismos y el movimiento de agua y nutrientes a la planta. Para evaluar el exceso de sodio en los suelos se utilizan el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y la razón de absorción de sodio (RAS). El incremento de la concentración de los iones puede provocar la toxicidad de alguno de ellos o antagonismo entre ellos (Malagón, 1984). Las Tablas 13 y 13 A muestran las clases de salinidad y sodicidad, respectivamente.

Tabla 13. Clases de salinidad

Clase de Salinidad	LIMITE INFERIOR (dS/m)	LIMITE SUPERIOR (dS/m)
No salino	0	2
Ligeramente salino	2,1	4
Moderadamente salino	4,1	8
Fuertemente salino	8,1	16
Muy salino	16,1	100

Tabla 13 A. Clases de sodicidad

Clase por Presencia de Sodio	PSI	RAS
Normal	< 13	< 15
Sódica	> 13.1	> 15.1

La *saturación de aluminio del suelo* (SAI), hace referencia a la acidez debida al ion aluminio (Al^{+3}), que es abundante en suelos ácidos con pH menor de 5.5, el cual, afecta el desarrollo de las plantas: inhibe la división celular, causa deficiencias de fósforo, e impide la absorción del calcio, magnesio y potasio (Malagón, 1984). Para poder utilizar suelos con altos niveles de Al^{+3} intercambiable, es necesario aplicar altas dosis de cal para elevar el pH a niveles no tóxicos o utilizar variedades de plantas que sean tolerantes a la acidez.

Se ha establecido que, cuando se encuentran menos de 1 ppm de Al^{+3} en la solución del suelo, la saturación es menor de 60% y no hay efecto tóxico en las plantas de tolerancia moderada a Al y cuando es mayor de 60%, la concentración de Al en la solución del suelo aumenta rápidamente. La calificación de la saturación de aluminio se presenta en la Tabla 14.

Tabla 14. Calificación de la saturación de aluminio en el suelo

Clases de Saturación Aluminio del suelo	LIMITE INFERIOR (%)	LIMITE SUPERIOR (%)
Muy bajo	0	14,9
Bajo	15	29,9
Medio	30	59,9
Alto	60	79,9
Muy Alto	80	100

2.1.6 Capacidad de laboreo

Se refiere a las condiciones del suelo que permiten un buen crecimiento y desarrollo de las raíces en profundidad, garantizando que las semillas no tengan obstrucción para su crecimiento y tengan una buena formación (Martínez, 2006). Este indicador se evalúa utilizando la pendiente, la profundidad efectiva del suelo, la textura y el volumen de piedras.

La *profundidad efectiva de un suelo* es el espacio en el que las raíces de las plantas comunes pueden penetrar sin mayores obstáculos, para obtener el agua y los nutrientes (Tabla 15). Las limitaciones de profundidad, se expresan por presencia de roca o pedregosidad dentro del perfil del suelo, o por la cercanía a la superficie de limitantes de tipo físico (horizontes endurecidos, o roca, o nivel freático) o químicos (contenidos tóxicos de elementos como aluminio o sales).

Tabla 15. Clasificación de la profundidad efectiva

Profundidad del suelo	Rango (cm)
Extremadamente superficial	Menor a 10
Muy superficial	11 -25
Superficial	26-50
Moderadamente profundo	51- 100
Profundo	101- 150
Muy profundo	> 151

La *textura* se asocia a las posibilidades de laboreo utilizando la Tabla 10, se puede utilizar parámetro de evaluación las clases de textura o los grupos de textura, también se puede tener en cuenta el porcentaje de arcilla y el tipo de arcilla (1:1; 2:1; 2:2) en el perfil del suelo. Se considera que los suelos son pesados, difíciles de laborar, cuando su textura es arcillosa, particularmente cuando el porcentaje de ésta excede el 60% y cuando el tipo de arcilla dominante es expansiva.

La *pedregosidad* hace referencia a las fracciones de fragmentos mayores a las gravas (0.045 metros de diámetro) sobre la superficie del suelo y dentro del perfil, están relacionados con el número, el tamaño y espaciamiento. Incluye afloramientos rocosos. En los estudios de suelos aparecen cartografiados como fases pedregosas, que disminuyen el área útil por unidad de superficie y que pueden llegar a impedir el uso de maquinaria e implementos agrícolas. Se diferencian suelos con fases rocosas y pedregosas, las primeras constituidas por suelos en los cuales los fragmentos de roca de diferente tamaño y forma sobre la superficie, o en la capa superficial del suelo y las segundas están delimitados en áreas de suelos en las que aflora la roca, conectadas a masas líticas profundas.

En la Tabla 16 se presentan las clases de abundancia de los afloramientos rocosos y recubrimiento de fragmentos de roca en superficie y en la Tabla 17 las clases por volumen de fragmentos de roca o piedra en el perfil.

Tabla 16. Clasificación de los afloramientos rocosos y recubrimiento de fragmentos de roca en superficie

Abundancia de afloramientos rocosos		Recubrimiento fragmentos de roca en superficie	
Clase	Superficie Cubierta (%)	Clase	Superficie cubierta (%)
No hay	< 0.1	No hay	< 0.1
Esparcida	0.1-2	Pocas	< 0.1
Poca	2-10	Medianas	0.1 -3
Media	10-25	Abundantes	3-15
Abundante	25-50	Muy abundantes	15-40
Muy Abundante	50-70	Miscelánea	40-70
Miscelánea	> 70	Pedregosa	> 70
Rocosa			

Para evaluar la *pendiente* para las posibilidades de laboreo o mecanización se utiliza la Tabla 17, en ésta se relaciona la facilidad o dificultad de laborar la tierra. En las áreas planas para definir si la mecanización es plena (0-3%), fácil (3-7%), ligeramente difícil (7-12%), difícil (12-16%) muy difícil, solo para un restringido grupo de cultivos (16-25%). Cuando la pendiente está por encima del 25% para agricultura no mecanizada, con prácticas especiales de manejo y conservación del suelo

Tabla 17. Clasificación por volumen de fragmentos de roca o piedra en el perfil.

Código Para fase	Clase	Volumen %
1	No hay	< 3
2	Pocos	3- 15
3	Frecuentes	15-35
4	Abundantes	35-60
5	Extremadamente Abundantes	> 60

2.1.7 Riesgos climáticos

El *riesgo a heladas* se refiere al daño que ocasiona la ocurrencia de éste fenómeno, que en Colombia es frecuente en las zonas de alta montaña en épocas secas, se presentan descensos de la temperatura diurna (por debajo de 3 °C) que causan la ruptura de las membranas de las células de las plantas, por el crecimiento de cristales de hielo dentro del protoplasma (deshidratación). Dependiendo de la intensidad se pueden presentar daños en flores, frutos, hojas y en algunos casos la pérdida total de la planta. Las heladas pueden ser clasificadas por su intensidad medida en intervalos de temperatura (Tabla 18).

Tabla 18. Clasificación de las heladas

Grado	Intervalo de temperaturas (°C)
Alta	-6 a -3
Moderada	-3 a -0
Baja (heladas agronómicas)	0 a 3
Muy Baja (heladas agronómicas)	3 a 6

La Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación y la Sequía (CNULD), define a la sequía como el fenómeno que se produce naturalmente cuando las lluvias han sido considerablemente inferiores a los niveles normales registrados, causando un agudo desequilibrio hídrico que perjudica los sistemas de producción de recursos de tierra, por la ocurrencia de déficit de humedad (agua aprovechable para los cultivos).

El *riesgo de sequía* es más frecuente en zonas subhúmedas y secas, semiáridas y áridas y se agudiza por variaciones climáticas (El fenómeno cálido del pacífico “El Niño”, o Corriente del Evento del Pacífico en Colombia).

De forma práctica se puede recurrir al análisis de los datos de precipitación de las estaciones agrometeorológicas y determinar la duración de los períodos secos combinados con la precipitación promedio anual y su efecto sobre el tipo de utilización analizado, tal como lo hacen los productores de palma en el país.

2.1.8 Plagas y enfermedades

La incidencia de plagas y enfermedades afecta el crecimiento y desarrollo del cultivo, lo cual repercute en la disminución de la producción y en el aumento de los costos para su control. Para su evaluación se deben considerar la incidencia de plagas de insectos, enfermedades virales y de hongos, gusanos y predadores y vectores de enfermedades.

Esta información es difícil de obtener, para escala general se pueden utilizar datos de frecuencia relativa de plagas y enfermedades, o asociarlo a una condición climática o de suelo.

EVALUACIÓN DE LAS UNIDADES CARTOGRAFICAS DE SUELOS

Una vez realizada la extracción de la información necesaria que describen los diferentes perfiles en las unidades cartográficas de suelos, se realiza la confrontación entre las cualidades de la unidad cartográfica y los requerimientos del uso. Según el tipo de unidad cartográfica pueden estar compuestas por dos o más perfiles, se hace necesario la evaluar cada uno de ellos, considerando el porcentaje que representa y el factor limitante de cada cualidad para determinar su aptitud. La Tabla 19 presenta la calificación de la cualidad de disponibilidad de oxígeno, representada por el drenaje natural para el uso de caucho.

Tabla 19. Evaluación de la cualidad de disponibilidad de oxígeno representada por el drenaje natural para el uso de caucho

UCS	Nombre consociacion	Componente UCS	Drenaje natural				AP_DN
			Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	
LI	Consociacion Liviney	75-15-5-5	Bien Drenado	Bien Drenado	Bien Drenado	Bien Drenado	A1
PG	Consociacion Puerto Gaitan	75-15-10	Bien Drenado	Bien Drenado	Bien Drenado	Bien Drenado	A1
AR	Consociacion Arimena	75-10-10-5	Bien Drenado	Bien Drenado	Bien Drenado	Moderado	A1
CH	Consociacion Chenevo			Pobrememente drenado			N
MU	Consociacion Muco	75-25	no tiene perfil descrito	Moderado			A2
ES	Consociación Estero	70-15-15	Pobre	Pobre	Muy Pobre	Muy Pobre	N
MO	Consociacion Morichal	80-10-10	Muy pobre	Moderado	Bien Drenado		N
PL	Complejo Puerto Limon (10-90)		Pobre	Imperfecto			N
GB	Consociacion Guayuriba	85-15	Pobre	Bien Drenado			N
NB	Consociacion Neblinas	75-25	Bien Drenado	Moderado			A2
PA	Consociacion Paraíso	90-10	no tiene perfil descrito	Bien Drenado			A1
EP	Consociacion El Porvenir	60-30-10	Pobre	Imperfecto	Imperfecto		N
SI	Consociacion Santa Ines	90-10	Imperfecto	Pobre			N
SA							N

De forma similar se procede para cada una de las cualidades seleccionadas por el evaluador y el tipo de uso seleccionado. Para el caso de la *cualidad de nutrientes* se determinó el nivel de fertilidad de los suelos, donde F3 es muy baja, F2 baja y F1 moderada.

Calificadas las diferentes cualidades según el tipo de uso, se debe determinar la aptitud de la unidad cartográfica. Aptitud de la unidad de cartográfica está determinada por el factor o factores limitantes para la evaluación del uso seleccionado. En la Tabla 20, se observa las diferentes cualidades y la aptitud de la unidad cartográfica.

Se debe proceder a realizar la operación de unir los atributos no espaciales (tabla de calificación de las cualidades de las unidades cartográficas) a la información espacial, que corresponde a la unidades cartográficas. Estas se realizan mediante un campo común, para este caso el símbolo de la unidad cartográfica de suelos (UCS).

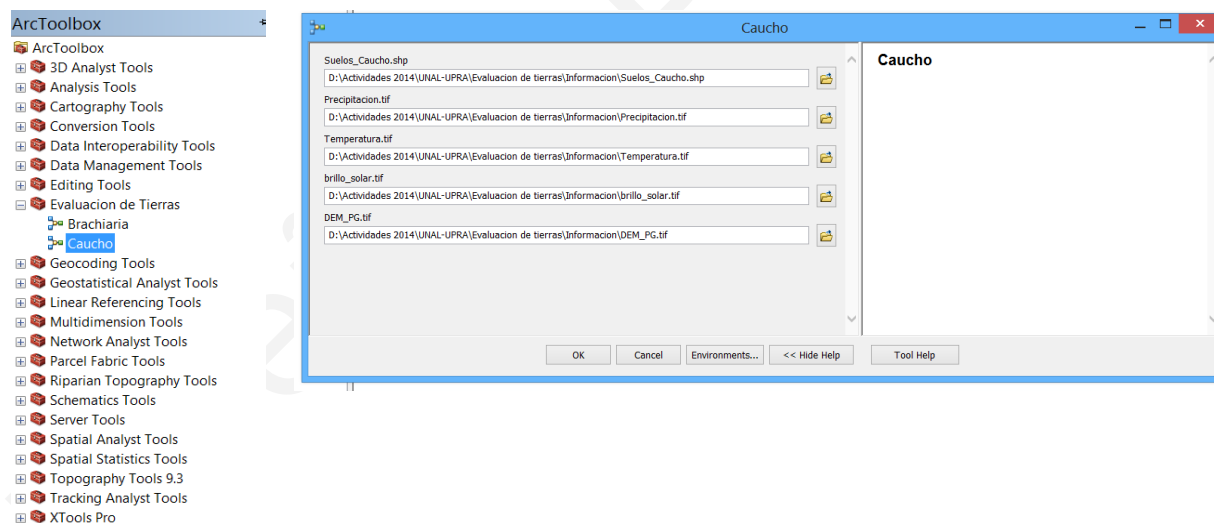
Tabla 20. Evaluación de las cualidades para determinar la aptitud de la unidad cartográfica de suelos para el uso de caucho

UCS	Nombre consociacion	Componente UCS	Disponibilidad de Oxígeno		Capacidad de Enraizamiento		Disponibilidad de Humedad		AP_Fertilidad	AP_UCS_todas
			AP_DN	AP_Inundaciones	AP_PE	AP_Textura	AP_Material grueso	AP_RH	AP_Predregosidad	
LI	Consociacion Liviney	75-15-5-5	A1	A1	A1	A1	A1	A1	A3	A2-F3
PG	Consociacion Puerto Gaitan	75-15-10	A1	A1	A2	A2	A1	A1	A3	A2-pe-Tex-F3
AR	Consociacion Arimena	75-10-10-5	A1	A1	A2	A1	A1	A1	A2	A2-pe-F2
CH	Consociacion Chenevo		N	N	N	N	N	N	A1	N
MU	Consociacion Muco	75-25	A2	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2-dn-lnu-tex-rh-F2
ES	Consociacion Estero	70-15-15	N	N	A3	A1A2	A1	N	A1	N-dn-lhun-pe-rh
MO	Consociacion Morichal	80-10-10	N	A1	A3	A1	A1	NA1	A1	N-dn-rh
PL	Complejo Puerto Limon (10-30)		N	A1	N	A2	A1	N	A1	N-dn-pe-rh
GB	Consociacion Guayuriba	85-15	N	A1	A3	N	A1	N	A1	A2
NB	Consociacion Neblinas	75-25	A2	A1	A3	A1A2	A1	A1	A1	A3-dn-pe-Tex-F3
PA	Consociacion Paraíso	90-10	A1	A1	A1	A1	A1	A2	A1	A2-rh-F3
EP	Consociacion El Porvenir	60-30-10	N	A1	A1	A1	A1	NA1	A1	N-dn-rh
SI	Consociacion Santa Ines	90-10	N	A1	N	A2	A1	A2	A1	N-dn-pe
SA			N	A1	N	A2	A1	A2	A1	N-dn-pe

2.1.9 Modelo espacial de evaluación de tierras

Para el modelo espacial para la evaluación de tierras se desarrolló una herramienta en la plataforma ARGIS, mediante el ARCTOOLBOX, que permite automatizar y hacer ajustes, según los criterios del experto y la disponibilidad de información (Figura 4).

Figura 4. Herramienta de Evaluación de Tierras



Mediante diferentes procesos como convertir de un formato de dato, reclasificaciones, condicionales y sumas ponderadas, se permite establecer la aptitud, las condicionantes o la favorabilidad de diferentes criterios en el territorio. Para el caso de los suelos la aptitud se determinó por el factor limitante como lo propone la FAO, ya que todas las características de

los suelos están interrelacionadas. Para las demás criterios se procedido con la estimación de la ponderación según la relevancia en el uso de análisis con los demás criterios como lo son la precipitación, temperatura, brillo solar y relieve (pendiente). Se debe recalculer los rangos para cuando se cambie de uso, las modificaciones en cada una de las cualidades como precipitación, temperatura, brillo solar y relieve (pendiente). En la Tabla 21 se presentan los valores según la aptitud.

Tabla 21. Valores de la aptitud en las categorización de los análisis en la plataforma de SIG

Valor	Aptitud cualidad
1	A1
2	A2
3	
4	
5	
6	A3
7	
8	
9	
10	N

Para realizar un cambio en los rangos, vaya a la operación del atributo a modificar y realice el cambio, unicamente por el valor del rango. Para este caso se hizo la selección de la temperatura (Figura 5).

Figura 5. Cambio de rango de una variable en el proceso de evaluación de tierras.

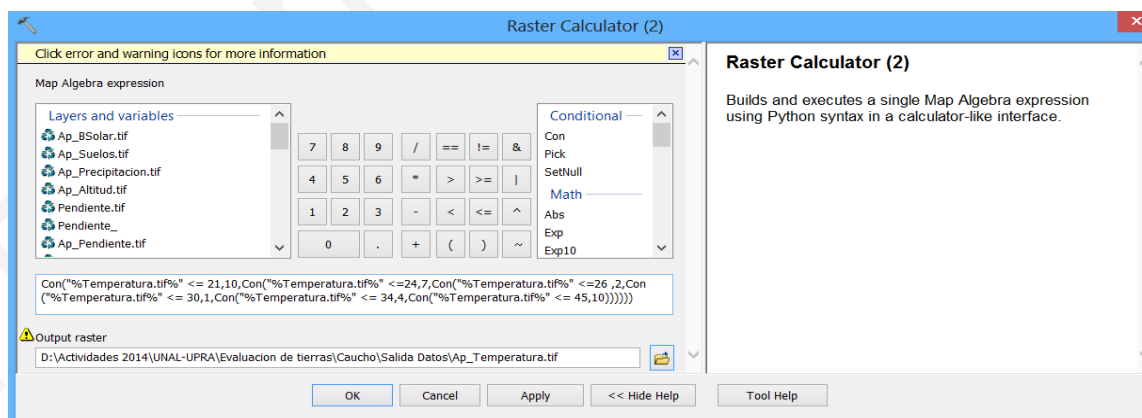
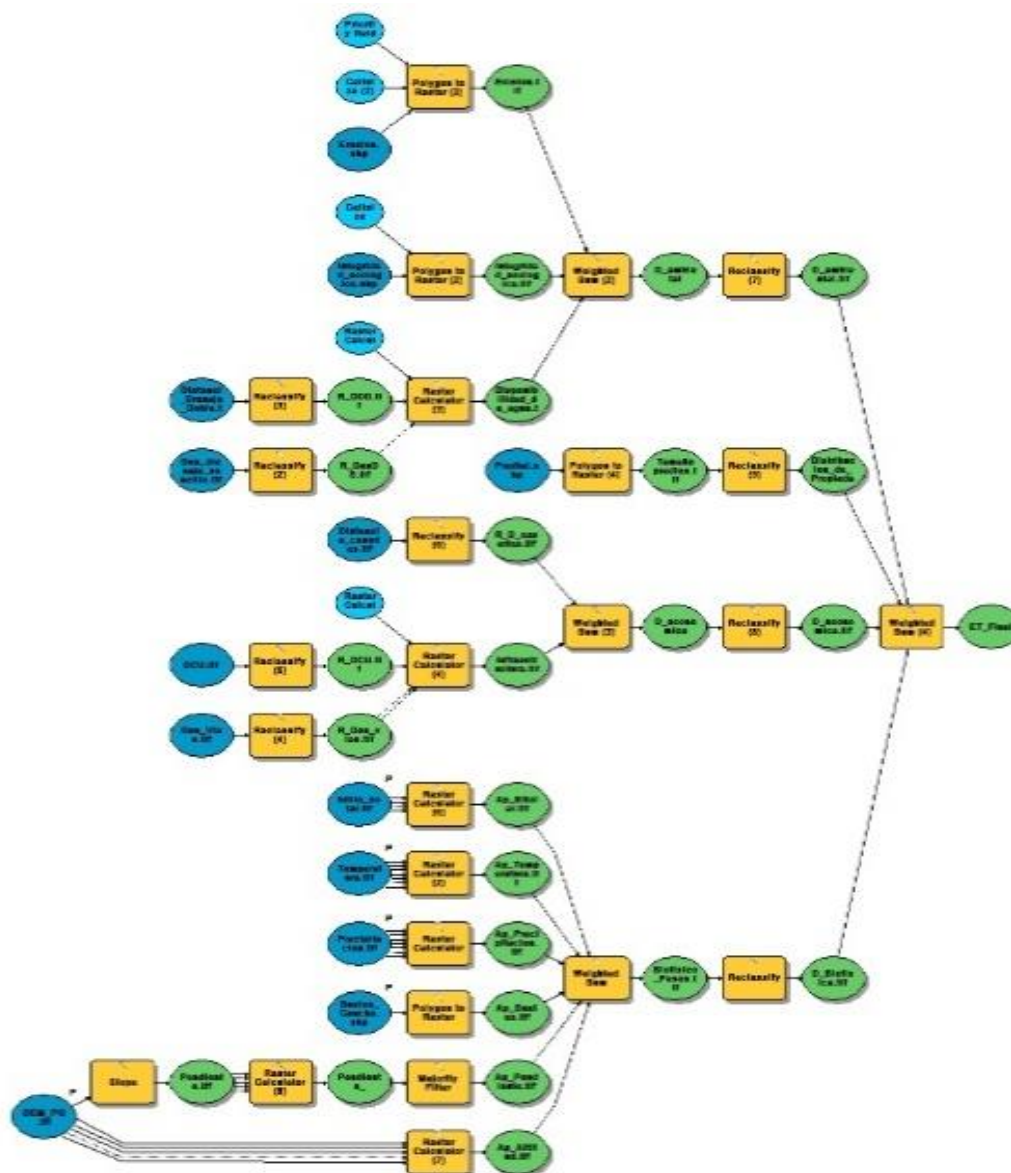


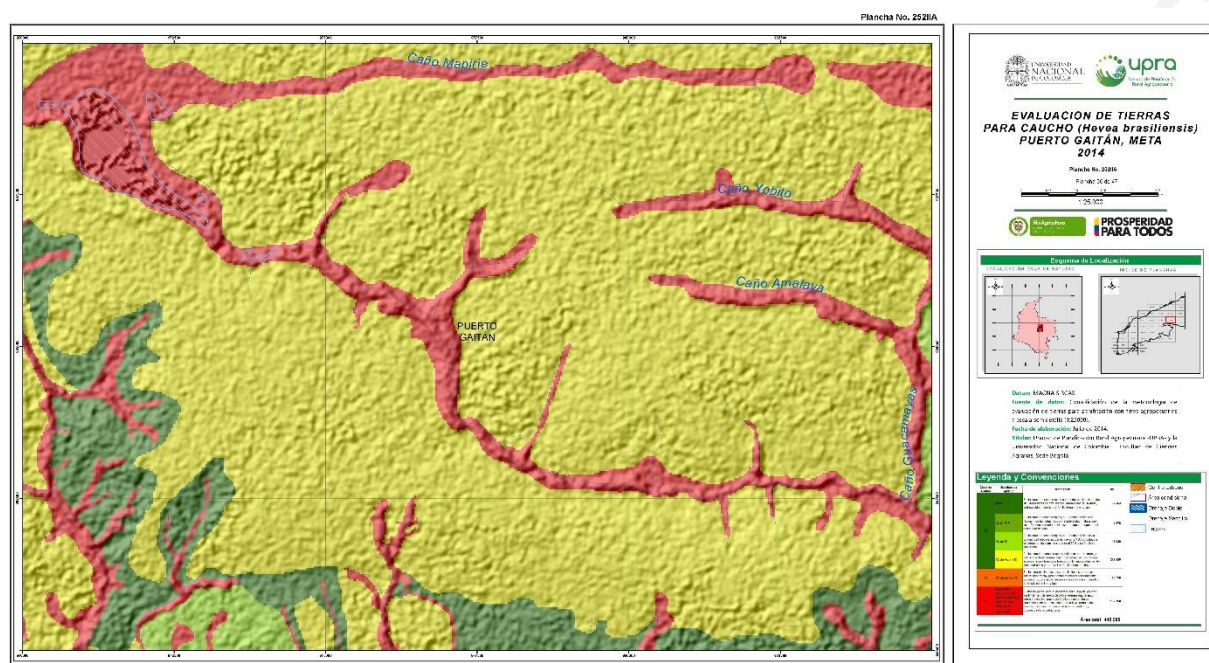
Figura 6. Modelo espacial para la valuación de tierras



Página 52 de 189

restricción (Conservación, áreas forestales, etc.) y zonas condicionantes (resguardos indígenas, comunidades negras, etc.). (Figura 7).

Figura 7. Salida gráfica de Aptitud para Caucho de atributos biofísicos de la plancha 252IIA



Condiciones legales del territorio que limitan el uso productivo

Este hace referencia a las áreas que están en una condición de protección y conservación de los recursos naturales y a la asignación a los territorios colectivos (Indígenas y negritudes). Dentro del estado legal del territorio se considera la Reserva Forestal Nacional, Parques Naturales Nacionales, Territorios Colectivos (Indígenas y afrocolombianos), áreas de manejo especial y Ordenamiento de Cuencas Hidrográficas.

Las zonas de Reserva Forestal Nacional comprenden áreas de la economía forestal de la Nación y conservación de recursos naturales renovables que se contemplan en la Ley 2da, 1959. Los Parques Naturales Nacionales comprenden un área geográfica de protección, de actores sociales y estrategias e instrumentos de gestión que las articulan, para contribuir como un todo al cumplimiento de los objetivos de conservación del país (PNN, 2014).

Los territorios colectivos son asignaciones de espacios geográficos que mantienen la identidad cultural y ancestral de la comunidad, los cuales requieren de un manejo especial según sus costumbres y tradiciones, por lo tanto en la zonificación de los diferentes usos se hace necesario la consulta con respectiva comunidad.

Las áreas de manejo especial, corresponden a zonas que se delimitan para administración, manejo y protección del ambiente y de los recursos naturales renovables (Artículo 308, Decreto Ley 2811 de 1974).

Una cuenca hidrográfica es el área de aguas superficiales o subterráneas, que vierten a una red hidrográfica natural con uno o varios cauces naturales, de caudal continuo o intermitente, que confluyen en un curso mayor que, a su vez, puede desembocar en un río principal, en un depósito natural de aguas, en un pantano o directamente en el mar. La cuenca se delimita por la línea del divorcio de las aguas (Artículo 312, Decreto Ley 2811 de 1974). La ordenación de la cuenca permite realizar una planificación de los recursos naturales (bióticos y abióticos) con las interacciones sociales y económicas, permitiendo establecer lineamientos ambientales y políticos para su manejo.

En la Figura 8 se muestra la zonificación para el estado legal del territorio en la evaluación de tierras con fines agropecuarios.

Figura 8. Condicionantes legales del territorio que limitan uso productivo



3. TIPOS DE UTILIZACION DE LA TIERRA

Evaluación del uso actual del suelo mediante el empleo de información espacial y SIG

El uso de la tierra hace referencia a la dimensión funcional, por ejemplo, el propósito socioeconómico del uso de la tierra: uso residencial, industrial, comercial, de uso agropecuario, áreas en bosques, recreacional o áreas de conservación. Al contrario de la cobertura, el uso de la tierra sólo se puede observar de manera parcial, siendo necesaria información adicional tomada generalmente en campo (FAO, 2003). La anterior definición del uso de la tierra establece un vínculo entre la cobertura de la tierra y el impacto de las acciones llevadas a cabo por el ser humano en el ambiente (Van Wijngaarden, 1994). A manera de ejemplo: “pastizal” es un término de cobertura, mientras que “área de pastoreo” o “cancha de tenis” se refieren al uso que se le da a esa cobertura (PNECO, 2009).

Es necesario precisar que dependiendo de la escala elegida para el estudio, el grado de detalle de las clases de uso variará ya que estas dependen del tipo de datos a ser recolectados para su correcta definición. En un estudio de reconocimiento en áreas extensas los usos de la tierra pueden ser identificados en términos generales como: agricultura de secano, agricultura irrigada, bosque y reservas forestales sin ir en más detalle. En estudios más detallados, las clases de uso de la tierra deben ser definidas con mayor exactitud. Su definición debe incluir datos no solamente de producción u otro objetivo previsto, sino también incluir los métodos de producción y el componente socioeconómico como por ejemplo: “pequeños agricultores con cultivos de secano a base de maíz y yuca”, “cultivo de café a pequeña escala”, estos son ejemplos típicos de uso actual de las tierras a escalas detalladas.

3.1.1 Clasificación y Leyenda

La clasificación es una representación abstracta de la realidad del paisaje basándose en clasificadores como criterios bien definidos de diagnóstico. Estos clasificadores a su vez se definen como arreglos ordenados de objetos en grupos o conjuntos en base a las relaciones existentes en el paisaje. Los clasificadores comúnmente utilizados para la clasificación de las coberturas a escalas generales en la mayoría de los sistemas de clasificación existentes son: la fisonomía de la cobertura (la apariencia media de la vegetación), los arreglos verticales y horizontales de las plantas (Richards, 1999).

Según la FAO (1997), los sistemas de clasificación deben: 1) ser independientes de la escala, lo cual significa que las clases en todos los niveles del sistema deben ser aplicables a cualquier escala de detalle; y 2) ser independiente de la fuente, lo que implica que es independiente de los medios usados para la recolección de los datos sin importar si son tomados a partir de imágenes de satélite, fotografía aérea, trabajo en campo o algunas combinaciones de datos.

Una leyenda es la aplicación de una clasificación en un área específica usando una escala de mapeo definida y un conjunto de datos específicos. De esta forma la leyenda puede contener únicamente una porción o subconjunto, de todas las posibles clases de la clasificación. La

leyenda depende de la escala, la representación cartográfica empleada y de los datos empleados.

3.1.2 Sistema De Clasificación CLC-Colombia

El sistema CORINE Land Cover fue establecido por la Unión Europea en 1985 definiendo una metodología específica para realizar el inventario de las coberturas de la tierra (EEA, 2008). Este sistema provee mapas de cobertura y uso para los países europeos como una base importante para la toma de decisiones y políticas ambientales. De manera análoga, el proyecto CORINE Land Cover Colombia (CLC-Colombia) propuso describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de las coberturas de las tierras del país, interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélite de resolución media (Landsat TM), para la construcción de mapas de cobertura a escala 1:100.000 (IDEAM et al., 2008).

Como característica principal de la metodología CLC-Colombia se puede resaltar que la interpretación de las unidades de cobertura y uso de la tierra se realiza directamente en pantalla empleando un Sistema de Información Geográfica SIG (ArcGISx generalmente), el cual permite delinear y editar las diferentes unidades de mapeo, clasificándolas de una manera jerarquizada. El sistema CLC-Colombia ha sido ampliamente evaluado en estudios como: las categorías empleadas en el mapa de Cobertura y Uso Actual elaborado por el IGAC y el ICA en 1987, información del Ministerio del Medio Ambiente, Corporaciones Regionales y guías metodológicas para el Ordenamiento Territorial municipal y departamental.

3.1.3 Metodología para la clasificación del uso actual y la cobertura de la tierra

Esta metodología de clasificación del uso actual y cobertura de la tierra, propone el empleo de las capas de cobertura generadas mediante CLC-Colombia a escala 1:25.000, como insumo principal para detallar las clases de uso de la tierra. Posteriormente mediante el uso de datos auxiliares como las imágenes de alta resolución espacial RapidEye de 5m, un modelo digital de elevación MDE con resolución 30 m., trabajo de campo, se pretende detallar las clases de uso de la tierra.

- **Fuentes de datos requeridos**

Esta metodología de clasificación del uso actual y cobertura de las tierras contempla la utilización de varias fuentes de datos con el objetivo de aumentar el detalle de las clases, en especial aquellas relacionadas con el uso de la tierra. Cabe resaltar que la metodología acepta cualquier tipo de datos auxiliares como las fotografías aéreas. De esta forma dependiendo de las características técnicas de cada fuente, se puede evaluar el alcance de los datos para extraer información relevante que permita llevar a cabo una buena clasificación.

- **Capas de coberturas CLC-Colombia**

El insumo principal para llevar a cabo la clasificación son las capas de cobertura 1:100.000 generadas a partir del sistema CLC-Colombia.

Para el desarrollo de esta metodología se utilizará la versión más reciente de las capas de coberturas CLC-Colombia 2006, las cuales están disponibles en las bases de datos geográficas de las diferentes instituciones gubernamentales. Las capas de cobertura CLC-Colombia abarcan la totalidad del territorio nacional. Esta metodología se enfoca únicamente en aquellas coberturas que alcanzan los niveles más detallados.

- **Imágenes de satélite**

Este tipo de imágenes pueden ser representadas de manera digital en la pantalla de un computador como arreglos de píxeles o celdas, en donde cada uno corresponde a un nivel de intensidad (nivel digital). Este tipo de formato de imágenes es el utilizado por los sensores remotos y su análisis puede ser realizado manualmente, semiautomatizado o automatizado mediante el uso de programas especializados para el procesamiento de imágenes digitales (Castañeda et al., 2006).

Actualmente existe una amplia variedad de satélites capaces de extraer de la superficie de la tierra información idónea que, bajo una adecuada interpretación y manipulación, se ajustan a los requerimientos de la clasificación del uso actual y la cobertura de las tierras. Los sensores con mayor potencial para ejercer este trabajo son aquellos instalados en las plataformas satelitales como la serie Landsat, el sistema SPOT, y más recientemente los sensores MODIS, ASTER o RapidEye (Tsiligirides, 2008).

La resolución espacial del sensor Landsat de 30 m., aunque ha proporcionado las imágenes de mayor aceptación por su costo y versatilidad, dificulta la correcta clasificación de las coberturas debido al variado rango de valores de la respuesta espectral. Estas imágenes han sido usadas efectivamente en clasificaciones de paisajes homogéneos, sin embargo, su precisión puede verse reducida en regiones con paisajes altamente heterogéneos con distintas clases de usos y coberturas (Valencia y Anaya, 2009).

Se propone entonces, el uso de imágenes de satélite de libre acceso disponibles en Google Earth, las cuales pueden ser fácilmente consultadas y descargadas (Google Inc., 2013). Estas imágenes cuentan con una alta resolución espacial en algunas regiones del país y son una buena alternativa para futuras clasificaciones de coberturas. Adicionalmente, es posible utilizar imágenes de uso privativo como RapidEye para aumentar el grado de detalle espacial. El sensor RapidEye es una constelación de cinco satélites idénticos, los cuales poseen una resolución espacial de 5m brindando una mayor capacidad a los intérpretes para identificar coberturas. Los satélites RapidEye son los primeros satélites comerciales que ofrecen la banda "límite del rojo", la cual mide las variaciones en la vegetación permitiendo una mejor separación de las clases agrícolas.

Estas imágenes requieren un procesamiento previo el cual incluye la corrección de las imágenes, mejoras visuales entre otros. Para llevar a cabo este procesamiento previo es necesario contar con un programa para el procesamiento digital de imágenes. Existen en el mercado gran variedad de programas comerciales como por ejemplo ERDAS, eCognition, ENVI entre otros. Para el desarrollo de esta metodología se utilizará el programa de procesamiento de imágenes ENVi (ITT, 2013), recordando que el usuario es libre de elegir el programa que mejor se ajuste en términos económicos y de rendimiento.

- **Modelos digitales de elevación**

Los modelos digitales de elevación MDE se definen como un conjunto de datos numéricos de posición geográfica y altura principalmente que describe la distribución espacial de una característica del territorio. Los datos de mayor utilidad derivados de los MDE son aquellos que permiten caracterizar el relieve del paisaje de acuerdo a variables topográficas de pendiente, rugosidad, forma del relieve etc. Para el desarrollo de esta metodología se empleará un MDE con resolución espacial de 30m de las zonas piloto. Con este MDE se pretende extraer atributos del relieve como la altura y la pendiente del relieve principalmente.

- **Trabajo de campo**

El trabajo de campo es muy importante al momento de definir los usos de la tierra puesto que estos no son fácilmente identificables visualmente. De esta forma se hace necesario un acercamiento con la comunidad (personal directivo, administrativo, trabajadores, empleados de las diferentes unidades agrícolas) mediante la convocatoria a reuniones y encuentros con el objetivo de identificar los posibles usos de las tierras. El objeto subyace en lograr un intercambio de saberes que fomente la construcción colectiva de mapas de cobertura y uso de la tierra mediante la técnica de cartografía social.

La cartografía social es una técnica de trabajo que permite que tanto personas de la comunidad como académicos, profesionales, funcionarios públicos, y otros actores sociales, se sienten alrededor de una mesa, compartan, discutan y concierten puntos de vista, información y conocimientos sobre un territorio determinado mediante la representación icnográfica de la realidad en las imágenes previamente proporcionadas (Escobar et al. 2003).

Según Castañeda et al. (2006), es de gran importancia la socialización de la metodología propuesta para la clasificación del uso actual y cobertura de las tierras entre los diferentes actores locales, pues son éstos quienes más conocen la distribución, el estado y el impacto que sus actividades tienen sobre las coberturas.

3.1.4 Recolección de datos para la caracterización de los tipos de uso de la tierra

La evaluación de tierras a nivel semidetallado implica la obtención de datos primarios referentes a los tipos de uso que se van a evaluar y de los usos actuales del área del estudio. Estos datos tienen como objetivo generar información referente a:

- **Características de los usos alternativos**

Adicionalmente al uso actual, se requieren datos de usos alternativos, que aunque no sean los dominantes en el área de estudio, pueden ser considerados promisorios y de esta forma incluirlos en la evaluación de tierras. Estos usos alternativos pueden ser diferentes al resto porque incluyen especies o razas nuevas, o innovaciones en el sistema de manejo, o se enfocan hacia mercados o fines especiales, o tienen mejoramientos importantes de la sostenibilidad etc. Para obtener estos datos se seleccionan fincas tipo, mediante información de personas que conocen el área de estudio, expertos o incluso fincas ubicadas en condiciones

similares aunque estén fuera del área de estudio. Allí se colecta la información con base en el formato definido para tal fin.

- **Características de los usos actuales dominantes**

Para tener un conocimiento más preciso de los tipos de uso dominantes en el área de estudio, en términos económicos, tecnológicos y de manejo, se requieren datos de algunas fincas representativas. Estos datos permitirán caracterizar los tipos de uso actuales, identificar los problemas principales que afrontan y establecer posibilidades de mejoramiento. En algunos casos puede ser que ya existan datos de las fincas, que hayan sido recolectados como parte de otros proyectos tales como: Censo Nacional Agropecuario, diagnósticos municipales, datos recolectados por gremios, sistemas de información existentes por ejemplo para el café, etc. En este caso se pueden tomar como base para la caracterización de los tipos de uso.

Cuando no existen datos se deben recolectar, para ello se han elaborado formatos que hacen parte integral de la metodología de evaluación de tierras a nivel semidetallado. Los formatos a usar en esta etapa se presentan en el **Anexo 3**.

A continuación se proponen algunas formas para seleccionar las fincas donde se va a tomar la información teniendo en cuenta lo siguientes criterios:

- Que la selección de las fincas sea relativamente fácil de aplicar partiendo de datos que generalmente están disponibles para la mayor parte del país.
- Que el costo de recolección de datos no sea tan elevado para que no constituya un limitante para las entidades que realizarán la evaluación de tierras.
- Que los datos obtenidos puedan dar una idea clara de las características, problemas y posibilidades de mejoramiento de los usos.

Para lo anterior no existe un método único de selección de las fincas y caracterización, de manera que se pueden utilizar varios enfoques, a saber:

- **Muestreo**

En caso de que se cuenten con los recursos necesarios y si se desea que el muestreo sea estadísticamente válido de manera que los datos sean representativos del área de estudio y que se puedan realizar análisis estadísticos confiables, se debe aplicar algún método de muestreo para definir el número de fincas en que es necesario recolectar datos.

Para el diseño del muestreo y cálculo del número de fincas se pueden consultar textos por ejemplo Vivanco (2005); Ordoñez (2014).

Dado que los factores que inciden en la producción agropecuaria como el suelo, el relieve, el clima, las facilidades de acceso, uso actual y cobertura, entre otros, presentan una gran variabilidad espacial es decir no son constantes en el espacio ni en el tiempo y esa condición determina en gran proporción las características de los tipos de uso, se propone realizar un muestreo espacialmente estratificado, basado en el conocimiento de dicha variabilidad.

El muestreo espacialmente estratificado consiste en subdividir apriori la población en subunidades o estratos y luego aplicar un método de muestreo a cada estrato. La subdivisión responde a un conocimiento apriori de la existencia de dichos estratos y de que el parámetro a medir está influido por ellos. Para el caso de la evaluación de tierras, dependiendo de las características del área de estudio, se pueden utilizar como estratos diversos criterios a saber: la unidad de paisaje, el uso principal de las fincas, el tipo de finca entre otros.

La unidad de paisaje se puede utilizar tal como está definida en los estudios de suelos realizados por el instituto geográfico Agustín Codazzi a escala 1: 100.000 y luego dentro de cada unidad de paisaje realizar un muestreo aleatorio simple de las fincas que se encuentren predominantemente dentro de la unidad de paisaje. Lo anterior se basa en que las unidades de paisaje, generalmente, se definen con base en características del relieve y por ser éste uno de los factores formadores del suelo tiene una incidencia importante en las características edáficas y por lo tanto a ese nivel determina diferencias importantes en los tipos de uso de la tierra. Para realizar este procedimiento se requiere tener el mapa de suelos a escala 1:100,000 y el mapa de los predios, posteriormente se superponen utilizando un software para SIG, se cuenta el número de fincas por cada unidad de paisaje, se calcula el área de cada finca, se calcula la varianza y se aplica la fórmula respectiva (Ordoñez, 2014).

Otra alternativa es considerar como estratos los tipos de usos principales (fincas ganaderas, fincas agrícolas) y dentro de estos realizar el muestreo aleatorio simple. Para realizar esta estratificación se deberá conocer el número de fincas que conforman cada uno de los usos principales y la extensión, al menos de algunas fincas, para calcular la varianza y se aplica la fórmula respectiva.

En otros casos puede utilizarse como estrato el tipo de explotación (pequeña, mediana, grande). Para esto se requiere conocer el número total de fincas, la extensión de cada una y realizar la estratificación.

A manera de ejemplo, a continuación se presenta el procedimiento de cálculo del número de fincas a muestrear para la altillanura plana en el municipio de Puerto Gaitán (Meta) utilizando el software ArcGIS. Se tomó el mapa predial que estaba en formato análogo, se digitalizó y se utilizó el mapa actual de uso y cobertura realizado como parte del proyecto (ver capítulo 3 Tipos de utilización de la tierra)

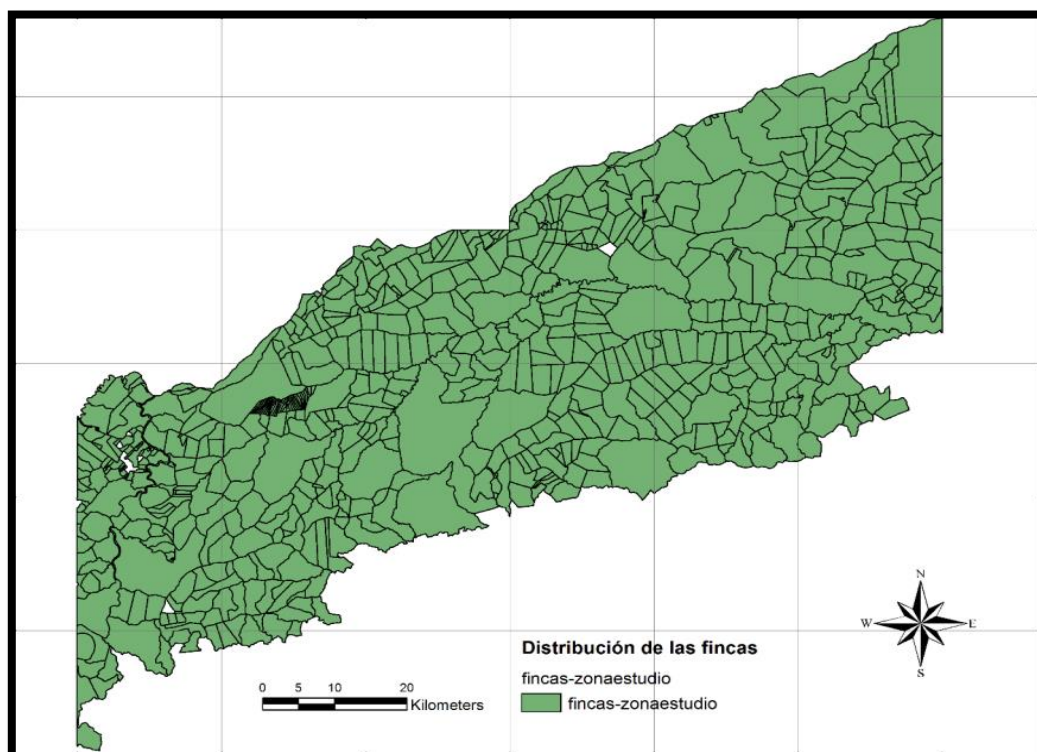
El marco muestral se definió como el número total de fincas (710) que se encuentran en el área de estudio y cuya ubicación y extensión se obtuvo a partir del mapa de predios (Figura 9).

Para la zona se encuentra una sola unidad de paisaje dominante que es la altillanura, por lo tanto no se utilizó para estratificar.

Con base en un reconocimiento de campo previo y por información obtenida de las imágenes de satélite se encontraron 3 usos principales: cultivos perennes (caucho, palma, maderables y frutales), cultivos semestrales (arroz, maíz, soya) y ganadería. Se tomó como estrato el uso principal con las 3 clases anteriores y mediante superposición del mapa de predios se obtuvo el número aproximado de fincas que pertenecen a cada una de las 3 clases de uso. A partir de la extensión que ocupa cada clase de uso y de la extensión total de la fincas por clase de uso se obtuvo una proporción de la extensión que ocupa cada uso por finca. Para las fincas con

perennes la proporción fue de 0.2, para las fincas con semestrales 0.4 y para las ganaderas 0.74.

Figura 9. Distribución de los tipos de finca en la altillanura, municipio de Puerto Gaitán, Meta



Con estos datos se aplicó la ecuación (Ordoñez, 2014) y se obtuvo el número de fincas para tomar los datos.

$$n = \frac{\sum_{k=1}^L N_k p_k q_k}{N \frac{B^2}{k^2} + \frac{1}{N} \sum_{k=1}^L N_k p_k q_k}$$

N_k : número de fincas por clase de uso

P : proporción

B : error de estimación

k : nivel de confianza elegido 95% (1.96)

$$\frac{(119 \cdot (0.2 \cdot 0.8)) + (553 \cdot (0.74 \cdot 0.26)) + (43 \cdot (0.4 \cdot 0.6))}{710 \cdot \left(\frac{0.12^2}{1.96^2}\right) + \frac{1}{710} \cdot ((119 \cdot (0.4 \cdot 0.6)) + (553 \cdot (0.74 \cdot 0.26)) + (43 \cdot (0.4 \cdot 0.6)))} = 47$$

En este caso con un error de estimación del 12% se encontró que se debe aplicar la encuesta a 47 fincas, si se utiliza un error de 10% se requieren 66 fincas.

Para repartir las muestras y saber cuántas se deben tomar por estrato se utiliza la siguiente fórmula (Ordóñez, H, 2014):

$$n_h = n \frac{N_h}{N}$$

n_h : número de fincas a muestrear por estrato

N_h : número de fincas por estrato

N : número total de fincas.

Aplicando esta ecuación a las fincas de Puerto Gaitán se tiene:

Número fincas a muestrear con uso principal cultivos perennes = $47 \cdot 119 / 710 = 8$

Número de fincas muestrear con uso principal ganadería $47 \cdot 553 / 710 = 36$

Número de fincas a muestrear con uso principal cultivos semestrales $47 \cdot 43 / 710 = 3$

Esto significa que se debe muestrear 36 fincas ganaderas, 8 de cultivos perennes y 3 de cultivos semestrales. La selección se puede realizar en forma aleatoria con el mapa de usos actuales y el mapa de fincas.

- **Recolección de datos mediante métodos rápidos, participativos.**

Como alternativa al diseño estadístico clásico para el muestreo de las fincas, existen otros enfoques que implican menos costos para recolectar los datos y que se basan en la participación de las comunidades y que entre muchos expertos se consideran más eficientes y apropiados para proyectos relacionados con el sector rural (FAO, 2003). Entre ellos se puede mencionar el diagnóstico rural participativo (*Participatory Rural Appraisal*) que se apoya en la participación directa de las comunidades quienes establecen las prioridades, determinan sus necesidades, participan en la recolección, documentación y análisis de los datos y la selección de alternativas y búsqueda de soluciones basadas en los hallazgos. Las personas externas actúan como facilitadores del proceso, convocan a grupos de personas de la comunidad que conocen el área y mediante una reunión con ayuda por ejemplo de cartografía social caracterizan los tipos de uso dominantes definiendo tipos de fincas, insumos, productos, tecnología utilizada, problemas dominantes etc.

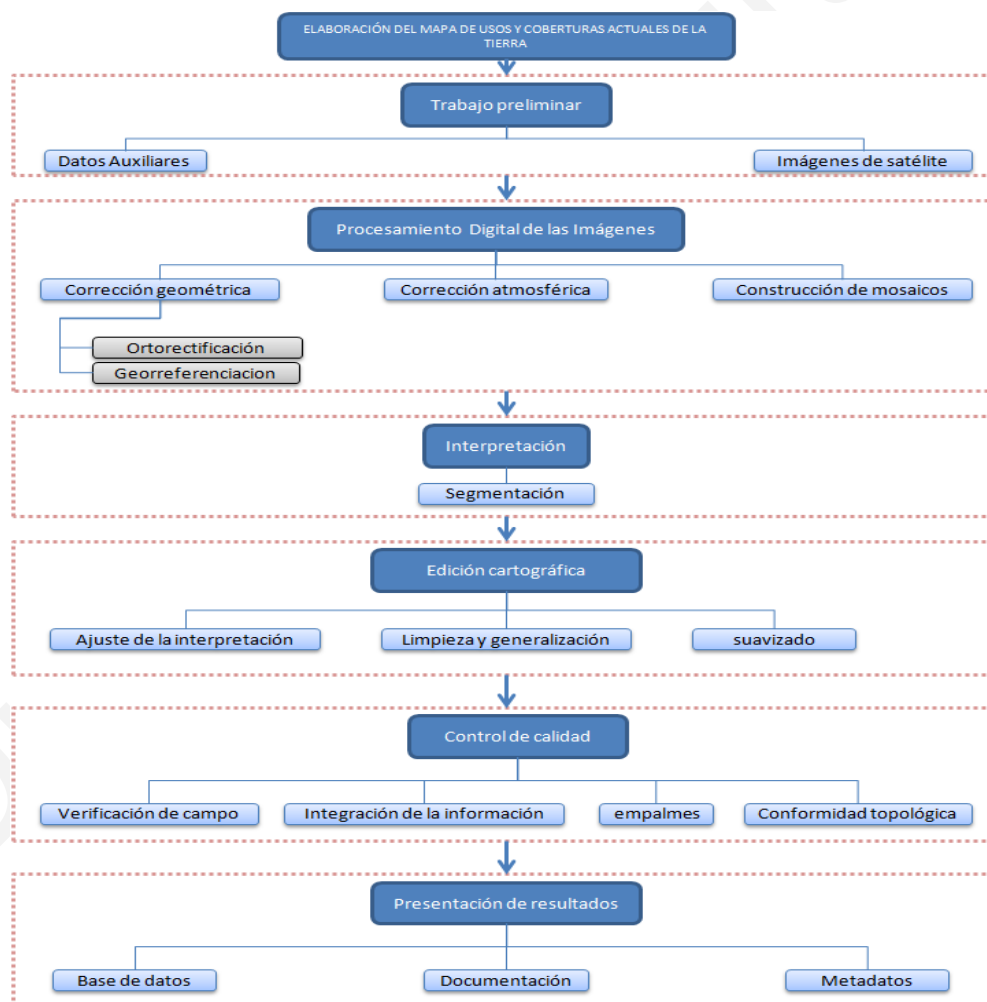
Los métodos participativos incluyen mapeo, caminatas en transectos, calendarios estacionales, análisis de tendencias, diagramas. Estos métodos participativos aunque por lo general no obedecen al enfoque estadístico clásico, son preferidos por diversos grupos de trabajo ya que ofrecen datos más reales, la comunidad se apropia del proyecto y participa no solo como fuente de datos sino como actor del proyecto analizando los datos, definiendo prioridades y

buscando soluciones, lo cual redundará en una mejora acercamiento a la realidad y una mayor probabilidad de éxito.

3.1.5 Protocolo para cartografiar usos actuales de la tierra

Se presenta el protocolo que sistematiza la clasificación de imágenes satelitales, comprobación de campo y elaboración de bases de datos con el objeto de cartografiar los usos actuales de la tierra en el marco del modelo de evaluación de tierras escala 1:25.000 para la zona piloto del municipio de Puerto Gaitán Meta (Figura 10). En el Anexo 1 se presenta el procedimiento detallado.

Figura 10. Esquema general del proceso metodológico para cartografiar los usos actuales de la tierra



- **Control de calidad**

Un aspecto importante para tener en cuenta, es que este tipo de trabajos requiere de un trabajo en campo con el fin de corroborar los datos obtenidos mediante el análisis de las imágenes satelitales.

- a. Verificación de campo**

El objetivo de la verificación de campo es generar un conjunto de datos en base a puntos de muestreo distribuidos sobre el área de trabajo, tanto preestablecidos como determinados "in situ", los cuales servirán para evaluar la exactitud temática del mapa, el control de calidad de la ortorrectificación y la calibración de la clasificación.

- **Materiales**

- ✓ Mapas con las Imágenes de alta resolución, fotografías aéreas y mapas temáticos
 - ✓ Puntos de muestreo
 - ✓ Resultado de la clasificación semiautomática realizada por los intérpretes.
 - ✓ Capa de la Red Vial (Nacional, departamental y vecinal)
 - ✓ Capa de Centros Poblados
 - ✓ Fichas de campo
 - ✓ Libretas de campo
 - ✓ Útiles de escritorio (Lápices, marcadores permanentes)

- **Equipos**

- GPS
 - Cámara fotográfica

- **Productos**

- ✓ Conjunto de puntos de muestreo tomados en campo, almacenados como tabla, con su correspondiente información como coordenadas geográficas, información de las fotografías registradas en cada punto de muestreo, etc.
 - ✓ Información del recorrido realizado durante la salida, en formato de puntos (shapefile).
 - ✓ Fotografías registradas en cada punto de muestreo.

- **Procedimiento**

Los puntos tomados en campo se pueden clasificar en 4 clases, para este proyecto el método utilizado es el predeterminado:

- ✓ **Método Grilla:**

Este método se empleará siguiendo un diseño del muestreo sistemático, empleando una grilla, los puntos de intersección de la grilla corresponden a los puntos de levantamiento de información en campo y serán empleados en el proceso de control de calidad de la exactitud temática del mapa.

✓ *Predeterminado:*

Son aquellos puntos que son construidos y programados previamente, en base a las dudas identificadas por los intérpretes. Estos puntos se emplearán como información de calibración para proceso de clasificación.

✓ *Sobre la marcha:*

Bajo esta metodología, se registrará la información de puntos siguiendo un patrón sistemático, en función de una unidad establecida de distancia o tiempo recorrido.

✓ *Puntos de interés:*

Son aquellos que tienen el propósito de registrar datos particulares o convenientes registrar.

b. Integración de la información

Se adiciona la información del mapa interpretado a los puntos de validación y se contrastan con la información del mapa interpretado en dichos puntos, conformándose una “Capa de puntos de validación” que contiene toda la información disponible para la realización de este proceso.

• Presentación de resultados

c. Base de datos

Se crea un archivo Geodatabase (.gdb), que almacena el shapefile del mapa de usos actuales, almacenándose como un archivo FeatureClass.

La información contenida en el shapefile posee tres campos asociados que contienen:

CODIGO_COB_XXX: describe un número único que identifica la cobertura del suelo y varía de acuerdo a la escala temática de cobertura que sea elegida y varía de escala 1:500.000 hasta 1:25.000.

SIMBOLO_COB_XXX: describe el símbolo que representa la cobertura del suelo en la cartografía se visualiza como una etiqueta o abreviatura «label» sobre cada polígono cuando se imprima el mapa de cobertura del suelo:

NOMBRE_COB_XXX: describe el nombre que identifica la cobertura del suelo y varía de acuerdo a la escala temática de cobertura que elijamos y varía de escala 1:500.000 hasta 1:25.000.

d. Documentación de la información

Tiene como objetivo almacenar la información empleada y generada bajo un esquema estandarizado para todos los operadores, se muestra como una base de datos organizada.

e. Metadatos

Como procedimiento final de los trabajos de elaboración del mapa de usos, se elaboran los metadatos que permitan la interpretación de la estructura de la información generada, tanto de

a sus características técnicas, como lo relativo a los datos sobre gestión y realización del proyecto:

- Información general
- Contacto
- Distribución.
- Calidad
- Información de identificación
- Información básica
- Responsable
- Palabras-claves
- Extensión
- Constricciones de uso
- Resolución espacial
- Sistema de referencia

3.1.6 Verificación del uso del suelo en campo

Las etapas generales para la elaboración del mapa de coberturas y usos de la tierra incluyen: la elaboración del mapa preliminar mediante la interpretación de las imágenes y posterior clasificación, bien sea por métodos automatizados o visuales; verificación en campo de la clasificación; ajustes y elaboración del mapa final de usos y coberturas.

Luego de efectuar la interpretación de las imágenes se obtiene una clasificación preliminar de las coberturas de la tierra basada en la experiencia de la persona que efectuó el proceso y en las respuestas espectrales y en las características de los objetos (textura, forma, etc.). Sin embargo y dependiendo del área de estudio y de las características de las imágenes, surgen dudas, por ejemplo sobre tipos de cobertura que no se pueden identificar con claridad, coberturas diferentes que se pueden confundir en la clasificación, misceláneos y áreas muy heterogéneas y en consecuencia se requiere hacer un trabajo de campo para verificar la clasificación, identificación de clases dudosas y corrección y ajustes pertinentes.

De acuerdo con McCloy (1995) los datos de campo son utilizados para mejorar la información obtenida a partir de los sensores remotos, para calibrar los datos y la información generada y para mejorar la exactitud de la clasificación obtenida. Los datos de campo pueden ser mediciones radiométricas de algunos objetos de interés, identificación y descripción de algunas clases de coberturas, medición de algunos parámetros como la pendiente, las áreas, distancias, etc.

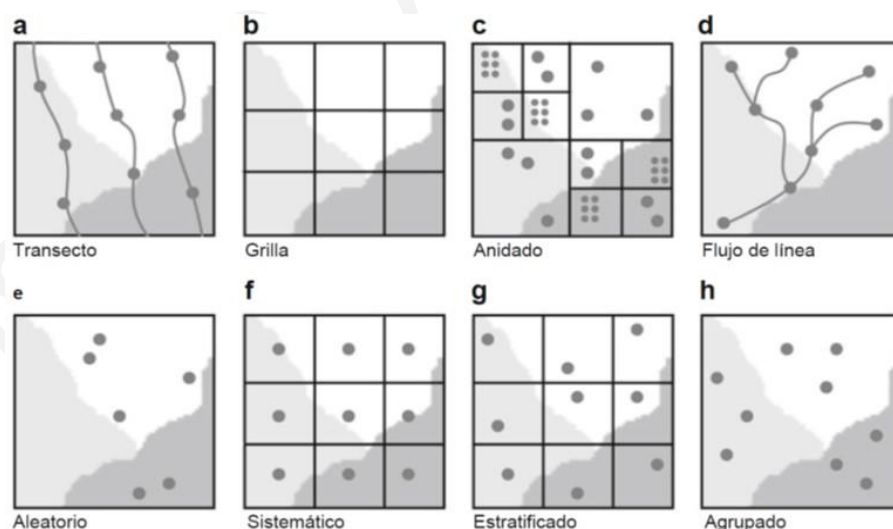
La exactitud de la información generada a partir de las imágenes se define como la cercanía de los valores estimados a los valores obtenidos en el campo. Los patrones definidos en el campo permiten inferir clases para el área no muestreada mediante el proceso de extrapolación que es definido como la proyección de la información estimada en un área conocida hacia el área no visitada. La extrapolación asume que los datos y patrones que son válidos en una zona se pueden aplicar a otra zona que presente las mismas condiciones.

La definición de cada cobertura está íntimamente relacionada con la escala, permitiendo especificar el tipo de cobertura y su uso. A escalas pequeñas la cobertura se presenta de forma más homogénea, en caso de escalas grandes hay una mayor heterogeneidad y una especificidad de cada cobertura.

- **Recolección de datos en el campo**

De acuerdo McCloy, se puede realizar primero la clasificación de las imágenes y posteriormente la verificación. En este caso los datos de campo se utilizan para verificar y corregir la clasificación realizada. El mismo autor considera que se puede, en algunos casos, tomar los datos en campo, definir las áreas de entrenamiento y posteriormente efectuar la clasificación. Una tercera opción es realizar una clasificación preliminar de las imágenes, posteriormente realizar la verificación de campo definir los patrones y reclasificar las imágenes. De acuerdo a la variabilidad de los patrones de las coberturas se puede definir el tipo de muestreo que se ajuste para el tipo de análisis a realizar, dando la representatividad a los objetos espaciales muestreados (Figura 11). El tipo de muestreo depende de la escala de trabajo, características de orden económico, social y biofísico, que permita dar mayor exactitud a las actividades desempeñadas en la zona de estudio. Se hace necesario contar con elementos como cartografía actualizada de la zona de estudio, imagen de sensores remotos en una composición en falso color que resalte la vegetación en un estado fotosintéticamente activa, además que sea cercana al periodo de análisis en la zona de estudio. El uso de receptores GPS es una herramienta útil que permite realizar captura de puntos de verificación y de observación, permitiendo realizar los ajustes a las coberturas y usos. Se hace necesario tener formularios de captura de información que permitan detallar características relevantes, para la construcción de bases de datos que se asocien a las unidades de cobertura y uso.

Figura 11. Tipos de muestreo



Fuente: Mueller *et al.*, 2014

- **Muestreo estratificado al azar**

Aunque existen diversos métodos de muestreo se propone el muestreo estratificado al azar. Este método implica de la delineación de los estratos, determinación del número de muestras, muestreo e interpretación de los resultados. De acuerdo con McCloy (1995) cuando las clases en estudio representan porciones similares del área se puede considerar toda la población para definir al azar las muestras. Sin embargo, en muchos casos esa condición no se cumple y algunas clases representan una extensión pequeña del área total, o se presenta una gran variación de clases dentro del área con concentración diferencial de clases (ejemplo ciertos cultivos se encuentran concentrados en una unidad de paisaje), en estos caso se recomienda la ubicación de los sitios de verificación mediante un muestreo estratificado. Como estratos se pueden utilizar unidades espaciales previamente definidas (por ejemplo unidades de paisaje) que ya se sabe presentan una correlación con los tipos de cobertura y uso y dentro de estas unidades se ubican las muestras al azar.

Una de las formas que se hace la verificación de las coberturas y los usos de la tierra es mediante trayectos terrestres, que facilitan la descripción en mayor detalle, recolectar información primaria e identificar otro tipo de variables que interactúan entre sí. Sin embargo, para tener un mayor cubrimiento en área de análisis se pueden complementar con sobrevuelos que otorgan una perspectiva general del territorio de estudio. En la Figura 12 se muestra una zona de palma de aceite en la Orinoquia capturada en un sobrevuelo.

Figura 12. Cultivo de palma de aceite tomada con un sobrevuelo



- **Ubicación y georreferenciación de sitios de verificación**

Utilizando un GPS se procede a ubicar en el campo el sitio que se va a describir. Al mismo tiempo se procede a ubicarlo en el mapa preliminar impreso de usos y coberturas, verificando su correspondencia. Alternativamente se puede tener en el GPS el mapa que se va a verificar.

- **Descripción de los usos y coberturas**

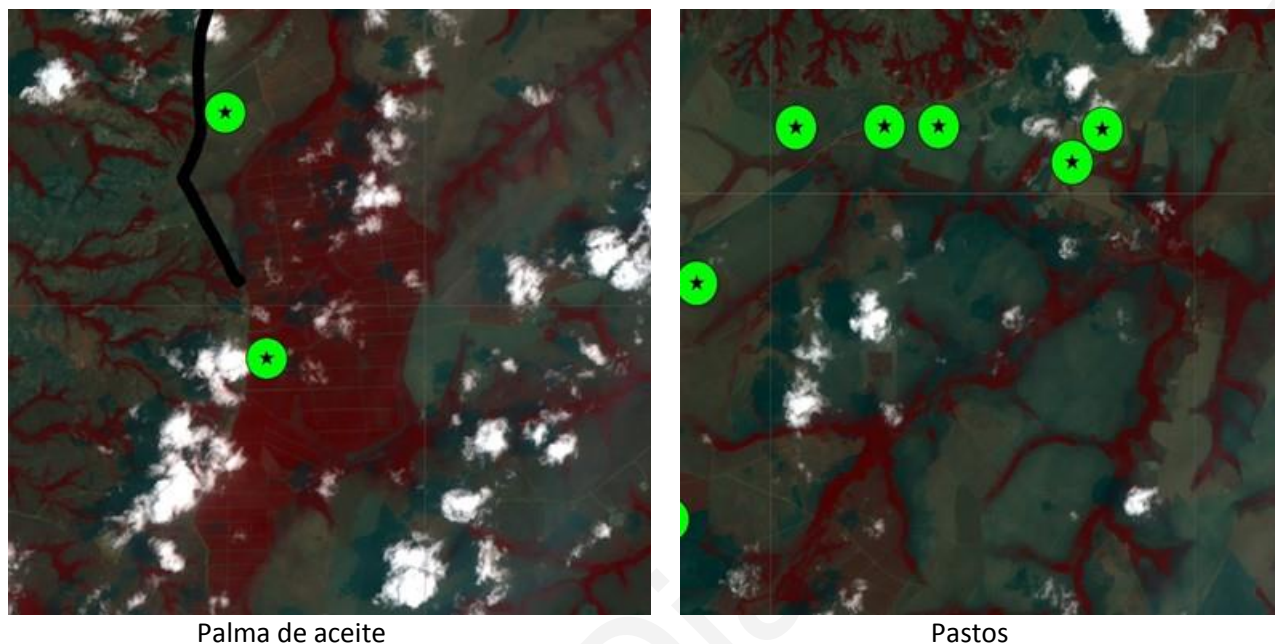
Una vez ubicado el uso o la cobertura se procede a tomar algunos datos que permitan su caracterización tales como: clase de uso y cobertura, altura de las plantas, distancias de siembra, estado de la cobertura (quemadas, terreno preparado para la siembra, homogeneidad de la cobertura, etc.), clima, unidad de suelos según el mapa, pendiente, entre otras.

- **Registro fotográfico**

Además de la ubicación espacial y descripción de las clases de uso y cobertura es muy útil realizar un registro fotográfico de la cobertura y de su estado actual, ya que posteriormente esto ayuda a realizar la descripción completa y a rectificar la clasificación realizada previamente. Los registros fotográficos permiten complementar la información recolectada en campo, y a la vez son fuente de información de presentarse incertidumbre en la zona de análisis. Además de pueden contar con instrumentos como metro, nivel y brújula, para realizar diferentes medidas.

Para el proceso de verificación de los usos de la tierra se realizan procedimientos como la determinación de patrones, el muestreo en transepto y la evaluación de la exactitud. La determinación de patrones de usos de la tierra se debe considerar el contexto geográfico, ya que permite encontrar las relaciones espaciales entre la cobertura y la actividad económica que se desarrolla en dicha zona. El patrón se determina según las características del sensor con su resolución espacial, espectral y radiométrica; que permite identificar a nivel geométrico, textural y la respuesta es espectral las diferentes coberturas en el territorio (Sohl y Sleeter, 2012). Para el caso del cultivo de la palma de aceite se puede observar la geometría de los predios, con una textura granulométrica y con intensidad en rojos por la composición en falso color en los rangos espectrales de rojo a infrarrojo. Caso contrario con los pastos o las sabanas naturales donde la geometría de sus lotes es irregular, su textura es fina y la respuesta espectral es en tono azules a verdes. En la Figura 12 se muestra una vista aérea de un cultivo de palma y la Figura 13 presenta patrones de palma de aceite y pastos.

Figura 13. Patrones de palma de aceite y pastos



- **Evaluación de la exactitud**

La evaluación de la exactitud se puede realizar mediante procesos estadísticos de análisis de frecuencia de las unidades interpretadas de las imágenes de sensores remotos, con los puntos muestreados de las unidades cartográficas verificadas en campo, para determinar el grado de exactitud o concordancia del procesamiento digital de imágenes respecto a las coberturas presentes en el territorio.

Priorización de los usos a evaluar

3.1.7 Cartografía social para la validación del uso actual del suelo

- **Taller de cartografía social**

En el uso de la cartografía social se vincula a los actores clave de la región en la cual se identifica aspectos diferenciales del territorio para cada uso del suelo, se analizan los componentes de las características del territorio, cómo eran hace diez años y en qué estado se encuentran actualmente. En este análisis se indaga sobre el estado de los recursos biofísicos, los recursos naturales, cómo era socio-culturalmente la región en el pasado y aspectos de identidad económica dentro de la misma. Esta cartografía social inicial se trabaja a modo de borrador seguido por unos mapas de campo que explican que existe actualmente, qué se ha perdido y qué se quiere para el futuro. Ésta es sometida a un proceso de reconocimiento por

parte de la comunidad, que ejerce un proceso de recopilación de datos de las experiencias, de búsqueda de relaciones y coherencia entre los usos de suelo en la región para fines agropecuarios.

- **Objetivo**

En primer lugar, verificar los usos agropecuarios del territorio de acuerdo al conocimiento de los actores locales. En segunda instancia, reconocer el cambio en los usos agropecuarios en el territorio en los últimos 10 años. Finalmente, indagar por los posibles cambios que pueden ocurrir en los próximos 5 años.

Como producto se obtiene una sistematización y verificación del territorio para aprender la realidad que permite dimensionar datos, conocimientos y prácticas para cada uso de suelo en la región. Igualmente la comunidad estará en libertad de decidir con quien comparte o restringe la información para su uso en la elaboración y gestión de proyectos en el uso de suelos para fines agropecuarios. El desarrollo del taller se explica en el Anexo 3B.

Prospectiva estratégica con actores locales para la definición del uso potencial del suelo

El taller de prospectiva estratégica consiste en una secuencia de cuatro etapas para identificar usos potenciales del suelo. En primer lugar, se realiza una exposición en donde se presenta el análisis del entorno así como el análisis de políticas a los actores locales. Segundo, se pide a los actores que identifiquen las variables Políticas, Económicas, Socioculturales, Tecnológicas y Ambientales que consideran fundamentales para el desarrollo de las actividades agropecuarias en la región (Análisis PESTA). Con esto, se pasa a una etapa de calificación de las variables en cuanto a su Importancia y Gobernabilidad (análisis IGO). Habiendo identificado las variables estratégicas con este procedimiento el equipo facilitador plantea unos pocos escenarios, y de nuevo se califica la viabilidad de los tipos de uso en éstos.

- **Objetivo**

Constituir escenarios de uso futuro del suelo, en el mediano y largo plazo, basados en las preferencias y expectativas de los actores locales que actualmente tienen injerencia en el territorio (productores, gremios, organizaciones, gobierno local y regional, instituciones de apoyo). El desarrollo del taller se explica en el Anexo 3C.

Requerimientos de los TUT

3.1.8 Definición del TUT

En el contexto de agricultura sin riego, un tipo de utilización de la tierra (TUT) se refiere a un cultivo, una combinación de cultivos o sistema de cultivos en de acuerdo a condicionantes técnico y socio-económico (Rossiter, 1995).

3.1.9 Identificación del TUT

Es importante la identificación de los TUT's en la zona a evaluar, los cuales se pueden seleccionar mediante agendas de investigación, cadenas productivas y/o los resultados obtenidos en talleres de prospectiva de uso potencial del suelo.

3.1.10 Selección del TUT

Posterior a la identificación, el evaluador o los evaluadores deben considerar los requerimientos biofísicos de cada TUT para una adecuada selección. Se considera un requerimiento como las condiciones que deben cumplir los terrenos para la implementación exitosa y sostenida de un cultivo. (FAO, 1983)

3.1.11 Criterios para la selección de requerimientos a evaluar

Según la FAO (1976), para la selección de requerimientos de evaluación estos deben cumplir con condiciones tales como:

- Representar importancia relevante para el uso
- Deben existir valores críticos
- Deben ser compatibles con los aportes de la tierra

3.1.12 Clasificación de los requerimientos

Estos son algunos de los requerimientos que se deben tener en cuenta a la hora de evaluar la aptitud de un uso en una zona determinada.

- **Requerimientos biofísicos**

- Energía: Radiación.
- Temperatura.
- Humedad.
- Oxígeno (drenaje del suelo).
- Nutrientes disponibles
- Condiciones de enraizamiento.
- Condiciones que afectan la germinación o el establecimiento de la planta
- Humedad relativa.
- Condiciones para la maduración.
- Riesgos de inundación.
- Riesgos climáticos: Helada, tormenta.
- Exceso de sales: Salinidad, sodicidad.
- Toxicidades del suelo.
- Plagas y enfermedades.

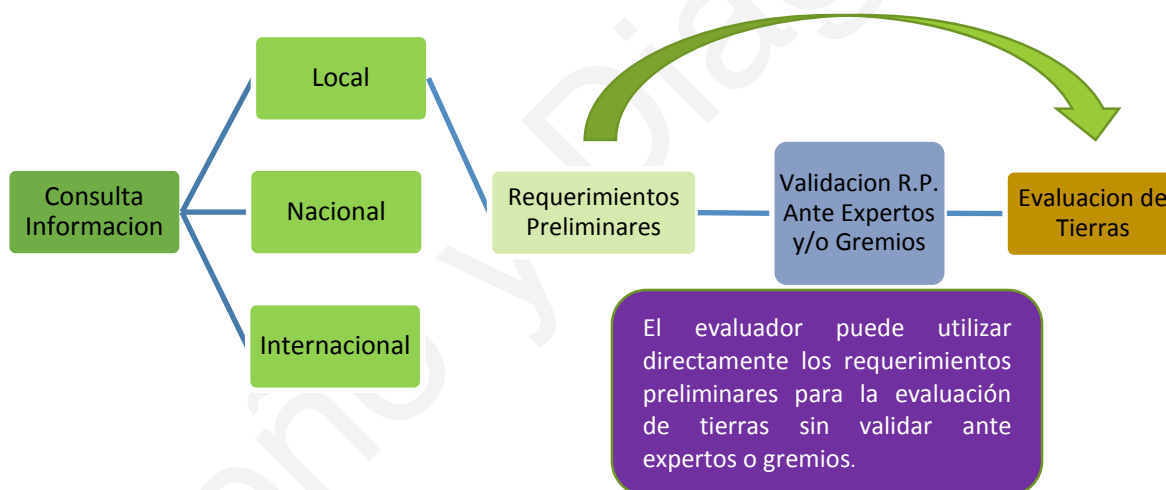
• **Requerimientos de manejo:**

- Capacidad de laboreo del suelo.
- Posibilidad de mecanización.
- Condiciones para la preparación y limpieza de la tierra.
- Condiciones que afectan el almacenamiento y la elaboración.
- Condiciones que afectan el manejo temporal de la producción.
- Acceso dentro de la unidad de producción.
- Tamaño de las posibles unidades de manejo.

3.1.13 Fuentes de información

A la hora de buscar información referente a los usos y sus requerimientos, el evaluador puede seguir el orden planteado en el siguiente diagrama.

Figura 14. Proceso de obtención de requerimientos de los T.U.T.



El evaluador debería realizar una consulta de información sobre los requerimientos del uso en fuentes tales como bases de datos, bibliotecas, documentos investigativos gremiales y publicaciones científicas.

Como resultado de esta búsqueda se obtienen unos requerimientos preliminares con los cuales el evaluador puede tomar dos opciones a seguir.

- Usarlos directamente para su calificación frente a la oferta biofísica de la zona en evaluación.

- Para mayor certeza de los resultados de los requerimientos obtenidos pueden someterse a validación ante expertos en el uso, y/o gremios directamente relacionados. Ver Anexo 2.

A continuación se muestran a manera de ejemplo dos usos los cuales se van a trabajar en el ejercicio de ajuste de la metodología de evaluación de tierras a escala semi-detallada 1:25000.

3.5. Requerimientos de los TUT analizados en caso de zona de referencia

Con el fin de ilustrar la definición de los TUT a analizar, se presentan a continuación como ejemplos los usos evaluados para caucho y pasturas en la zona de referencia, altillanura plana del municipio de Puerto Gaitàn – Meta.

3.5.1 T.U.T. Caucho

Esta especie se cultiva principalmente en el renglón industrial, destinado a la fabricación de productos impermeables como llantas, neumáticos, aislantes, entre otros. El cultivo de caucho es de gran importancia a nivel mundial pues a partir de este se obtiene caucho natural que se usa como materia prima en la elaboración de llantas radiales y de avión, calzado de goma, adhesivos y en la línea médica como preservativos, catéteres, guantes de goma, entre otros (Chacón, 2012). Después de terminar la etapa de producción de látex, su madera es utilizada en la industria (Martínez, 2007).

Figura 15. T.U.T. Caucho



El caucho se puede sembrar en monocultivo con una densidad aproximada de 500 árboles ha⁻¹ o sembrar en arreglo forestal, sembrado en doble surco a 3x3m en triángulo para una densidad de 528 plantas ha. Entre los problemas fitosanitarios se puede encontrar: mancha negra (*Phytophthora palmivora*), antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*); Hormiga arriera (*Atta sp.*), termitas (*Coptotermes sp.*) (Escobar, 2004; Martínez, 2007)

El caucho es un uso que ha venido tomando fuerza en nuestro país debido a las múltiples ventajas que ha venido mostrando para los productores dentro de las cuales se destacan:

- Incentivos gubernamentales
- Fácil asociación con otros cultivos
- Demanda creciente en los ámbitos nacional e internacional
- Mejoramiento comprobado de la calidad de suelos

Por otro lado se han encontrado limitaciones tales como:

- Periodo improductivo cercano a los 7 años
- Este cultivo exige una alta demanda de mano de obra
- Inversión de establecimiento alta frente a otros usos
- Poca investigación a nivel nacional
- Menor capacidad competitiva frente a países expertos en este uso

Caracterizado como un cultivo que se establece en tierras cálidas tropicales, su producción inicia alrededor del quinto a séptimo año por medio de un proceso llamado “ordeño” donde se extrae de su corteza un líquido blanco que es conocido como látex, su edad productiva puede ir fácilmente hasta los 30 años.

En nuestro país el crecimiento reciente de esta actividad se debe a que según datos oficiales de INDUPALMA Ltda. Colombia dispone de tierras óptimas y capacidad empresarial para aprovechar las oportunidades que brinda el mercado local así como el mundial. El dato que divulga dicha empresa es que alrededor del 90% del consumo nacional de caucho es importado y que tan solo el 10% es producto de las plantaciones locales.

Indupalma reporta que las zonas más aptas para las plantaciones de caucho en nuestro país por condiciones climáticas favorables actualmente son:

Altillanura Colombiana: Básicamente regiones comprendidas entre los departamentos del Meta y el Vichada con un área cercana a los 4 millones de has.

A continuación se muestra en la Tabla 22 los requerimientos biofísicos del cultivo del caucho obtenidas a partir de la compilación de información referente al uso.

Tabla 22. Requerimientos Biofísicos T.U.T. Caucho

Cualidad de la Tierra	Función o característica	Unidad	CLASIFICACIÓN POR FACTORES			
			ALTA A1	MODERADA A2	MARGINAL A3	NO APTA n
Clima	Altura ¹	msnm	0-1200	1201-1800	1801-2000	>2001
	Precipitación ⁴	mm	1800-2000	1500-1799 y 2001-2300	2301-2500	<1499 y >2501
	Temperatura ⁶	°C	26-30	24-26 y 30-34	22-24	<21 y >35
	Brillo solar ¹	Horas luz día ⁻¹	6.0-7.0	4.1-5.9	-	<4.0
Disponibilidad de oxígeno ⁶	Drenaje natural ¹	Nominal	Bien drenado	Moderadamente Bien Drenado	Imperfecto	Muy Pobre, Pobre, Excesivo
	Frecuencia de inundaciones	Nominal	No hay	Rara	Ocasional	Frecuente
Condiciones de enraizamiento	Profundidad efectiva ⁵	cm	> 150	125-149	100-124	<99
	Textura ²	Nominal	F, FAr, FArA	FA, AF, FArL, FL.	ArA, ArL	Ar, A, L.
	Material grueso ⁶	%	<15	16-35	36-60	>60
Humedad disponible ⁶	Régimen de humedad	Clase	Ústico	Údico	Perúdico	Ácuico, Perúcuico, Arídico
	Meses secos	Meses	3-4	1-2	<1	
Disponibilidad de nutrientes	Fertilidad del suelo		Moderadamente alta, Alta	Moderada	Baja, Muy baja	-
	pH ^{3, 6}	unidad	5.0-6.0	6.0-6.5	>6.5	-
	Carbono orgánico ⁷	%	>2.51	1.51-2.50	0.51-1.51	>0.50
	Nitrógeno ⁷	%	>0.41	0.21-0.40	0.11-0.20	<0.10
	Fósforo (Extracción Bray II) ⁷	ppm	>20	10-20	0-10	-
	Potasio ⁷	c mol kg ⁻¹	>0.15	0.1-0.15	0.05-0.1	<0.05
	Calcio ⁸	meq 100 g ⁻¹	>6.0	-	3.0-5.9	<2.9

Cualidad de la Tierra	Función o característica	Unidad	CLASIFICACIÓN POR FACTORES			
			ALTA A1	MODERADA A2	MARGINAL A3	NO APTA n
	Zinc ⁸	ppm	>1.1	-	0.5-1.0	<0.4
	Magnesio ⁷	cmol kg ⁻¹	>8.1	3.1-8.0	0.8-3.0	<0.79
	Manganeso ⁸	ppm	>1.0	-	-	<0.9
	Hierro ⁸	ppm	>4.6	2.5-4.5	-	<2.4
	Boro ⁸	ppm	>0.6	-	-	<0.5
	Molibdeno ⁸	ppm	>0.1	-	-	<0.09
	Cobre ⁸	ppm	>0.3	-	-	<0.2
	Saturación de bases (K,Ca,Mg y Na) ⁶	%	>50	35-50	<35	-
Toxicidad ⁶	Salinidad	ds m ⁻¹	<0.5	0.5-1.0	1.1 – 2.0	>2.1
	Profundidad de sulfídicos	cm	>175	125-174	75-124	<74
Posibilidad de laboreo ⁶	Pedregosidad superficial	%	<4	5-15	16-40	>41
Relieve	Pendiente	%	<7	8-16	17-30	>31
Erosión	Riesgo de erosión	Nominal	Sin erosión	Baja, moderada	Severa	Muy severa

- Martínez, A. 2007. Consideraciones técnicas para el establecimiento y manejo del cultivo de caucho (*Hevea brasiliensis*) en la Orinoquia colombiana. CORPOICA. Villavicencio, Colombia.
- Escobar, C. 2004. El cultivo del caucho (*Hevea brasiliensis* muell.) con enfoque agroforestal. CORPOICA. Florencia, Colombia
- CORPES. 1997. Diagnóstico del caucho natural en la Orinoquia. CORPES de la Orinoquia. Colombia.
- Chacón, E. 2012. Obtención de la norma de diagnóstico y recomendación integral (DRIS) para el cultivo de caucho (*Hevea brasiliensis*) en la Altiplanura Colombiana. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía-Escuela de Posgrados. Maestría en Ciencias Agrarias. Bogotá, Colombia
- FAO, 2006. Evapotranspiración de cultivos. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje 56. Roma, Italia.
- Ritung S, Wahyunto, Agus F, Hidayat H. 2007. Land Suitability Evaluation with a case map of Aceh Barat District. Indonesian Soil Research Institute and World Agroforestry Centre, Bogor, Indonesia.
- Pushparajah, E. and Chew P.S. 1994. Integrated nutrient management for sustaining high yields of plantation crops. In: Integrated nutrient management for sustainable agriculture. Fertilizer Development and Consultation Organization, New Delhi, India. (In press).
- Cenicaucho y Corpoica. 2013. Modelo Productivo para el cultivo del árbol de caucho natural en la Orinoquia. Zonas de escape y no escape al Mal Suramericano de las hojas de Caucho. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Siembra. 179 pp.

3.5.2 T.U.T. Pasturas Mejoradas

Esta especie se caracteriza por la presencia de tallos gruesos y frondosos, crece hasta los 70 cm de altura, es rustico y es un cultivo altamente difundido en nuestro país debido a que soporta pastoreo intensivo, aunque también se puede manejar como pasto de corte (Foto 3).

En cuanto a su composición la materia seca es cercana al 20% del peso total, presenta niveles de fibra cercanos al 28% del total de la MS, además de un aproximado del 11% de proteína. Los rendimientos bajo manejos óptimos pueden estar cercanos a las 90 Toneladas ha/año.

Actualmente es uno de los pastos más extendidos a lo largo del territorio nacional por su amplio rango de adaptación lo que lo caracteriza como una especie rústica dificultando su asociación con otro tipo de cultivos. Es resistente a condiciones adversas como suelos ácidos y de baja fertilidad, altas temperaturas y sequías.

Figura 16. Pastura *Brachiaria Decumbens*



Su rendimiento lo hace muy llamativo para aquellos ganaderos que están buscando incrementar la capacidad de carga de sus sistemas ganaderos y así mejorar la rentabilidad de su negocio. Además, presenta gran resistencia al pisoteo del ganado lo cual lo hace apto para el pastoreo.

Reduce la erosión eólica ya que su estolonización es rápida y tiende a cubrir toda la capa del suelo reduciendo actividad del sol y del viento sobre el horizonte superficial.

Es también muy recomendado por técnicos y profesionales del sector ganadero ya que permite ganancias de peso aceptables en regiones donde la composición de los suelos es el principal limitante para la producción.

A continuación se presentan los requerimientos identificados como importantes para las pasturas en la Tabla 23.

Tabla 23. Requerimientos para TUT *Brachiaria humidicola*

Cualidad de la Tierra	Función o característica	Unidad	CLASIFICACIÓN POR FACTORES			
			ALTA	MODERADA	MARGINAL	NO APTA
			A1	A2	A3	n
Clima	Altura ¹	msnm	0-1000	1001-2000	2001-2200	>2200
	Precipitación ²	mm	>900	800-899	700-799	<700
	Temperatura ³	°C	19-35	16-18,9	-	<16 y >35
Disponibilidad de oxígeno	Drenaje natural ⁴	Clase	Bien drenado	Moderadamente Bien Drenado	Imperfecto	Muy Pobre, Pobre, Excesivo
	Frecuencia de inundaciones ⁵	Clase	No hay	Rara	Ocasional	Frecuente
Condiciones de enraizamiento	Profundidad efectiva ⁶	cm	>20	-	-	<20
	Textura ⁷	Clase	F, FAr, FArA, FL, FArL	FA, ArL, ArA, Arf	Arf, A, AF, L	-
Humedad disponible	Régimen de humedad ⁸	Clase	Údico	Ústico	Perúdíco	Ácuico, Perúcuico, Arídico
	Meses secos ⁹	Meses	-	-	-	>6
Disponibilidad de nutrientes	N ¹⁰	%	>0,8	0,5-0,7	0,2-0,4	<0,2
	P ¹¹	ppm	21- 26,5	14 - 20	7 – 13,9	<7
	K ¹²	Cmol Kg ⁻¹	0,17-0,24	0,12 – 0,16	0,06 – 0,11	<0,06
Toxicidad	pH ¹³	unidad	4,5 - 6,5	6,6 - 7,3	7,4 - 8,4	>8,4
	Conductividad Eléctrica ¹⁴	ds/m	<4	4,-6	6,-8	>8
Relieve	Pendiente ¹⁵	%	<7	8,-16	17-30	>31
Erosión	Riesgo de erosión ¹⁶	Nominal	Sin Erosión	Baja, moderada	Severa	Muy severa

- Bernal Eusse, J.2003 Pastos y Forrajes Tropicales, Producción y Manejo 4 ed. Bogotá, Colombia; Cruz, P. 2009 Evaluación agronómica de 23 genotipos de brachiaria humidicola. México Pagina 8; Pérez, R. Lascano, C. 1992 Pasto Humidicola, Instituto Colombiano Agropecuario Pagina 4 Villavicencio, Colombia; con adaptaciones propias.
- Pineda N, Jaimes E, 2002, Aptitud física de tres clases de suelos a tres pastos en la planicie del río Motatán, estado Trujillo, Venezuela, Pagina 401, tomado de FAO ECOCROPO 1. versión 1.0. Environmental Requeriments Database. software library. Roma Italia 1994
- Bernal Eusse, J. 2003 Pastos y Forrajes Tropicales, Producción y Manejo 4 ed. Bogotá, Colombia; Pineda N, Jaimes E, 2002, Aptitud física de tres clases de suelos a tres pastos en la planicie del río Motatán, estado Trujillo, Venezuela, Pagina 401, tomado de FAO ECOCROPO 1. versión 1.0. Environmental Requeriments Database. software library. Roma Italia 1994
- Consulta Martínez J. y Rubiano Y. 2013 ; Pineda N, Jaimes E, 2002, Aptitud física de tres clases de suelos a tres pastos en la planicie del río Motatán, estado Trujillo, Venezuela, Pagina 401, tomado de FAO ECOCROPO 1. versión 1.0. Environmental Requeriments Database. software library. Roma Italia 1994
- Chamorro, D. 1990; Establecimiento de Pasturas Tropicales Mejoradas, Instituto Colombiano Agropecuario. Página 4; Bernal Eusse, J.2003 Pastos y Forrajes Tropicales, Producción y Manejo 4 ed. Bogotá, Colombia
- Adaptación Pineda N, Jaimes E, 2002, Aptitud física de tres clases de suelos a tres pastos en la planicie del río Motatán, estado Trujillo, Venezuela, Pagina 401, tomado de FAO ECOCROPO 1. versión 1.0. Environmental Requeriments Database. software library. Roma Italia 1994
- Pérez, R. Lascano, C. 1992 Pasto Humidicola, Instituto Colombiano Agropecuario Pagina 4 Villavicencio, Colombia; con adaptaciones propias, Consulta Martínez J. y Rubiano Y. 2013
- Consulta Rubiano Y. 2013.
- Cruz, P. 2009 Evaluación agronómica de 23 genotipos de brachiaria humidicola. México Página 8

10. Espinosa J.Bernal Eusse J.2003 Manual de Nutrición y Fertilización de Pastos, Potash & Phosphate Institute of Canadá, Pagina 68, Garces, R. 1998. Interpretación de Análisis de Suelos con Fines de Fertilización. Departamento Técnico COLJAP. S.A. //Consulta Torres J. tomando % de materia orgánica en 1.2 y una profundidad de 20 cm.
11. Espinosa J.Bernal Eusse J.2003 Manual de Nutrición y Fertilización de Pastos, Potash & Phosphate Institute of Canadá, Pagina 68, Garces, R. 1998. Interpretación de Análisis de Suelos con Fines de Fertilización. Departamento Técnico COLJAP. S.A.
12. Espinosa J.Bernal Eusse J.2003 Manual de Nutrición y Fertilización de Pastos, Potash & Phosphate Institute of Canadá, Pagina 68, Garces, R. 1998. Interpretación de Análisis de Suelos con Fines de Fertilización. Departamento Técnico COLJAP. S.A.
13. Adaptación Pineda N, Jaimes E, 2002, Aptitud física de tres clases de suelos a tres pastos en la planicie del río Motatán, estado Trujillo, Venezuela, Pagina 401, tomado de FAO ECOCROPO 1. versión 1.0. Environmental Requeriments Database. software library. Roma Italia 1994
14. Pineda N, Jaimes E, 2002, Aptitud física de tres clases de suelos a tres pastos en la planicie del río Motatán, estado Trujillo, Venezuela, Pagina 401, tomado de FAO ECOCROPO 1. versión 1.0. Environmental Requeriments Database. software library. Roma Italia 1994
15. Adaptado de Malgarejo, M. Cardoso, C. 2012. Zonificación de Suelos con Riesgo de Erosión Hídrica Mediante Teledetección en el Distrito de Salto del Guaira Pagina 8-9; Concepto Profesional del autor.
16. Consulta Buitrago J.

Definición del nivel tecnológico

De forma novedosa, la presente metodología de evaluación de tierras propone al interior de cada uno de los TUT a evaluar, establecer alternativas de decisión relacionadas al nivel tecnológico que resulta más adecuado a implementar en el territorio. Para ello se propone avanzar en las siguientes acciones que conduzcan a verificar algunos criterios que serán incorporados en el modelo multicriterio que se desarrollará en el apartado 6.

3.1.14 Identificación de Fuentes de Información

• **Objetivo**

Generar un listado opciones en las cuales se puede iniciar la exploración en búsqueda de información base para la ejecución del estudio.

• **Materiales**

Se requiere mínimo de un computador con acceso a internet ya que por este medio se puede acceder a páginas oficiales de instituciones y allí consultar aspectos tales como funciones, misión y visión. Dichos aspectos ayudan al evaluador a identificar las bondades de ciertas fuentes al mismo tiempo que descarta aquellas que clasifica como de poca o nula ayuda.

Además de las páginas oficiales también se puede indagar en la red en general, gracias a portales de búsqueda masivos como lo son Google y Ask. Donde por medio de palabras claves el evaluador podrá buscar estudios, experiencias y todo lo relacionado con los usos y su proceso productivo.

En síntesis...

El evaluador inicialmente debe hacer un trabajo de identificación de fuentes de información referente a caracterizaciones de sistemas productivos en la zona de estudio.

Esas fuentes de información pueden ser instituciones de educación superior, entidades adscritas a las administraciones locales, centros de investigación, gremios, corporaciones e instituciones de carácter privado.

3.1.15 Mecanismos, protocolos y conductos regulares para obtención de información

- **Objetivo**

Identificar los pasos a seguir cuando se trata de solicitar información a entidades oficiales o privadas en caso de que se requiera algún trámite.

- **Materiales**

Se debe contar con un computador que tenga acceso a internet y en lo posible una línea telefónica con disponibilidad de minutos ya que en caso de que en las páginas web no se encuentre muy claro el proceso de solicitud de la información, se deberán realizar llamadas a dicha fuente de información con el fin de ubicar a la persona encargada, la cual pueda aclarar los pasos para llevar a cabo esta actividad.

En síntesis...

La identificación de este tipo de trámites, permite al evaluador ajustar su cronograma de trabajo teniendo en cuenta que algunas instituciones ya sean públicas o privadas requieren de tiempos establecidos para suministrar la información, como es de esperarse algunas tardan mucho mas que otras, lo cual puede retrasar el proceso si no lleva una planificación del tiempo destinado a la labor.

3.1.16 Levantamiento y análisis de información

- **Objetivo**

Obtener el inventario de información que requiere el evaluador para determinar los distintos tipos de modelo tecnológico que puede tener el uso en la zona de estudio.

- **Materiales**

Dispositivos de almacenamiento, equipos de cómputo, disponibilidad para ir presencialmente a las fuentes a recoger la información si así se requiere, correo electrónico, ya que en algunas ocasiones la información es suministrada por este medio, fotocopidora en caso de que no hallan copias de la información por medio magnético.

En síntesis...

Una vez se cuenta con el inventario de información requerido por el evaluador, este debe proceder a categorizar su contenido y dividirlo en las distintas temáticas que se abordan.

Lo anterior le ayudará a hacer la revisión de literatura e información de una manera ordenada y objetiva, para el caso de la dimensión tecnológica los documentos a analizar serán entre otros.

- **Manuales de producción agrícola y pecuaria**

Estos deben hablar acerca del proceso de producción de los usos a evaluar en la zona de estudio.

En estos documentos debería ser sencillo identificar las distintas fases en las que se divide la dinámica productiva de dichos usos. Así como insumos y maquinaria requerida o sugerida por parte de los técnicos que elaboran este tipo de instructivos.

- **Manuales de buenas prácticas**

Se deben revisar estos manuales con el fin de identificar la concepción que tienen las instituciones que rigen el proceso productivo de los distintos usos, verificando que tan concernientes resultan para la zona de estudio.

- **Estudios en la zona**

Estos deben contemplar los análisis que realizan las oficinas o entes agropecuarios en cada región donde se encuentran estadísticas de producción, inventario, mercado y otro tipo de aspectos que pueden servir para orientar el estudio de aspectos relevantes para el uso a evaluar en la zona de estudio.

- **Boletines e investigaciones**

A nivel gremial se realizan investigaciones, en la mayoría de los casos éstas son divulgadas con el fin de realizar la transferencia de tecnología y conocimiento sobre el uso. Este tipo de documentos permiten al evaluador identificar la tendencia tecnológica que tiene el sector al que se relaciona el uso evaluado.

- **Otros documentos**

A parte de los mencionados anteriormente, el evaluador puede revisar todos aquellos documentos y publicaciones que le permitan identificar los diversos sistemas de manejo tecnológico que pueda tener el uso o usos a evaluar en la zona de estudio.

Figura 17. Manejo de la Información para caracterización componente tecnológico



3.1.17 Aplicación de la información

- **Objetivo**

Plasmar el análisis de la información revisada para iniciar el planteamiento de los niveles tecnológicos presentes en la zona para el uso evaluado.

- **Materiales**

Equipo de cómputo con un paquete de ofimática instalado, donde se puedan realizar las matrices comparativas y se puedan redactar los conceptos así como la caracterización.

En síntesis...

a. **Conceptualización:** Posterior a la revisión de la información, se hace la aplicación, esta consiste en iniciar la conceptualización de lo que serán los niveles tecnológicos para cada uno de los usos, esta conceptualización consiste en categorizar y dividir los niveles y el orden en que serán propuestos.

b. **Caracterización:** Posterior a la conceptualización e identificación de las categorías de nivel tecnológico, el evaluador debe caracterizar cada uno de estos, es decir describirlos con el mayor detalle posible, teniendo en cuenta aspectos como:

- ✓ **Insumos:** Se determina a lo largo del proceso productivo las cantidades, las repeticiones, el tipo de insumo y el objetivo entre otros.
- ✓ **Maquinaria y Equipo:** Se determina el inventario de este tipo de activos y el uso de los mismos, también se identifica si hay personal calificado para realizar su manipulación.
- ✓ **Toma de Decisiones:** Se evalúa la base sobre la cual se toman decisiones para utilizar o no maquinaria, insumos o inclusive seleccionar el uso a trabajar. Dicha base puede ser a manera de ejemplo: estudios de suelos, asistencia técnica, concepto de un productor o propio.
- ✓ **Productividad:** Se determina el promedio de productividad en la zona en lo que se refiere al uso y posteriormente se clasifican los niveles de acuerdo a su cercanía con dicho promedio.

La información sobre aspectos utilizados en la caracterización de nivel tecnológico, se detallará en el apartado 6.3.5.

3.1.18 Validación de la Aplicación de la información

- **Objetivo**

Obtener las pautas para hacer correcciones en el proceso de construcción del modelo para la evaluación del uso.

- **Materiales**

Computador con paquete de ofimática instalado, grabadora de voz o lápiz y papel para tomar nota atenta de las sugerencias hechas por los distintos componentes del equipo evaluador.

En síntesis...

Luego de tener el listado de categorías con sus respectivas caracterizaciones, el evaluador debe proceder a socializar el trabajo realizado con el fin de que las demás dimensiones del modelo de análisis y los componentes del mismo puedan aportar a la construcción de los elementos a incorporar en esta dimensión, buscando que no existe redundancia entre los elementos del modelo. Y de ser el caso realizar los respectivos ajustes.

3.1.19 Incorporación de correcciones planteadas por el equipo de trabajo

En esta fase se aplican las respectivas correcciones a los planteamientos iniciales con el fin de darle mayor soporte al trabajo al trabajo realizado.

3.1.20 Diseño de instrumentos para recolección de información primaria.

- **Objetivo**

Generar las herramientas que van a permitir al evaluador la captura de información referente al nivel tecnológico que tiene cada uno de los usos a trabajar.

- **Materiales**

Equipo de cómputo con paquete de ofimática instalado, papel y lápiz para hacer bosquejos previos.

En síntesis...

Una vez validados los planteamientos a nivel de grupo de trabajo, se procede a diseñar los instrumentos de captura de información, éstos deben permitir diagnosticar el nivel tecnológico de los usos en los predios incluidos en la muestra y que serán entrevistados.

En este instrumento se incluirán opciones de respuesta tomadas de la caracterización de cada uno de los niveles tecnológicos con el fin de que cada respuesta de una puntuación que se acerca a una categoría previamente establecida. Para ampliar información referente a este instrumento remítase al Anexo 2.

3.1.21 Socialización y validación de instrumentos

- **Objetivo**

Obtener las pautas para hacer correcciones en el proceso de construcción de los instrumentos para la evaluación del uso.

- **Materiales**

Computador con paquete de ofimática instalado, grabadora de voz o lápiz y papel para tomar nota atenta de las sugerencias hechas por los distintos componentes del equipo evaluador.

En síntesis...

Luego de tener listos los instrumentos de captura, el evaluador debe proceder a socializar el trabajo realizado con el fin de que los demás componentes o dimensiones puedan aportar a la construcción del mismo.

Así mismo se debe tomar atenta nota de los aportes hechos por los demás componentes del equipo de trabajo con el fin de hacer los respectivos ajustes. Posterior a esto, los instrumentos están listos para ser trabajados en campo.

Figura 18. Productos y Validación



4. DATOS SOCIO CULTURALES Y ECONÓMICOS

Información para realizar análisis del entorno socioeconómico del territorio

4.1.1 Información para caracterización socioeconómica

Esta información proviene de las siguientes fuentes principalmente: i. Estudios y estadísticas de instituciones reconocidas u oficiales; ii. Documentos de política y/o iii. Documentos académicos.

A. Estudios y estadísticas de instituciones reconocidas u oficiales

Las instituciones multilaterales realizan estudios y mantienen sistemas de información estadística tanto a nivel global como a escala local, lo que constituye una fuente muy valiosa de información. A continuación presentan algunos ejemplos relevantes.

Fuentes de información de organismos multilaterales de las Naciones Unidas

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO.	Base de datos estadística: http://www.fao.org/home/es/
Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo – PNUD	http://www.pnud.org/content/undp/es/home/ Versión para Colombia http://www.pnud.org.co/sitio.shtml#.U-D00_I5MmE
Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente – PNUMA	http://www.pnuma.org/
Assessing global land use: balancing consumption with sustainable supply	http://www.unep.org/resourcepanel/Portals/24102/PDFs/Summary-English.pdf
PNUD. 2011. Colombia rural: razones para la esperanza	
PNUD. El departamento del Meta frente a los Objetivos de Desarrollo del Milenio	http://www.pnud.org.co/img_upload/3332313332316164616461646164/odm%20meta.pdf

Fuentes de información de instituciones oficiales o reconocidas nacionales

Departamento Nacional de Planeación	https://www.dnp.gov.co/
Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas	https://www.dane.gov.co/
Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural	https://www.minagricultura.gov.co/Paginas/inicio.aspx

	Sistema estadístico: http://www.agronet.gov.co/agronetweb1/
Plan Nacional de Desarrollo 2010 2014	https://sinergia.dnp.gov.co/SISMEG/Archivos/PND2010-2014%20Tomo%20I%20CD.pdf
Documentos de política agropecuaria	https://www.dnp.gov.co/programas/agricultura/Paginas/politica-de-desarrollo.aspx

Fuentes de información de instituciones reconocidas u oficiales regionales (caso de Orinoquía y Meta):

Documento CONPES 3797 de 2014. Política para el desarrollo integral de la Orinoquía: Altillanura - FASE I	https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/3797.pdf
DNP. Meta Visión 2032. Territorio Integrado e Innovador.	http://javierferro.files.wordpress.com/2013/05/documento-vision-meta-2032-ultimo-131211.pdf
Plan de gestión ambiental regional 2010 – 2019	Cormacarena
Caracterización de las condiciones de desarrollo territorial de la altillanura	

Fuentes de información institucionales reconocidas u oficiales Locales (Puerto Gaitán)

Plan Prospectivo Agropecuario Puerto Gaitán 2020	http://puertogaitan-meta.gov.co/apc-aa-files/31353536396633393038313430346361/PLAN_PROSPECTIVO_AGROPECUARIO.pdf
Plan de desarrollo de Puerto Gaitán	http://www.puertogaitan-meta.gov.co/apc-aa-files/31353536396633393038313430346361/PLAN_PDM_ULTIMO.pdf

Documentos académicos

Para ubicar este tipo de documentos se recomienda revisar motores de búsqueda de acceso libre y de ser posible utilizar los que son más restringidos:

De acceso libre:

Google Académico	http://scholar.google.es/
Scopus	http://www.scopus.com/
Latindex	http://www.latindex.unam.mx/
Scielo	http://www.scielo.org/php/index.php?lang=en
Redalyc	http://www.redalyc.org/home.oa

De acceso restringido

Jstore	http://www.jstor.org/
Science Direct	Science Direct

B. Análisis institucional y de políticas

El análisis institucional y de políticas se realiza partiendo de la información existente en documentos de públicos y de diverso orden (políticas nacionales, departamentales y municipales). Este análisis busca resaltar los escenarios que plantean las entidades gubernamentales de diferentes escalas sobre el territorio en cuestión. Adicionalmente, los gremios suelen tener planes prospectivos de largo plazo que pueden ser tenidos en cuenta para la presentación.

Así, se plantea un análisis multiescalar de políticas de desarrollo rural territorial de acuerdo al enfoque planteado por la FAO (1999). El cuadro de referencia de la información debe seguir la lógica de la Tabla 24.

Tabla 24. Análisis multiescalar de políticas con incidencia en el territorio

Escala	Política, plan, programa	Institución u organización
Internacional	Tratados comerciales/Tendencias globales	FAO; PNUD; PNUMA
Nacional	Plan Nacional de Desarrollo – capítulos relacionados con el sector agropecuario Gremios con incidencia nacional	DNP, Minagricultura Gremio específico
Regional/ Departamental	Planes de manejo ambiental de las Cares / Planes de desarrollo regional (usualmente en Conpes) / Plan departamental de desarrollo Gremios con incidencia Regional	DNP / Gobernación del Departamento / Secretaría de planeación Gremio específico
Municipal	Plan de desarrollo municipal/ Planes agropecuarios Gremios*	Gobierno local (Alcaldía)

*Debe buscarse que los gremios a escala local participen en el taller y por tanto no es necesario plasmar su visión en el cuadro.

4.1.2 Información para construcción indicadores

El trabajo de constituir los indicadores para cada uno de estos criterios se realizó mediante dos frentes, siguiendo la secuencia lógica del modelo. En primer lugar, se realizó un trabajo de arriba hacia abajo, en el cual se partió de los criterios usados en la literatura preexistente y usando criterios tanto aplicados como normativos se decidió la estructura, y muchos de los criterios usados en la literatura dieron luces sobre cómo plantear los criterios del modelo planteado y asimismo de qué tipo de indicador utilizar. No obstante, hay que tener presente que los trabajos revisados se aplicaron en otras latitudes y por ello usan la base informacional disponible, lo que conllevó a la necesidad de realizar un análisis de la información existente en cuanto a la parte socioeconómica y ambiental particularmente.

En segunda instancia, se realizó una búsqueda de información de abajo hacia arriba en la cual se revisaron las fuentes estadísticas, teniendo en cuenta que el modelo hace parte de una metodología que va a ser aplicada a nivel nacional y por ello requiere, de existir la información, que ésta esté disponible a para todo el territorio.

La búsqueda de información contempló la revisión de las estadísticas en las siguientes fuentes:

Tabla 25. Fuentes información para caracterización socio- cultural y económica

Fuente consultada	Disponible en:
Ministerio de Educación Nacional	http://www.mineducacion.gov.co/1621/propertyvalue-32657.html
SENA	http://www.sena.edu.co/Paginas/Inicio.aspx
PNUD (2011)	http://www.pnud.org.co/sitio.shtml?apc=i1-----s=a&m=a&e=A&c=02008#.UzMNIKh5NKJ
DANE	http://www.dane.gov.co/index.php
SIPSA- DANE	http://www.dane.gov.co/index.php/agropecuario/sistema-de-informacion-de-precios-del-sector-agropecuario-sipsa
Finagro	https://www.finagro.com.co/productos-y-servicios/credito
Ministerio de Agricultura	https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/programas-y-proyectos/Paginas/Programa-Desarrollo-Rural-con-Equidad-DRE.aspx
IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi)	http://www.igac.gov.co/geoportal
CORPORINOQUIA	http://l.corporinoquia.gov.co/index.php/sliders/instrumentos-ambientales
IDEAM	http://institucional.ideam.gov.co/jsp/loader.jsf?lServicio=Publicaciones&lTipo=publicaciones&lFuncion=loadContenidoPublicacion&id=954
Fondo de Adaptación Nacional	http://sitio.fondoadaptacion.gov.co/
CORMACARENA	http://www.cormacarena.gov.co/contenido-vin.php?tp=5&titulo=PLANIFICACION
CORPOICA	http://www.corpoica.org.co/

Adicionalmente se realizó una consulta presencial en el DANE en la cual se indagó por la calidad de la información para los propósitos requeridos, es decir, con la resolución espacial semidetallada (1:25.000). En cuanto a esto, se corroboró que la mayoría de la información socioeconómica que presenta el DANE no reúne las características y como tal solo podría ser utilizada para establecer las características generales socioeconómicas. La única información que puede tener el nivel de detalle que se requiere es bien la información censal de 2005 o bien la del Censo Nacional Agropecuario (CNA) que se está desarrollando actualmente.

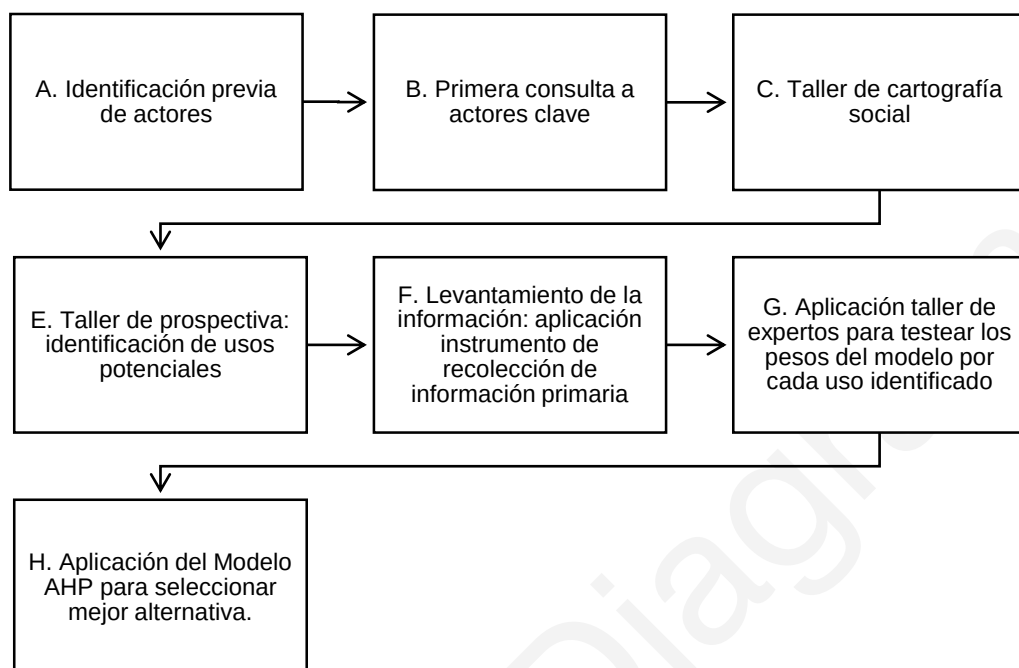
La revisión de esta información evidencia la falta de una batería de estadísticas con nivel de resolución semidetallado de modo que es imprescindible realizar un levantamiento de información en campo para cada territorio donde se valla a desarrollar la evaluación. De todas maneras, el levantamiento de información debe buscar sopesar entre la estructura inicial del modelo planteado y la disponibilidad futura de información que pueda disminuir los costos de la aplicación de encuestas. Es por esta razón se solicitó el formulario del CNA para ver qué información estará disponible y con base a eso adaptar el modelo a las características de esta información, diseñando el formulario con preguntas equivalentes, dentro de lo posible. También se revisaron instrumentos utilizados por el fondo de adaptación en el componente agropecuario y por el CORPOICA en una evaluación particular en Puerto López y Puerto Gaitán con el fin de contrastar con la información que se requeriría levantar.

4.1.3 Esquema del proceso de participación de actores locales en la evaluación de tierras

La participación de actores locales inicia por una identificación previa (ver Anexo 3A), posteriormente se realiza una consulta a actores clave dónde se entabla un primer acercamiento que permite hacer los contactos necesarios para la siguiente etapa y permite la captura de información relevante para el territorio evaluado. Identificados los actores clave y su influencia se procede a realizar el taller de cartografía social (ver Anexo 3B), el cual ayuda a validar el uso del suelo y permite identificar las expectativas y necesidades de los actores en el territorio. Para conocer las variables que pueden influir en el desarrollo agropecuario de la región, calificarlas en cuanto a Importancia y gobernabilidad para crear escenarios de cambio de acuerdo a las variables estratégicas evaluadas (ver Anexo 3C).

Basado en la definición de muestreo con unidades de paisaje se aplica la encuesta para el levantamiento de la información primaria a productores agropecuarios (ver Anexo 4A). Posteriormente se realiza la aplicación de la encuesta a expertos para que emitan sus juicios y así poder constituir los pesos de cada elemento del modelo (ver Anexo 3D y Anexo 4B). Al completar el proceso de recolección de información se procede a realizar la aplicación del modelo para validar los usos del suelo y/o seleccionar la mejor alternativa. Este proceso puede verse en la Figura 19.

Figura 19. Esquema del proceso de participación de actores locales en la evaluación de tierras



En Diseño y Diagramación

5. ANÁLISIS ESPACIAL COMPARATIVO (SIG)

Colección y generación de capas de información

- Dimensión Biofísica**

Para la evaluación de tierras a escala 1:25.000 se hace necesario disponer con información espacial, que permita identificar la variabilidad en el territorio y según los requerimientos del uso a evaluar. Desde el punto de vista biofísico se debe disponer de información de suelos, que describan las unidades cartográficas de suelos, a nivel físico, químico y biológico, para establecer las cualidades de las unidades de tierra. En la Tabla 26 se establecen los criterios para determinar la aptitud de las unidades cartográficas de suelos.

Tabla 26. Información de la dimensión biofísica

Dimensión	Criterio	Parámetro	Operación	Fuente	Unidades	Tipo de Dato	
Biofísica	Suelos	Profundidad	Calificación de suelos	estudio	Estudio de suelos 1:25,000	cm	Continuo
		Textura	Calificación de suelos	estudio		--	Nominal
		Contenido de Humedad	Calificación de suelos	estudio		--	Categórico
		Nivel de Fertilidad	Calificación de suelos	estudio		--	Categórico
		pH	Calificación de suelos	estudio		--	Continuo
		Materia Orgánica	Calificación de suelos	estudio		%	Continuo
		Saturación de bases	Calificación de suelos	estudio		%	Continuo
	Clima	Temperatura-Piso Térmico	Estimación Interpolación	-	Datos Ideam	°C	Categórico
		Precipitación	Estimación Interpolación	-	Datos Ideam	mm	Continuo
	Relieve	Pendiente	Estimación		DEM	%-grados	Continuo

La categorización de los diferentes parámetros biofísicos permite determinar el grado de aptitud según el TUT. Una vez realizada la categorización se procede a un análisis espacial mediante operaciones de álgebra de mapas con los pesos estimados en la valoración de los parámetros en el modelo multicriterio, obteniendo la variabilidad de aptitud del componente biofísico en la zona de estudio.

• Dimensión Ambiental

Para dimensión ambiental se consideraron criterios relacionados con la biodiversidad de los ecosistemas, la disponibilidad del recurso hídrico para actividades productivas en el territorio, amenaza por fenómenos naturales (inundaciones, deslizamientos, sequías, heladas, etc.) y riesgo a la erosión en la zona de análisis. En la Tabla 27 se determina los criterios ambientales para ser incorporado en la evaluación de tierras escala 1:25.000.

Tabla 27. Información de la Dimensión Ambiental

Dimensión	Criterio	Parámetro	Operación	Fuente	Unidades	Tipo de Dato
Ambiental	Integridad Ecológica	Diversidad de los ecosistemas	Calificación de los ecosistemas	IAvH o Estimado según la metodología	--	Categórico
	Disponibilidad del agua	Densidad de drenajes distancias a drenajes principales o zonas de captación	Relación del densidad de drenajes distancias a drenajes principales o zonas de captación	Cartografía base o Información POMCAS	--	Categórico
	Amenaza por fenómenos naturales	Inundaciones, deslizamientos, sequías y heladas	Calificación	IDEAM	--	Categórico
	Riesgo a la erosión	Riesgo a la Erosión	Estimación	Calculado	--	Categórico

La categorización de los diferentes parámetros ambientales que permitan determinar la existencia de una restricción en el territorio. Una vez realizada la categorización se procede a un análisis espacial mediante operaciones de álgebra de mapas con los pesos estimados en la valoración de los parámetros en el modelo multicriterio, obteniendo la variabilidad de aptitud del componente ambiental en la zona de estudio.

• Dimensión Económica

La infraestructura vial, la cercanía a zonas urbanas y la disponibilidad de mano de obra son criterios para determina la capacidad operativa en el desarrollo en una actividad productiva, que permita establecer una eficiencia del territorio en el uso establecido. En la Tabla 28 se observan los criterios que caracterizan la dimensión económica.

Tabla 28. Criterios de la dimensión económica

Dimensión	Criterio	Parámetro	Operación	Fuente	Unidades	Tipo de Dato
Económica	Mano de obra	Disponibilidad de mano de Obra	Densidad por unidad de paisaje y cercanía a inspecciones o corregimientos	Calculado	--	Categórico
	Conectividad	Densidad de Vías y cercanía a zonas urbanas	Relación densidad de vías y cercanía a zonas urbanas	Calculado	--	Categórico

La información primaria de esta dimensión se categoriza y asocia mediante el algoritmo de vecindad, para determinar las zonas del territorio que tienen un potencial de desarrollo económico, donde tendrán un efecto en la evaluación biofísica para el tipo de utilización de la tierra. Se determina con los pesos del modelo multicriterio, que asigna valores de relevancia a cada uno de los criterios de la dimensión.

• Dimensión Sociocultural

La dimensión socio-cultural consideró criterios como la participación a organizaciones y la tenencia de la tierra. La participación en organizaciones, busca establecer la presencia de las organizaciones en el territorio donde se desarrolla la actividad productiva. La estructura de la tenencia de la tierra muestra la distribución de tamaño de los predios en el territorio. En la Tabla 29 se observa los criterios para la dimensión socio-cultural.

Tabla 29. Criterios de la dimensión sociocultural

Dimensión	Criterio	Parámetro	Operación	Fuente	Unidades	Tipo de Dato
Socio-Cultural	Organización	Participación en organizaciones	Vecindad	Calculado	--	Categórico
	Estructura de tenencia de la tierra	Distribución de la tierra	Estimación Tamaños de los predios	Calculado	Área	Continuo

La información usada en esta dimensión proviene de fuentes primarias, según muestreo para establecer la presencia de organizaciones, que permitan procesos de desarrollo en el territorio, de igual forma con la estructura de tenencia de la tierra que establece la distribución predial. La multifuncionalidad que puede tener un territorio se refleja por las actividades alternativas en el territorio, que generen un ingreso adicional o complementar la actividad principal agropecuaria. El análisis de esta dimensión se realiza con los pesos generados por la técnica multicriterio.

- **Dimensión Tecnológica**

La dimensión tecnológica considera la disponibilidad o el acceso a tecnología en las diferentes etapas del proceso productivo, que permitan la maximización de los recursos. Además busca determinar la intensidad de insumos y su optimización. En la Tabla 30 se observa los subcriterios para la dimensión tecnológica.

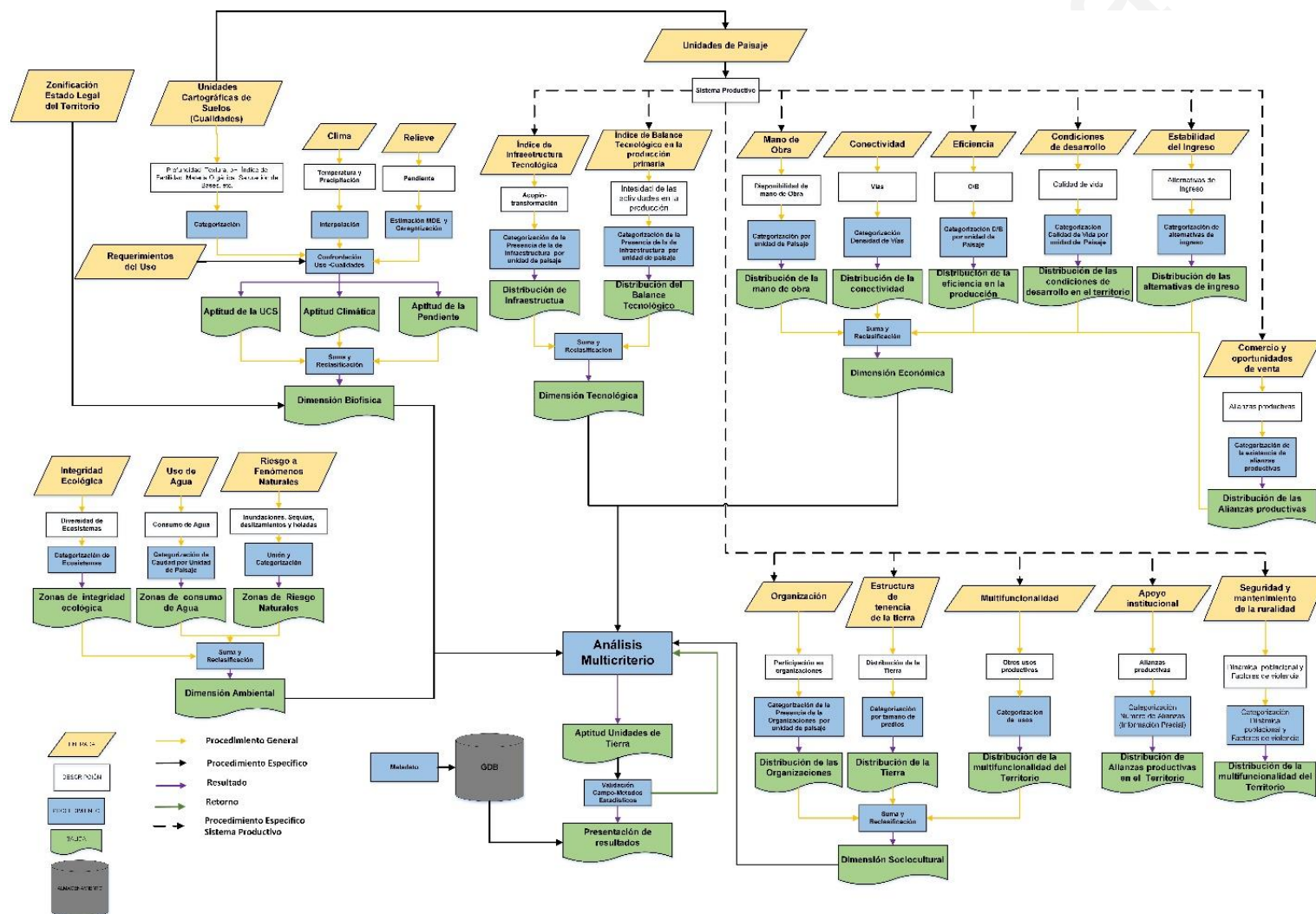
Tabla 30. Criterios de la dimensión tecnológica

Dimensión	Criterio	Parámetro	Operación	Fuente	Unidades	Tipo de Dato
Tecnológica	Infraestructura Tecnológica	Acopio-Procesamiento	Densidad de Infraestructura	Calculado	Infra*área ¹	Categorico
	Balance Tecnológico en la producción primaria	Intensidad de las actividades en la producción	Vecindad	Calculado	--	Categorico

El análisis de la dimensión tecnológica se realiza mediante algoritmos de vecindad y densidad que permitan identificar el comportamiento de la infraestructura tecnológica en el territorio. La caracterización de esta dimensión establece las relaciones entre el potencial de desarrollo y su interacción las dimensiones ambientales, económicas, socioculturales y biofísicas.

En la Figura 20 se observa el esquema cartográfico para el desarrollo de la evaluación de tierras a escala semidetallada.

Figura 20. Esquema cartográfico para el desarrollo de la evaluación de tierras a escala semidetallada (1:25.000)



Modelo de análisis SIG

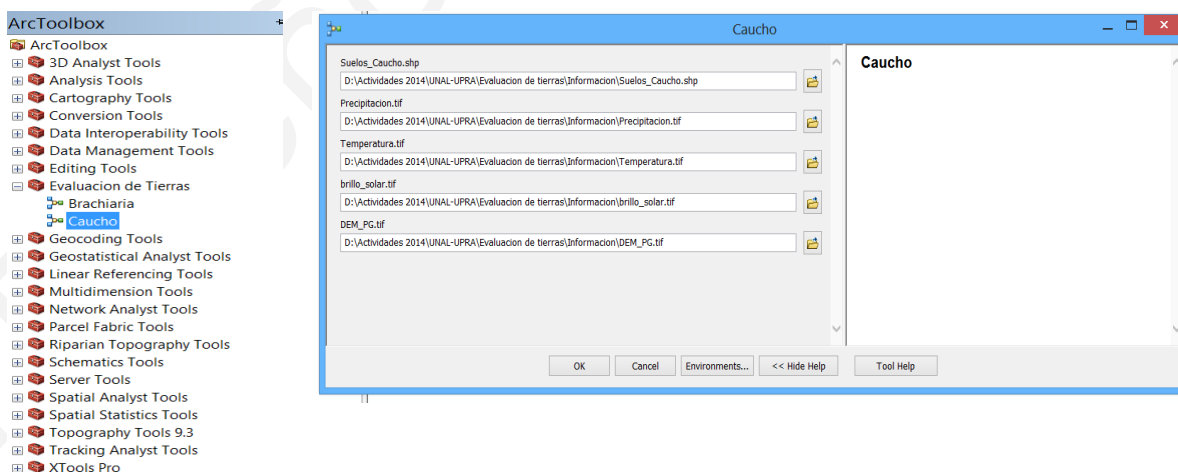
Para el desarrollo del análisis espacial de la evaluación de tierras, el formato de operación de los datos es raster con un tamaño de pixel de 30 m. Para determinar el grado de aptitud se estableció una escala numérica que permita establecer la variabilidad en la aptitud biofísica en la zona de estudio. La clase de aptitud muestra la armonía entre los requerimientos del uso a las condiciones que oferta el territorio, y la subclase indica la limitante que se presenta por suelos, clima y relieve (Tabla 31).

Tabla 31. Clasificación de la aptitud por clase y subclase

Valor	Clase de Aptitud	Subclase de Aptitud
1	Apta	A1
2	Moderadamente Apta	A2a
3		A2b
4		A2c
5		A2d
6	Marginalmente Apta	A3a
7		A3b
8		A3c
9		A3d
10	No Apta	N

Para el modelo espacial para la evaluación de tierras se desarrolló una herramienta en la plataforma ARGIS, mediante el ARCTOOLBOX, que permite automatizar y hacer ajustes, según los criterios del experto y la disponibilidad de información (Figura 21).

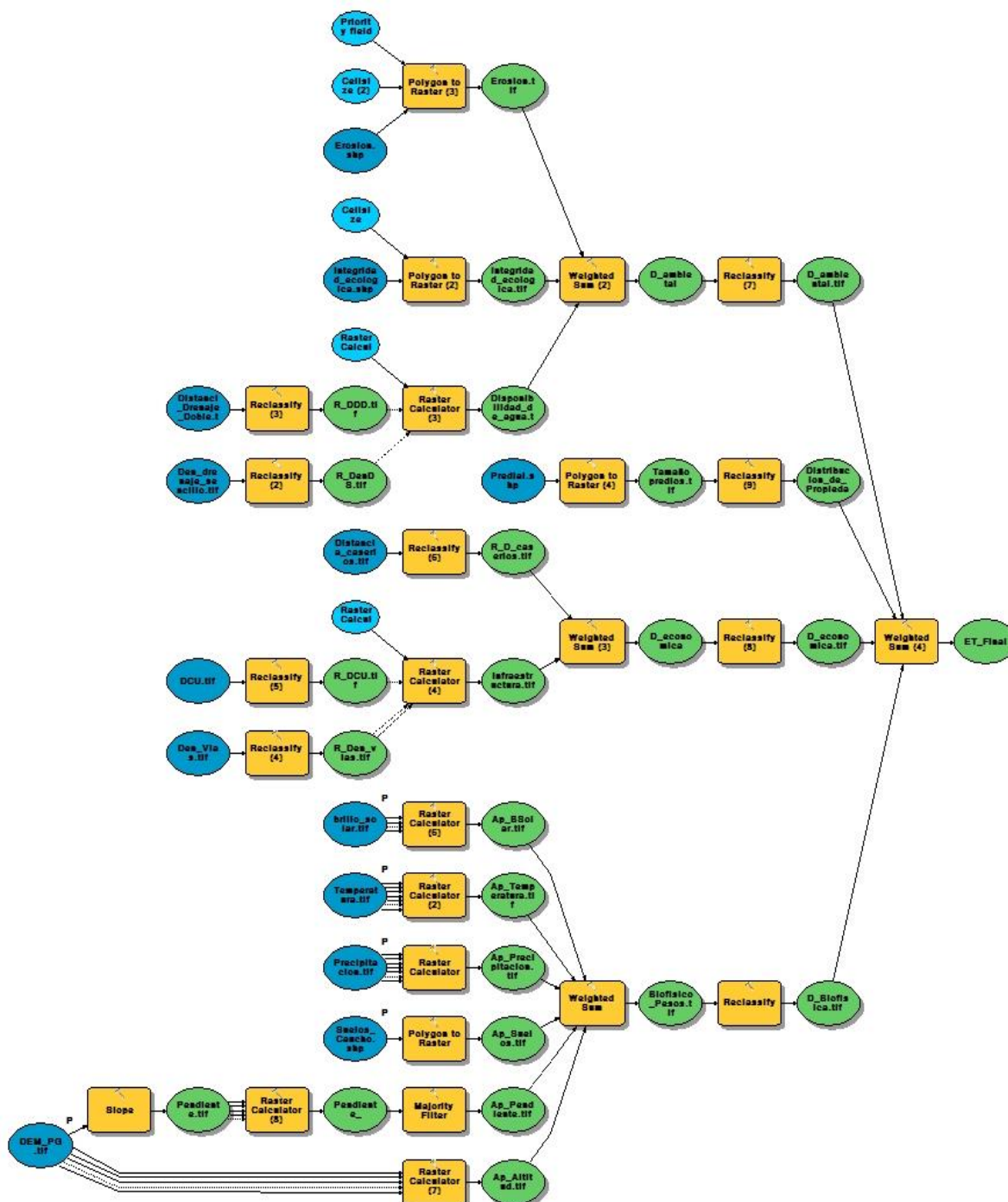
Figura 21. Herramienta de modelo espacial para evaluación de tierras



Se realizaron diferentes procesos: convertir de un formato de dato, reclasificaciones, condicionales y sumas ponderadas, permitido establecer la aptitud, las restricciones o la favorabilidad de diferentes criterios en el territorio. Para el caso de los suelos la aptitud se determinó por el factor limitante como lo propone la FAO, ya que todas las características de los suelos están interrelacionadas. Para las demás criterios se procedió con la estimación de la ponderación según la relevancia en el uso de análisis con los demás criterios como lo son la precipitación, temperatura, brillo solar y relieve (pendiente).

A continuación se muestra el esquema de operatividad de los análisis espaciales para la evaluación de tierras con los diferentes criterios y disponibilidad de información (Figura 22).

Figura 22. Modelo espacial para la evaluación de tierras



Aptitud biofísica preliminar- Caso caucho

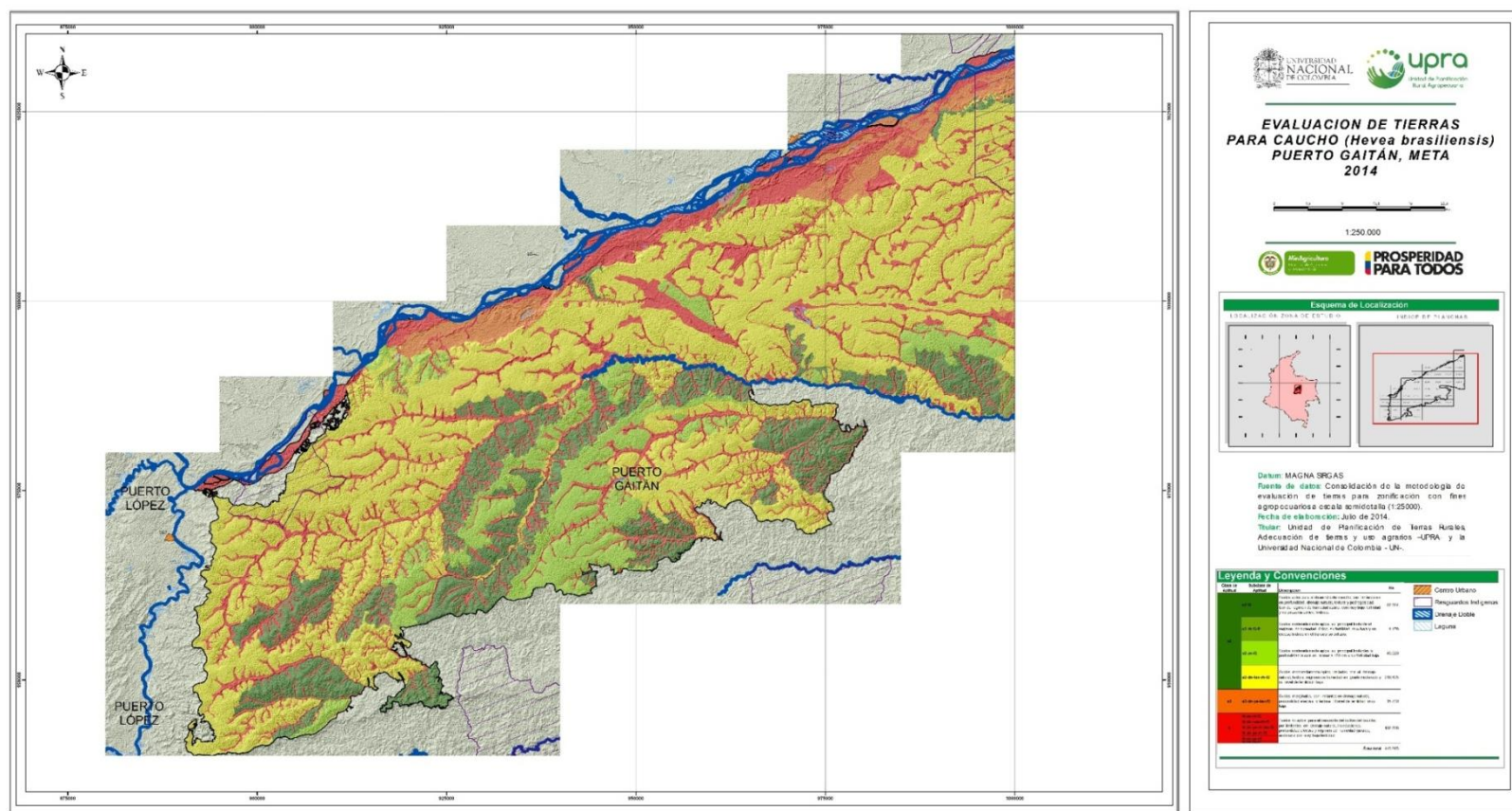
La zona de referencia, localizada en la altillanura plana del municipio de Puerto Gaitán, muestra que tiene áreas con potencial para el desarrollo del cultivo del caucho. Para este uso evaluado, los aspectos ecofisiológicos como la temperatura, brillo solar y adaptación altitudinal, no presentan restricciones para desarrollo, sin embargo la precipitación presenta algunas restricciones por exceso en la precipitación según los umbrales establecidos, lo cual puede generar problemas de fitosanitarios y actividades de planificación de la producción. En cuanto a los suelos presentan una aptitud en grado moderada, en la mayor parte del territorio, permitiendo la implementación del cultivo de caucho. En la Tabla 32 se muestran los diferentes grados de aptitud.

Tabla 32. Aptitud para la altillanura para el cultivo de caucho

Clase de Aptitud	Subclase de Aptitud	Descripción	Ha
A2	A2-f3	Suelos aptos para el desarrollo del caucho, sin limitaciones en profundidad, drenaje natural, textura y pedregosidad. Son de régimen de humedad ústico, con muy baja fertilidad y no presenta déficit hídrico.	62.064
	A2-rh-f3-P	Suelos moderadamente aptos, su principal limitante el régimen de humedad ústico, su fertilidad muy baja y un exceso hídrico en el transcurso del año.	1.478
	A2-pe-f2	Suelos moderadamente aptos, su principal limitantes la profundidad la cual es menor a 150 cm y su fertilidad baja	45.520
	A2-dn-tex-rh-f2	Suelos moderadamente aptos, limitados por el drenaje natural, textura, régimen de humedad en grado moderado y su nivel de fertilidad baja.	218.425
A3	A3-dn-pe-tex-f3	Suelos marginales, con limitantes en drenaje natural, profundidad efectiva y textura. El nivel de fertilidad muy baja.	15.730
N	N-dn-rh-f3	Suelos no aptos para el desarrollo del cultivo del caucho, por limitantes en drenaje natural, inundaciones, profundidad efectiva y régimen de humedad (acuico, aridico) y con muy baja fertilidad.	102.768
	N-dn-i-pe-rh-f3		
	N-dn-pe-rh-tex-f3		
	N-dn-pe-rh-f3		
	N-dn-pe-f3		
	N-dn-rh-f3		
Área total			445.985

En la Figura 23 se muestran las áreas de la evaluación de tierras para el componente biofísico para el cultivo de caucho en la zona de referencia.

Figura 23. Evaluación biofísica para el TUT caucho en la altillanura plana municipio de Puerto Gaitán - Meta.



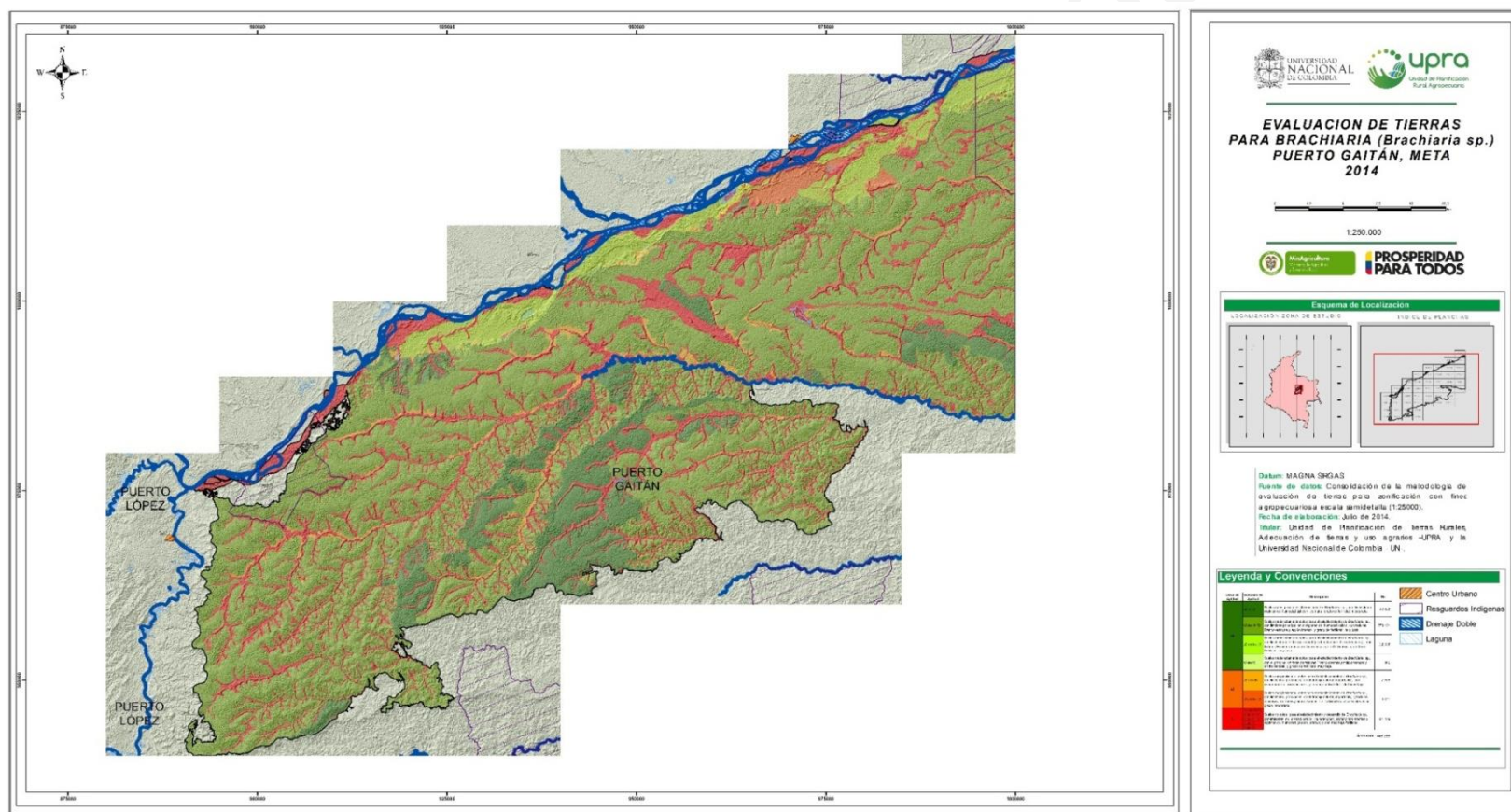
Para la zona de estudio los suelos de la altillanura, presentan una aptitud en grado moderado, limitado por el régimen de humedad ústico, zonas mal drenadas, con texturas franco arenosas, arcillo-limosas y arcillosas. Los niveles de fertilidad son de bajos a muy bajos. En cuanto a los aspectos climáticos como la altitud, temperatura y precipitación no tiene ninguna restricción para el desarrollo de la pastura. En la Tabla 33 se muestra la aptitud de *B. humidicola* para la altillanura.

Tabla 33. Aptitud de *Brachiaria humidicola*

Clase de Aptitud	Subclase de Aptitud	Descripción	Ha
A2	A2-rh-f2	Suelos aptos, para el establecimiento de <i>Brachiaria</i> sp., con limitante en régimen de humedad ústico y con una grado de fertilidad moderado.	46.622
	A2-tex-rh-f3	Suelos moderadamente aptos para el establecimiento de <i>Brachiaria</i> sp., con limitante principal en el régimen de humedad ústico, con texturas Franco-arenosa y arcillo-limosas, y grado de fertilidad muy baja.	273.151
	A2-dn-tex-f3	Suelos moderadamente aptos para el establecimiento de <i>Brachiaria</i> sp., con limitante en el drenaje natural (moderadamente bien drenados) con texturas Franco-arenosa, arcillo-arenosas y arcillo-limosas, y grado de fertilidad muy baja.	22.338
	A2-tex-f3	Suelos moderadamente aptos para el establecimiento de <i>Brachiaria</i> sp., con el principal limitante de texturas Franco-arenosa, arcillo-arenosas y arcillo-limosas, y grado de fertilidad muy baja.	366
A3	A3-i-dn-f3	Suelos marginalmente aptos para el establecimiento de <i>Brachiaria</i> sp., con limitantes principales en el drenaje natural (imperfecto), con recurrencia en inundaciones y con un grado de fertilidad muy baja.	7.978
	A3-dn-tex-f2	Suelos marginalmente aptos para el establecimiento de <i>Brachiaria</i> sp., con limitantes principales en el drenaje natural (imperfecto) y texturas arenosas, arcillosas y arenofrancas. La fertilidad de estos suelos es en grado moderada.	4.341
N	N-i-pe-rh-f3	Suelos no aptos para el establecimiento y desarrollo de <i>Brachiaria</i> sp., por limitantes en drenaje natural, inundaciones, profundidad efectiva y régimen de humedad (acuico, aridico) y con muy baja fertilidad.	91.189
	N-dn-rh-f3		
	N-dn-rh-f3		
	N-dn-f3		
	N-dn-f3		
Área total			445.985

En la Figura 24 se muestra la aptitud biofísica para *B. humidicola* para la zona de la altillanura en el municipio de Puerto Gaitán, Meta.

Figura 24. Evaluación biofísica para el TUT *B. humidicola* en la altillanura plana municipio de Puerto Gaitán - Meta.



En Diseño y Diagramación

6. ANÁLISIS MULTICRITERIO MEDIANTE PROCESO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO – AHP-

Este capítulo presenta cuatro secciones. En la primera se describe la estructura que adoptan los modelos de jerarquía analítica de proceso, las principales características del método y las etapas metodológicas; se presentan detalladamente como se plantean los modelos jerárquicos, los objetivos, dimensiones, criterios y variables que se incorporan en los mismos. En segunda instancia, se presenta el modelo jerárquico para la evaluación de tierras con fines de zonificación agropecuaria a escala semidetallada 1:25.000 para Colombia. En tercer lugar, se explica cada uno de los elementos del modelo, se dan las definiciones y se asocia un indicador a los elementos de último nivel de la jerarquía antes de las alternativas, detallando la fuente de dicha información, también se describen las alternativas de decisión del modelo. Finalmente, se desarrolla cómo se agregan los juicios individuales para construir matrices a partir de las cuales se obtienen las prioridades del grupo de expertos consultados, las cuales sirven como información para orientar la decisión.

Estructura del modelo de Proceso Analítico Jerárquico (AHP) propuesto

En el capítulo 1 se realizó una explicación general de las características de los modelos AHP. En esta sección se presentará con más detalle el componente teórico y técnico que constituye al modelo de proceso analítico jerárquico (AHP).

6.1.1 Características del modelo AHP propuesto

El modelo AHP, a diferencia de los métodos basados en MAUT, aplica una división jerárquica del conjunto de elementos, y se preocupa por formar una metodología basada en preferencias declaradas, a partir de juicios comparativos que emiten los expertos consultados, y que sirven para constituir los pesos o prioridades que se asocia a cada elemento que pertenece en la jerarquía a un nivel y nodo particular; éstos pesos reflejan el grado de importancia de cada elemento frente al objetivo general del modelo y cómo es el aporte de las alternativas para el cumplimiento del mismo.

Un modelo AHP se caracteriza por representar de forma jerárquica un proceso, bien sea de decisión o de evaluación, que responde a un problema específico. Como se observa en la Figura 25, el modelo jerárquico está constituido por niveles. El nivel superior de la jerarquía, primer nivel, es denominado Meta u Objetivo General y conforma el primer nodo padre. El segundo nivel de la jerarquía contiene las Dimensiones (u Objetivos secundarios) del análisis. Cada una de las dimensiones constituye un nuevo nodo padre de los criterios, elementos localizados en el tercer nivel jerárquico; a su vez este nuevo nodo padre, se constituyen por los sub-criterios, localizados en el cuarto nivel, que se ubica antes de las alternativas, quinto nivel.

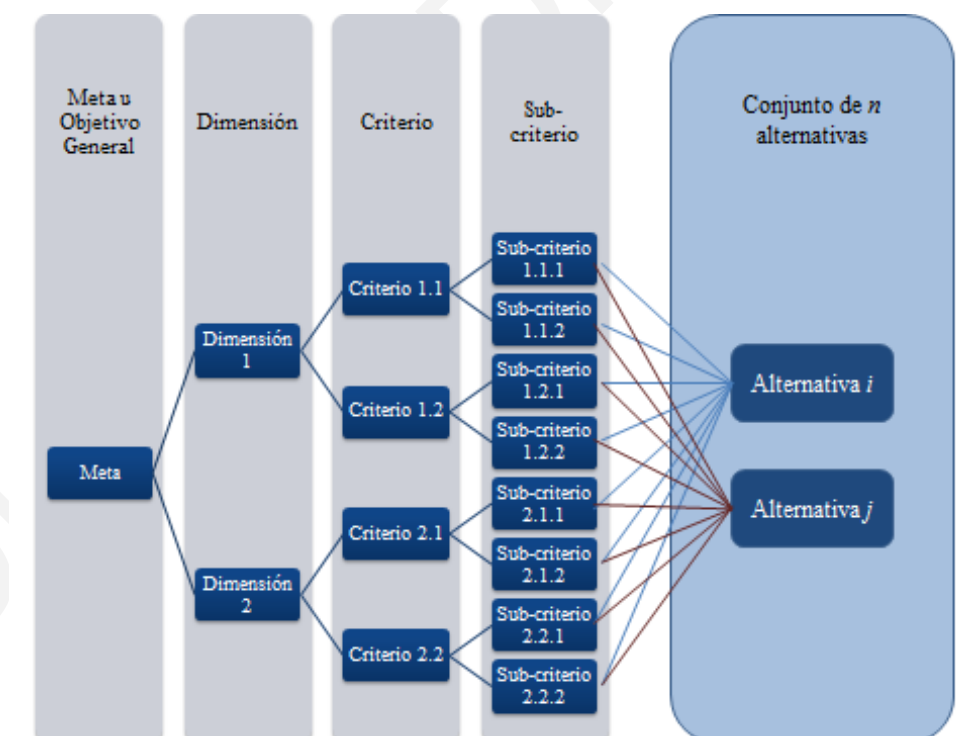
Las *Alternativas* deben ser evaluadas a través de todos los niveles jerárquicos, partiendo del inferior y llegando en últimas a la meta, de modo que al final el proceso genera un conjunto de pesos asociados a todos los elementos para cada alternativas. Tras el proceso de agregación y

síntesis, los pesos finales sintéticos asociados a cada alternativa respecto de cada subcriterios, son usados para relacionarlos con indicadores, permitiendo el cálculo de una función de utilidad para cada alternativa, éste valor permite establecer un orden de preferencia, e indica el aporte para el logro del objetivo que genera cada alternativa evaluada.

Debido al procedimiento que usa el AHP, los niveles de importancia de cada elemento en cada nodo particular, no son asignados directamente por los analistas, siendo derivados a partir de las preferencias declaradas por los expertos a quienes se consulta, permitiendo con ello objetividad en el proceso cálculo de la función de utilidad.

En general, los pesos globales sintéticos representan la importancia de cada elemento respecto al nodo padre del que se desprende. A modo de ejemplo, en la Figura 18 se presenta un esquema de modelo jerárquico. Para entender el concepto de pesos locales, supongamos que en el nodo de la dimensión 1, cuyo peso es 100%, se conforma por los criterios 1.1 y 1.2, entre los cuales se reparte el 100%. Para conocer el peso asociado a cada criterio, el AHP propone preguntar a los expertos que asignen juicios de valor, usando una escala de valores (Tabla 34) cual de los criterios prefiere, y en que grado para aportar al logro de la dimensión 1, de esta forma se obtienen matrices de juicios agregados a partir de las cuales se calcula el peso comparativo que se asocia a cada elemento.

Figura 25. Esquema de un modelo de Proceso Analítico Jerárquico (AHP)



Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, es importante resaltar que un modelo AHP cuenta con cuatro axiomas fundamentales:

- A. *Axioma de comparación recíproca*: el decisor debe ser capaz de realizar una comparación entre pares y establecer una relación de preferencia entre dos criterios, con respecto a la consecución de una meta. Esto va a permitir realizar una matriz recíproca, la cual permite derivar los pesos normalizados de cada Dimensión, Criterio y Sub-criterio.
- B. *Axioma de homogeneidad*: los elementos a comparar en cada nivel y nodo tienen el mismo orden de magnitud.
- C. *Axioma de no dependencia*: los juicios de un nivel superior no dependen de los juicios de un nivel inferior.
- D. *Axioma de expectativas*: el modelo representado por la estructura jerárquica contiene todos los criterios y alternativas de modo que las expectativas de los expertos en cuanto a la estructura sean satisfechas.

6.1.2 Metodología de estimación del modelo

Pueden establecerse cuatro etapas fundamentales en la elaboración de un modelo AHP (Aranda, 2014; Forman & Selly, 2001; Saaty, 1997; 1980), presentadas en la Tabla 34; se comienza con la modelación en que se determina la estructura de la modelo; continua con la valoración en que se indaga a expertos sobre el orden de preferencia relativo a los elementos del modelo mediante la emisión de juicios comparativos por pares de elementos; en tercer orden se encuentra la etapa de priorización y síntesis que es en la cual se aplica un procedimiento matemático para hallar los estimadores de los pesos, relacionados a vectores de proximidad denominados *eigen value* que en cada matriz se estiman para los elementos que lo conforman, tras conocer el peso local se procede a realizar la síntesis, estableciendo el peso global, que indica la importancia que tienen todos los elementos pertenecientes a cada nivel y nodo frente al objetivo evaluado; usando estos valores se pueden ordenar los elementos y las alternativas en ranking. Finalmente, el análisis de sensibilidad evalúa la estabilidad, robustez y validez del modelo.

Tabla 34. Pasos del modelo AHP

I. Modelación	II. Valoración	III. Priorización y síntesis	IV. Análisis de sensibilidad
• Estructurar el esquema del modelo. • No. de Niveles • Nodos por nivel	• Valoración de expertos • Valoración por pares • Agrupación por nivel y nodo • Escala específica de valores declarados	• Pesos locales y globales • Consistencia de los juicios • Síntesis de prioridades	• Análisis de estabilidad • Análisis de robustez • Análisis de validez

Fuente: Elaboración propia Basada en (Aranda, 2014; Forman & Selly, 2001; Saaty, 1997; 1980)

• Modelación

Consiste en establecer la estructura del modelo mediante la cual se quiere reflejar el proceso de evaluación de la mejor manera. Para ello es clave la formulación de una meta u objetivo claro y una serie de objetivos secundarios o dimensiones de evaluación que cumplan con las siguientes propiedades:

- *Compleitud*: Se considera que una jerarquía es completa cuando el conjunto de atributos es adecuado para indicar el grado de cumplimiento de todos los objetivos
- *Operatividad*: El decisor/evaluador debe poder entender que implica cada dimensión, criterio y sub-criterio en las alternativas, de modo que deben resultar de utilidad en la elección de la mejor alternativa.
- *Descomponibilidad*: Permite la simplificación del proceso al descomponer en partes el proceso.
- *No redundancia*: Se debe evitar contabilizar dos veces las mismas consecuencias.
- *Minimalidad*: Procurar constituir el modelo lo más pequeño posible sin perder aspectos importantes.

Para estructurar el modelo hay dos perspectivas. Por una parte, puede estructurarse de arriba hacia abajo, es decir, siguiendo el proceso lógico de establecer meta-dimensiones-criterios-sub-criterios-alternativas, lo cual se considera apropiado para problemas de naturaleza estratégica en los cuales se tiene claridad con respecto a la meta. El otro abordaje es de abajo hacia arriba, siguiendo el proceso lógico alternativas-subcriterio-criterio-dimensión-meta, que es apropiado cuando hay más claridad en las alternativas que en los objetivos perseguidos, y el problema es de naturaleza táctica.

• Valoración

Esta etapa consiste en consultar a un grupo de expertos para que hagan la valoración por pares de elementos en cada nivel jerárquico y por cada nodo. El objetivo es identificar la importancia que se asigna a cada uno de los elementos que componen el modelo de evaluación, según la importancia que el grupo de experto considere. En primer lugar, el juicio consiste en establecer explícitamente o declarar un nivel de preferencia relativa entre dos elementos de acuerdo a un fin o propiedad particular. En segunda instancia, existe una escala de evaluación en la cual se asigna un valor numérico a la relación entre un par de elementos de acuerdo a la preferencia del experto, desde la indiferencia (1) hasta la preferencia extrema (9). Hay tres mecanismos para declarar la preferencia: i. La comparación numérica, que consiste en solicitar al experto que declare un juicio en una escala ordinal de uno (1) a nueve (9); ii. La comparación gráfica, en la cual se declara el juicio de acuerdo a una representación gráfica le tamaño relativo de la importancia entre dos elementos y iii. La comparación verbal, en donde se solicita al evaluador dar juicios cualitativos se la importancia de un elemento sobre otro, y estos juicios tienen una asociación de cada juicio cualitativo con una escala numérica. Esta última perspectiva es la que se utiliza en este documento y se resume en la Tabla 35, además para aclarar (en el Anexo 4B se encuentra el formulario de consulta a expertos).

Dado que lo que se busca es la expresión de una preferencia grupal, se utiliza un método de agregación de las preferencias individuales denominado Agregación de Juicios Individuales de los k expertos por medio de la media Geométrica (Aranda, 2014; Parra-López et al., 2008; Foreman & Peniwati, 1998; Ramanathan & Ganesh, 1994; Aczél y Saaty, 1986). Cada experto declara sus preferencias o juicios individuales de cada par de elementos del modelo, de modo que el juicio de preferencia entre el elemento i y el elemento j ($i \neq j$) se tiene un juicio a_{ij}^k para el k -ésimo experto. Así, para n expertos la agregación de juicios individuales (a_{ij}) se calcula con:

$$a_{ij} = \sqrt[n]{\prod_{k=1}^n a_{ij}^k}$$

Tabla 35. Escala de valoración de juicios AHP

Escala numérica	Definición o escala verbal de importancia relativa de un elemento sobre otro	Explicación
1	Igual	Ambos elementos comparados tienen <i>igual</i> importancia
3	Moderada	Existe una importancia <i>débil o moderada</i> de uno de los elementos comparados sobre el otro
5	Fuerte	Existe una importancia <i>esencial o fuerte</i> de uno de los elementos comparados sobre el otro
7	Muy Fuerte	Existe una importancia <i>demostrada o muy fuerte</i> de uno de los elementos comparados sobre el otro
9	Extrema	Existe una importancia <i>absoluta</i> de uno de los elementos comparados sobre el otro

Fuente: Adaptado de Saaty (1997)

• Priorización y síntesis

Esta etapa consiste en establecer los pesos del modelo a partir de las valoraciones realizadas en la etapa precedente. Se establecen prioridades locales, que consisten en las prioridades de cada elemento respecto al nodo padre, las prioridades globales, que son las prioridades de cada nodo respecto a la meta y una prioridad total de la alternativa, que se consigue al agregar las prioridades globales de cada alternativa en los diferentes caminos que la unen a la meta.

a. Pesos locales

Para calcular los pesos locales es necesario establecer una matriz $A_{n \times n}$ para los n elementos en comparación, donde el elemento a_{ij} , $i \neq j$, es la preferencia declarada por el experto del par de elementos i respecto a j [cuando $i = j$, $a_{ij} = 1$ pues es la preferencia de un elemento respecto a si mismo]. La matriz $A_{n \times n}$ es definida positiva y debe tener la propiedad de reciprocidad, es decir, $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \forall i, j$ así como la de consistencia, es decir, dado que el elemento

a_{ij} es una relación, puede expresarse como $a_{ij} = w_i/w_j$, donde w_i es el peso local del elemento i .

Teóricamente, si los juicios son totalmente consistentes, la matriz $A_{n \times n}$ debe poder expresarse como la matriz $W_{n \times n}$, donde cada elemento ij , para $i \neq j$, es el cociente de pesos w_i/w_j , derivada de la preferencia declarada por el experto [cuando $i = j$, $w_i/w_j = 1$]. Así, el procedimiento para calcular los pesos se realizaría mediante la ecuación $W_{n \times n}w = \lambda w$, donde λ es un valor propio o eigenvalor de $W_{n \times n}$ y w es el vector propio asociado. Dado $W_{n \times n}$ es de rango uno, tiene un único valor propio distinto de cero y como el valor propio es igual a la suma de los valores de la traza se tiene que $\lambda = n$. No obstante, en realidad w es desconocido y debe ser calculado por medio de un proceso.

Para estimar el vector de pesos w hay que entender que la matriz $A_{n \times n}$ en la realidad no tiene juicios totalmente consistentes y como tal debe entenderse como una perturbación de la matriz $W_{n \times n}$, y puede tener más de un valor propio positivo. Por esto, hay que constituir un estimador del vector propio por medio del máximo valor propio (λ_{max}), es decir, mediante la ecuación $A_{n \times n}\hat{w} = \lambda_{max}\hat{w}$, donde $\hat{w}$ es el estimador de w . Para llevar esto a cabo, debe realizarse un proceso de normalización de los datos que consiste en crear un vector columna v cuyo i -ésimo elemento es $v_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}$. Luego, se establece una matriz normalizada $A_{norm} (n \times n)$ donde cada elemento ij es el elemento de a matriz inicial dividida por el elemento correspondiente de v , es decir, $\frac{a_{ij}}{v_i}$. Con esto es posible constituir el estimador $\hat{w}$ mediante el promedio de los elementos de las filas de $A_{norm} (n \times n)$, esto es, $\hat{w}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{v_i}$.

Esto debe aplicarse para cada grupo de n elementos asociados a un nodo padre, y debe cumplirse además que $0 \leq w_i \leq 1$ y que la suma de todos los pesos satisface $\sum_{i=1}^n w_i = 1$

b. Pesos globales

El cálculo de los *pesos globales* se realiza mediante el principio de composición jerárquica que establece que para conseguir este valor para un elemento particular de la jerarquía hay que multiplicar el peso cadena arriba en la secuencia nodal. De este proceso resultan los *pesos globales sintéticos* que son los que entran en el cálculo de la función de utilidad.

c. Consistencia de los juicios

En este punto hay que desarrollar una evaluación de la consistencia de los juicios, que se basa de dos propiedades, a saber, la transitividad de las preferencias y la proporcionalidad de las preferencias. Saaty (1980) propuso el *Índice de Consistencia (IC)*, que es una medida basada en el valor propio referido atrás (λ_{max}) y se relaciona con qué tanto se separa éste del ideal ($\lambda = n$). λ_{max} se calcula resolviendo $A_{n \times n}\hat{w} = \lambda_{max}\hat{w}$ y el mediante la ecuación $IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$. El método AHP utiliza un juicio de consistencia denominado Razón de Consistencia (RC), que es el cociente del IC con un Índice de Consistencia Aleatorio (IR), calculado mediante

simulaciones ($RC = \frac{IC}{IR}$). Se considera que una inconsistencia de los juicios, medida con el RC, menor que 0,1 o 10% es aceptable, de lo contrario hay que revisar e incluso replantear el estudio.

d. Síntesis de prioridades

En primer lugar se realiza una *ponderación de prioridades locales*, para lo cual se establece una matriz de valoración $Z_{m \times n}$ para la cual, el elemento z_{ij} representa la valoración local de la alternativa b_i de acuerdo al elemento (dimensión, criterio o sub-criterio) g_j y al peso global sintético estimado $\hat{w}_j$. Luego se realiza una *agregación de los pesos ponderados*, que consiste en sumar las prioridades globales de cada alternativa en todos los elementos de la jerarquía de modo que se obtengan los pesos globales sintéticos, que permiten hacer el ranking de las alternativas. En tercer lugar hay que aplicar un proceso de normalización de la matriz de valoración si alguno de los pesos se calculó de forma diferente al proceso de hallar los estimadores de los pesos. Finalmente se establecen las *prioridades totales asociadas a cada alternativa*, que se calculan mediante la aplicación de un método de agregación de los pesos, en donde se puede usar el método aditivo o el multiplicativo.

e. Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad contempla el realizar *análisis de estabilidad*, que consiste en testear qué tanto varían los resultados globales al modificarse los juicios y por ende los pesos, y puede efectuarse de dos modos: i. verificar el cambio de los resultados tras un cambio en un peso local o ii. Ver cómo se afectan los resultados tras un cambio en los juicios y así en la estructura de pesos. El *análisis de robustez*, que evalúa cómo afecta los resultados un cambio en la estructura jerárquica del modelo y suele realizarse retirando elementos de poca importancia en el modelo. El *análisis de validez* que consiste en el contraste de los resultados obtenidos mediante el modelo AHP respecto a resultados obtenidos con otros modelos.

6.1.3 Elementos incluidos en modelos de AHP para evaluación de tierras

A continuación se recogen presentan algunos de los trabajos que han usado el AHP para evaluar tierras, se busca con ellos mostrar criterios y variables utilizados en la modelación realizada para orientar la decisión en estos casos.

El estudio de Arriaza y Nekhay (2010) tiene como meta evaluar el territorio agrícola en cuanto a las funciones del olivar. Los autores muestran un caso interesante con unos resultados concretos para un modelo AHP. Se incluyen tres objetivos funcionales intermedios socioeconómicos, ambientales y paisajísticos del olivar. La función socioeconómica tiene dos sub-criterios que son la fijación de la población rural y la producción de olivar. En segundo lugar, el criterio ambiental tiene tres variables: prevención de incendios, lucha contra la erosión de los suelos y la mejora del hábitat para la flora y fauna silvestre. La función paisajística está compuesta por los siguientes tres sub criterios: olivar con cobertura vegetal, olivar colonizado por el bosque mediterráneo y olivar con suelo desnudo y labrado.

El trabajo de Arriaza y Gómez-Limón (2011), evalúa la multifuncionalidad de la agricultura en Andalucía-España. Plantea en el modelo jerárquico tres objetivos cada uno con dos o tres criterios. El primer objetivo es el económico, que utiliza dos criterios: i. La viabilidad de las explotaciones agrarias y ii. Garantizar la suficiencia alimentaria y la generación de riqueza. El segundo objetivo es el ambiental, que recoge i. Mantenimiento de la biodiversidad y mantenimiento de los recursos naturales (suelo y agua) y ii. Mitigación del cambio climático como criterios. Finalmente el objetivo social, que tiene tres criterios: i. Contribución al desarrollo rural, ii. Mantenimiento de los productos locales de calidad y iii. Conservación de paisajes agrarios tradicionales.

El trabajo de Parra-López et al. (2008) propone un análisis AHP para la evaluación del desempeño multifuncional de diferentes sistemas de olivar en España. Plantea cuatro objetivos intermedios (2 nivel): Económico, Técnico, Sociocultural y Ambiental. Para el primer caso, los criterios que utilizan son i. Ingreso, ii. Estabilidad del ingreso en el tiempo, iii. Autonomía de subsidios institucionales, iv. Independencia de insumos externos y v. Oportunidades de comercio y venta. En cuanto al objetivo Técnicos, el estudio utiliza i. Productividad, ii. Prospectos de éxito en el crecimiento de la cosecha, iii. Calidad del aceite y iv. Condiciones de salud laboral de los trabajadores. Por su parte, para el objetivo Sociocultural los criterios son i. Empleo local directo, ii. Empleo local indirecto, iii. Justicia social en áreas rurales, iv. Presencia de agricultura en regiones problemáticas o desaventajadas, v. Comparabilidad con valores socioculturales y vi. Uso recreacional. Finalmente los criterios Ambientales son i. Menos erosión de suelos, ii. Fertilidad de suelos, iii. Uso racional del agua de irrigación, iv. Menos contaminación hídrica, v. Menos contaminación atmosférica y vi. Biodiversidad.

Villanueva et al. (2014) analizan la provisión de bienes públicos agrícolas usando un proceso analítico en red (ANP) para ayudar a la toma de decisiones en la política pública. En el análisis utilizan tres clúster de variables. En primer lugar, las relacionadas con los Bienes Públicos, para los que utilizan dos tipos de criterios, Ambientales y Socioculturales. En el primer caso, se tienen en cuenta criterios como i. El clima global, ii. El agua, iii. Los riesgos naturales, iv. El aire, v. La biodiversidad, vi. El suelo y vii. La viabilidad de los territorios rurales. En cuanto al componente sociocultural, se tienen en cuenta los siguientes bienes públicos: i. Seguridad alimentaria, ii. Bienestar animal, iii. Herencia, iii. Paisaje. El segundo clúster que se considera son los Factores de administración, y los criterios tenidos en cuenta son: i. Administración de la fertilización, ii. Administración de la irrigación, iii. Manejo del suelo, iv. Control de plagas o pestes, v. Prácticas de cosecha, vi. Prácticas relacionadas con elementos funcionales y vii. Prácticas relacionadas con la herencia agrícola material e inmaterial. Finalmente el clúster de Factores Estructurales contiene cuatro variables, a saber, i. Técnica de cultivo (convencional o irrigado), ii. Variedad de árbol de oliva utilizado, iii. Densidad arbórea y iv. Área utilizada en arboleda de olivos.

En el estudio de Verbung et al. (2014) se aplicó un análisis multicriterio jerárquico aunque no específicamente AHP. Estuvo enfocado en el desarrollo sostenible para evaluar el uso ambiental de las tierras en la frontera agrícola brasileña. Las dimensiones utilizadas fueron la Económica, la Ambiental y la Social. En la Económica los criterios (y variables) utilizados fueron

i. Industria y servicios (PIB servicios), ii. Producción basada en la tierra (Ingresos por carne, por soya y por maderables). En la Ambiental se consideraron i. La conservación de recursos abióticos (Emisiones de GEI), ii. La conservación de recursos bióticos (Biodiversidad) y iii. El funcionamiento del ecosistema (Tasa de deforestación y Área con vegetación natural). Finalmente, en el social se consideró i. El nivel de vida (Trabajo e ingreso), ii. La salud humana (Salud) y iii. La provisión de trabajo (Educación).

Como puede verse, hay variedad de estructuras de los modelos de acuerdo al objetivo de la evaluación. No obstante, se pueden encontrar algunas generalidades como la utilización de tres o cuatro objetivos en los modelos jerárquicos, o clústeres en ANP. En todos estos casos los objetivos están asociados con variables económicas, ambientales, socioculturales y tecnológicas, aunque cada estudio da un nombre específico su objetivo o clúster de acuerdo al marco teórico consultado.

Modelo jerárquico para la evaluación de tierras con fines de zonificación agropecuaria a escala semidetallada 1:25.000 para Colombia

El modelo Jerárquico (AHP) propuesto para realizar la evaluación de tierras a escala semidetallada (1:25.000), se resume la Figura 27.

Este modelo está compuesto por la meta de la “Evaluación de tierras con fines agropecuarios a escala semi-detallada para cada TUT” y para esto plantea cinco dimensiones en el segundo nivel de la jerarquía: Biofísica, Ambiental, Económica, Sociocultural y Tecnológica.

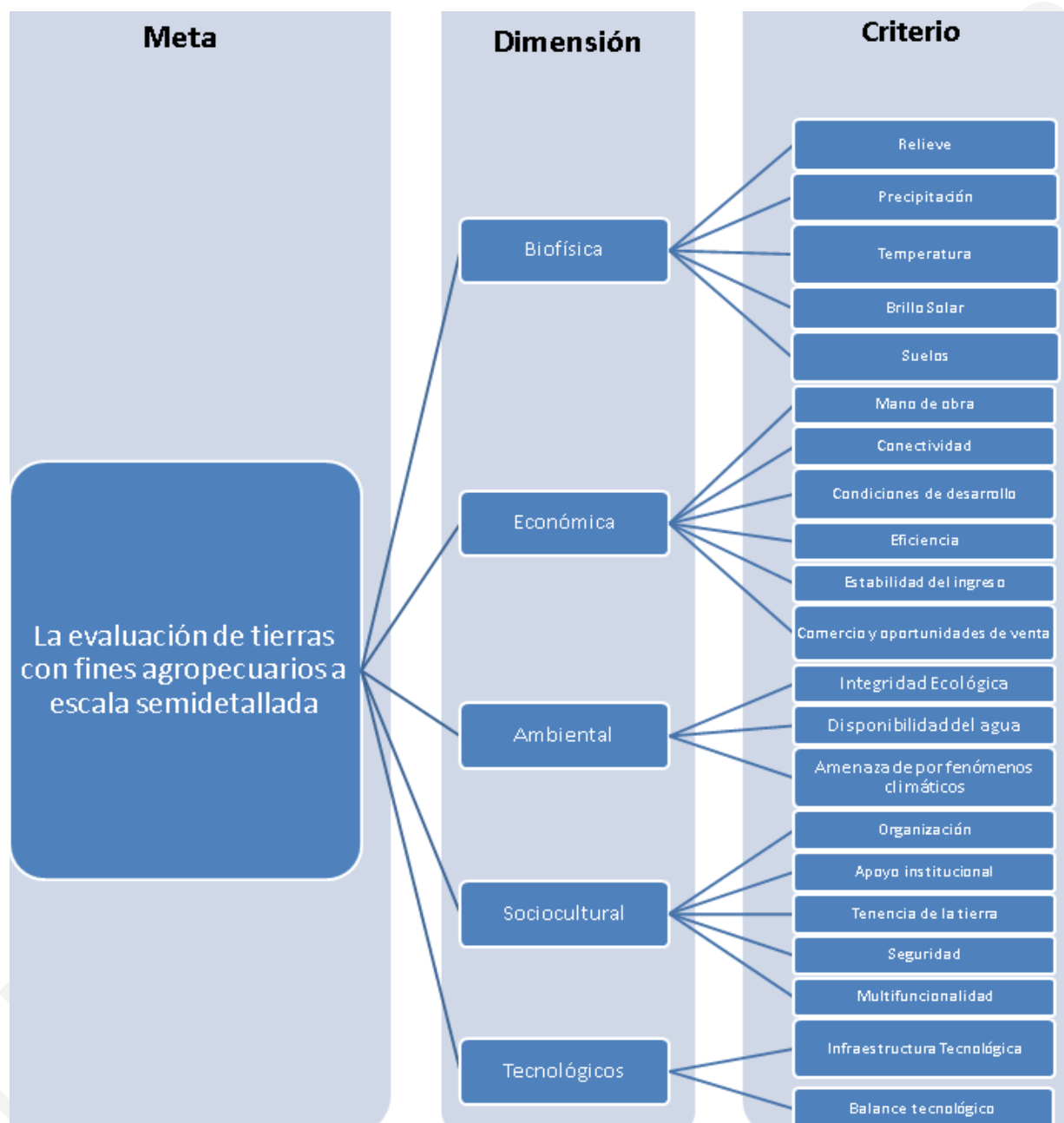
La elección de las cinco dimensiones deriva, por una parte, de las experiencias revisadas en las cuales se realizan clasificaciones similares, como pudo observarse en el apartado 6.1.3. Adicionalmente, esto se conecta con el marco teórico y las tendencias recientes de los esquemas de evaluación que parten del desarrollo sostenible territorial y particularmente, como enfatiza el documento de la FAO (1999) “el tipo de evaluación desarrollada debe contemplar múltiples objetivos en cuanto a las áreas ambiental, económica y social”; el modelo ha sido construido a partir de un riguroso análisis en que han participado expertos y profesionales relacionados con la ejecución del contrato interadministrativo no 100/2014, sometido a varios paneles con participación de profesionales y expertos de diversas subdirecciones de la UPRA, del IGAC, de la Universidad Nacional de Colombia y Corpoica.

La propuesta utiliza cinco dimensiones por las siguientes razones.

Por una parte, la *dimensión biofísica* se separó de la *dimensión ambiental*, se reconoce que existe una tradición de evaluaciones biofísicas y como tal la estructura de éstas se encuentra más estandarizada en cuanto a las propiedades del suelo, pero hay criterios que escapan al concepto clásico y que merecen ser tenidos en cuenta, es por ello que estos otros criterios se incluyen en la dimensión ambiental, que busca rescatar algunas de las interacciones de los sistemas humanos con el entorno natural, sujeto a la información existente y a la posibilidad de levantarla en campo. De otra parte, aunque la *tecnología* es parte de la estructura *social* y *económica* se decidió presentarla como una dimensión independiente, existen aspectos fundamentales asociados a ésta para los propósitos de la evaluación y además hay trabajos que presentan esta dimensión por separado. Finalmente, los aspectos *culturales* que no son

fáciles de incluir por la especificidad territorial, se han incluido junto a los aspectos sociales en la *dimensión sociocultural*, basado en algunas experiencias de la literatura revisada.

Figura 26. Modelo de proceso analítico jerárquico para evaluación de tierras



Fuente: elaboración propia

Cada una de las dimensiones se compone por una serie de criterios y cada uno éstos por una serie de sub-criterios (entre cero y tres por criterio), que por motivos de organización y claridad no se presentaron en la Figura 27, pero que corresponden al siguiente nivel jerárquico de la misma. Cada sub-criterio debe tener por lo menos una variable indicador asociado que permita conseguir la información a la escala requerida para poder llevar a cabo la evaluación.

Resta por hacer una última claridad respecto del modelo. Tal como se presentó en la Figura 25, el modelo multicriterio hace parte de una de las etapas de la evaluación, pero existen etapas precedentes en las cuales se hace una caracterización de la oferta biofísica y se establecen los requerimientos. Dado que las metodologías para llevar a cabo la evaluación de esta dimensión son estándares y contienen unas pautas que implican una presentación de características puntuales por tipo de uso, el modelo multicriterio de evaluación debe acomodarse o ajustarse para cada tipo de uso. Es por ello que la meta del modelo multicriterio AHP hace la claridad de que se está evaluando una serie de características por tipo de uso.

Dimensiones de análisis del modelo jerárquico

A continuación se presenta el detalle del modelo jerárquico para evaluación de tierras con fines agropecuarios, se presenta el modelo según las dimensiones que lo conforman, el contenido esquemático asociado al nivel jerárquico consiste en la presentación de criterios en negrilla, con su respectiva objetivo intermedio o definición; y los sub-criterios en cursiva, y si los hay el/los indicador/es asociado/s, la fuente de la información y el nivel de detalle.

6.1.4 Dimensión Biofísica

Objetivo intermedio: Valorar la oferta biofísica del territorio con respecto a los requerimientos del tipo de uso evaluado (Cualidades y características de los suelos, clima, coberturas y relieve).

- **Relieve:** Medida de inclinación del lugar en donde se desarrolla la actividad
Indicador: Pendiente
Fuente de la información: Modelo digital de elevación
Escala: Semidetallada
- **Precipitación:** Cantidad de agua que cae sobre el territorio donde se desarrolla la actividad
Indicador: mm de precipitación/año
Fuente de la información: IDEAM
Escala: Semidetallada según disponibilidad de estaciones climatológicas
- **Temperatura:** Expresa grado o nivel de calor o frío que se encuentra en el territorio.
Indicador: °C reclasificado según tipo de uso
Fuente de la información: IDEAM
Escala: Semidetallada según disponibilidad de estaciones climatológicas
- **Brillo solar:** Tiempo total de incidencia lumínica que se presenta en el cultivo
Indicador: Horas luz/día reclasificado según tipo de uso
Fuente de la información: SIG

Escala: Semidetallada

- **Suelos:** Aptitud que tiene el suelo para asegurar buenas condiciones de desarrollo y sustentabilidad de los agro-ecosistemas.

Indicador: Índice de fertilidad reclasificado según tipo de uso

Fuente de la información: SIG

Escala: Semidetallada

6.1.5 Dimensión Económica

Objetivo intermedio: Valorar las condiciones económicas del territorio y su influencia sobre el desarrollo de la actividad por tipo de uso.

- **Mano de obra:** Mano de obra disponible para el desarrollo de la actividad productiva.
 - a. *Disponibilidad global de mano de obra*
Indicador(es): Población económicamente activa en el territorio, o Índice de desempleo
 Fuente de la información: DANE
 Escala: Departamental o cabecera
 - b. *Mano de obra vinculada al desarrollo de actividades agropecuarias*
Indicador: Promedio de trabajadores por unidad productiva (por unidad de área en los último año/ Hectarea).
 Fuente de la información: Primaria (CNA, XI 138-141)
 Escala: Según muestreo estratificado por unidad paisajística
 - c. *Disponibilidad de mano de obra calificada*
Indicador: No. de técnicos y profesionales en áreas afines en el territorio
 Fuente de la información: MinEducación
 Escala: Departamental y cabecera
- **Conectividad:** Facilidad para conectar el territorio con los centros de consumo.
 - a. *Proximidad a centros de consumo: Evalúa la proximidad en kilómetros desde el centro de producción a los centros de mercado.*
Indicador: densidad de vías por tipo km/km²
 Fuente de la información: Derivada de modelos digitales
 Escala: Semidetallada
 - b. *Tiempo de viaje al centro de consumo: Evalúa el tiempo promedio de viaje desde el centro de producción a los centros de mercado*
Indicador: No. de horas promedio
 Fuente de la información: Primaria
 Escala: Según muestreo estratificado
 - c. *Existencia de otros medios de transporte: Establece la disponibilidad de medios de transporte alternativos (ferroviarios, fluviales, aéreos) para el transporte de la producción.*
Indicador: Existencia de otros medios de transporte
 Fuente de la información: Primaria
 Escala: Según muestreo estratificado

- **Condiciones de desarrollo:** Evalúa la satisfacción de necesidades humanas y condiciones de vida que pueden afectar el uso de la tierra.

Indicador: NBI

Fuente de la información: DANE

Escala: Municipal rural

Eficiencia: Uso racional de los recursos.

- a. *Análisis costo beneficio*

Indicador: Relación C-B

Fuente de la información: Primaria

Escala: Según muestreo estratificado

Estabilidad en el ingreso: Mide la estabilidad del ingreso a través del tiempo en función de la estabilidad de precios y diversificación de riesgo

- a. *Estabilidad de precios: Mantenimiento en tiempo de los precios del producto.*

Indicador: Coeficiente de variación de precios del mercado

Fuente de la información: SIPSA – DANE

Escala: Regional

- b. *Diversificación del riesgo: Establece la no dependencia exclusiva relacionada al ingreso generado por una única actividad.*

Indicador: Desarrollo de actividades económicas alternativas

Fuente de la información: Primaria

Escala: Según muestreo estratificado

- **Comercio y oportunidades de venta:** Existencia de demanda intermedia o final en el territorio

Indicador: Existencia de acuerdos comerciales que perduren en el tiempo Fuente de la información: Primaria

Escala: Según muestreo estratificado

6.1.6 Dimensión Ambiental

Objetivo intermedio: Valorar las condiciones ambientales que pueden incidir sobre la actividad por tipo de uso.

- **Integridad Ecológica:** Evalúa la Calidad/salud de los ecosistemas

Indicador: Índice de integridad ecológica.

Fuente de la información: Derivado de mapa de cobertura 1:25.000

Escala: semidetallada.

- **Disponibilidad de agua:** Identifica la fuente de la cual se realiza la captación de agua para uso agrícola.

- a. *Tipo de Fuente: Muestra si la captación se hace directamente de una fuente hídrica o mediante un sistema de conducción.*

Indicador: Características de la fuente

Fuente de la información: Primaria (CNA 17-19)

- Escala: Según muestreo estratificado por unidad paisajística
- b. *Tipo de protección: Identifica las acciones que realiza el productor para protección de las fuentes de agua.*
Indicador: Binario (Existe protección)
Fuente de la información: Primaria (CNA 17-19)
Escala: Según muestreo estratificado
 - c. *Dificultad para el acceso o uso: Identifica si el productor considera que las fuentes de donde obtiene el agua tienen alguna característica que dificulte el acceso o uso del agua.*
Indicador: Binario (Existe dificultad)
Fuente de la información: Primaria (CNA 17-19)
Escala: Según muestreo estratificado
 - d. *Solicitud de licencias de uso de agua en el territorio: Identifica si el productor solicitó a la autoridad ambiental licencias para uso de agua.*
Indicador: Binario (Solicitud de licencias)
Fuente de la información: Primaria / Corporación Autonomía Regional
Escala: Según muestreo estratificado
- **Amenaza por fenómenos naturales:** Existencia de territorio con condiciones riesgosas para el desarrollo del cultivo por fenómenos naturales
 - a. *Amenaza por inundaciones: Posibilidad de afectación de la producción por exceso de agua*
Indicador: Hubo afectación por inundaciones en los últimos 10 años
Fuente de la información: Primaria
Escala: Según muestreo estratificado
 - b. *Amenaza por sequía: Posibilidad de afectación de la producción por escasez de agua disponible*
Indicador: Hubo afectación por sequía en los últimos 10 años
Fuente de la información: Primaria
Escala: Según muestreo estratificado por unidad paisajística
 - c. *Amenaza por helada: Posibilidad de afectación de la producción por bajas de temperatura considerables en el ambiente*
Indicador: Hubo afectación por helada en los últimos 10 años
Fuente de la información: Primaria
Escala: Según muestreo estratificado
 - d. *Amenaza por deslizamiento: Posibilidad de afectación de la producción por movimientos de tierra en el terreno*
Indicador: Hubo afectación por deslizamiento en los últimos 10 años
Fuente de la información: Primaria
Escala: Según muestreo estratificado
 - e. *Amenaza por erupción volcánica: Posibilidad de afectación de la actividad productiva por activación volcánica en la zona*
Indicador: Hubo afectación por erupción volcánica en los últimos 10 años
Fuente de la información: Primaria
Escala: Según muestreo estratificado

- f. *Riesgo por erosión: Posibilidad de afectación del suelo a la erosión.*
Indicador: Probabilidad que se materialice una amenaza por erosión
Fuente de la información: derivado de los modelos digitales
Escala: semidetallada

6.1.7 Dimensión Sociocultural

Objetivo intermedio: Valorar las condiciones sociales e institucionales del territorio y su influencia sobre el desarrollo de la actividad por tipo de uso.

- **Organización:** Evalúa la disposición y participación de actores locales en trabajar colectivamente para la búsqueda de un objetivo común.
 - a. *Participación en organizaciones: Proporción de productores que hacen parte de una organización o gremio.*
Indicador: Binario (Participa/No participa)
Fuente de la información: Primaria - [CNA (XI.B - 134) y Adaptación Corpoica 17]
Escala: Según muestreo estratificado
 - b. *Calidad del beneficio gremial: Percepción de los productores organizados acerca de la calidad de los beneficios prestados por la organización o gremio*
Indicador: Si percibió algún beneficio
Fuente de la información: Primaria - [CNA (XI.B - 134) y Adaptación Corpoica 17]
Escala: Según muestreo estratificado
 - c. *Capacidad de realización o ejecución de proyectos: Grado en el cual una organización es capaz de realizar y ejecutar proyectos para la actividad productiva*
Indicador: Ejecutó o está ejecutando algún proyecto
Fuente de la información: Primaria
Escala: Según muestreo estratificado
- **Apoyo institucional:** Acceso a la oferta institucional como apoyo para las actividades productivas
 - a. *Acceso a líneas de crédito con incentivo gubernamental: Existencia de créditos realizados en el territorio por parte de entidades gubernamentales como incentivo del desarrollo de la actividad.*
Indicador: No de créditos otorgados
Fuente de la información: Finagro - ICR CNA
Escala: Municipal, por proyecto
 - b. *Iniciativas apoyadas por oferta institucional: Existencia de programas establecidos por instituciones gubernamentales para estimular el desarrollo de la actividad*
Indicador: No de iniciativas
Fuente de la información: MinAgricultura, MinAmbiente y CAR, gremios
Escala: Municipal

- **Estructura de tenencia** de la tierra: Distribución de la propiedad en términos de superficie por unidad de decisión.
 - a. *Acceso a la tierra: Relacionada con la facilidad que tiene el productor para acceder a la tierra para el desarrollo de la actividad productiva.*
Indicador: Tipo de acceso a la tierra
Fuente de la información: Primaria
Escala: Según muestreo estratificado
 - b. *Distribución de la tierra: Identifica el grado en que el área del territorio se distribuye entre los propietarios*
Indicador: 1- Índice de GINI de área
Fuente de la información: IGAC
Escala: Semidetallada
- **Seguridad y mantenimiento de la ruralidad:** Mantenimiento del medio rural y territorio poblado
 - a. *Dinámica poblacional*
Indicador: Índice compuesto de Dinámica poblacional y Factores de violencia
Fuente de la información: DANE
Escala: municipal
- **Multifuncionalidad:** Conjunto de funciones alternativas (no agropecuarias) desempeñadas en que puede ser usado el territorio
 - a. *Función paisajística: Relacionada con el aporte que realiza el desarrollo de la actividad agropecuaria al paisaje del medio rural.*
Indicador: Percepción a la calidad del aporte de la conservación del paisaje
Fuente de la información: Primaria
Escala: Según muestreo estratificado
 - b. *Aprovechamiento de recursos específicos: Expresa la importancia para la actividad productiva en el uso y conservación de biodiversidad endémica y conocimiento local.*
Indicador: Percepción a la calidad del aporte de la conservación de los recursos específicos
Fuente de la información: Primaria
Escala: Según muestreo estratificado

6.1.8 Dimensión Tecnológica

Objetivo intermedio: Caracterizar la disponibilidad y acceso a tecnología en el territorio para desarrollar el tipo de uso de la tierra (TUT). Los lineamientos de este criterio fueron estructurados teniendo en cuenta trabajos de zonificación agrícola y análisis multicriterio realizados en Colombia (Carbonel et al., 2001, Prieto, 2011, Bautista et al., 2012). En este sentido, la metodología se enfoca principalmente en dos áreas. La primera área se enmarca dentro de un contexto regional, denominada como Infraestructura tecnológica (IT); y el Balance Tecnológico en la Producción Primaria (BTPP), en el predio o unidad de decisión.

- **Infraestructura Tecnológica:** Expresa los factores de tipo tecnológico con las que cuenta el territorio en función de la infraestructura para la transformación y agregación de valor.
 - a. *Infraestructura para el acopio: Existencia de Bodegas, tanques de almacenamiento, silos, u otras construcciones en el territorio para realizar el acopio de la producción local en el territorio.*
 Indicador: Existencia de instalaciones como bodega, tanques de almacenamiento, silos.
 Fuente de la información: Primaria
 Escala: Según muestreo estratificado.
 - b. *Infraestructura para la agroindustria: Existencia de secadores, desmotadores, trapiches, beneficiaderos u otras dotaciones de infraestructura en el territorio para realizar procesos de agroindustrialización del uso evaluado en el territorio.*
 Indicador: Existencia de infraestructura para agroindustria, secadores, desmotadores, trapiches, beneficiaderos
 Fuente de la información: Primaria
 Escala: Según muestreo estratificado.
 - c. *Maquinaria agrícola: Disponibilidad de la oferta de equipos y existencia de personal capacitado para operación (propio, alquiler, gremial) de bancos de maquinaria en el territorio para el tipo de uso evaluado.*
 Indicador: Existencia de maquinaria agrícola
 Fuente de la información: Primaria
 Escala: Según muestreo estratificado.
- **Balance Tecnológico en la producción primaria:** Evalúa las actividades en el sistema productivo para establecer el nivel tecnológico adoptado.
 - a. *Establecimiento del cultivo: Relacionada a si se realiza caracterización de suelos y condiciones climatológicas, sistemas de riego, preparación del suelo y uso de semilla certificada en la planificación productiva.*
 Indicador: Uso de información sobre caracterización de suelos y condiciones climatológicas, planificación predial (unidades agronómicas), uso de sistemas de riego, preparación de suelos, tipo de semilla (certificada-no certificada)
 Fuente de la información: Primaria
 Escala: Según muestreo estratificado.
 - b. *Labores culturales: Se realizan podas, deschupones, deshijes, plateos, desinfección de herramientas, uso e incorporación de coberturas vegetales y mantenimiento de infraestructura de riego en el desarrollo de la actividad productiva*
 Indicador: Podas, deschupones, deshijes, plateos, desinfección de herramientas. Uso e incorporación de coberturas vegetales, mantenimiento de infraestructura de riego y drenaje.
 Fuente de la información: Primaria
 Escala: Según muestreo estratificado.
 - c. *Manejo nutricional: Se realiza análisis de tejidos vegetales, fertilización con base en análisis y fraccionamiento de la misma*
 Indicador: Análisis de tejidos vegetales, fertilización con base en análisis Fraccionamiento de la fertilización.
 Fuente de la información: Primaria

- Escala: Según muestreo estratificado
- d. *Manejo sanitario: Se realizan monitoreos y control fitosanitarios (plagas, enfermedades y malezas) y se determina riesgo potencial fitosanitario*
Indicador: Monitoreo fitosanitarios de plagas, enfermedades y malezas control de plagas, enfermedades y malezas, riesgo potencial fitosanitario
Fuente de la información: Primaria
Escala: Según muestreo estratificado
 - e. *Cosecha y producción: Se tienen en cuenta criterios de cosecha y se realizan prácticas de recolección del fruto que garanticen la calidad del producto*
Indicador: Criterio de cosecha, forma de cosecha, producción
Fuente de la información: Primaria
Escala: Según muestreo estratificado
 - f. *Asistencia técnica: Se tiene acceso y acompañamiento de asistencia técnica (por profesionales, comerciales o por recomendación de otros agricultores) durante el desarrollo del ciclo productivo.*
Indicador: Tipo de asistencia (profesional, gremial, particular).
Fuente de la información: Primaria
Escala: Según muestreo estratificado
 - g. *Sistemas de información y gestión: Acceso y manejo de registros, utilización de SIG y manejo de software*
Indicador: Uso de registros, hoja de Excel, SIG, software.
Fuente de la información: Primaria
Escala: Según muestreo estratificado por unidad paisajística

Alternativas del modelo para evaluación de tierras con fines agropecuarios a escala 1:25.000

En general, las alternativas son un instrumento que ayudan al tomador de decisiones a elegir una opción adecuada en el territorio. En este sentido, estas opciones de decisión se plantean para describir diferentes niveles tecnológicos y la posible selección del uso adecuado del suelo. A continuación, se presenta una descripción de alternativas de decisión con base al nivel tecnológico para usos con fines agropecuarios, se considera en la evaluación para sistemas pecuarios como la producción de biomasa para alimentación animal (Tabla 36).

Como complemento a la tabla que se suministra el Anexo 6 que consiste en una descripción visual de las alternativas planteadas. Así mismo en el Anexo 2 se presentan formularios que pueden ser usados para cada uno de los TUTs con el fin de determinar el nivel tecnológico del sistema productivo.

Tabla 36. Descripción de alternativas de evaluación para usos con fines agropecuarios a escala 1:25000

DESCRIPCIÓN DE LA ALTERNATIVA		
ALTERNATIVAS	USOS AGRÍCOLAS (Perennes, semiperennes y Transitorios)	USOS PECUARIOS (Pasturas y Forrajes)
A	Uso tecnificado que presenta acompañamiento técnico constante, planeación de producción a nivel predial o grupal y suficientes insumos y recursos de capital. El rendimiento se encuentra igual o superior al promedio de la región. Además incluye una innovación en cualquier etapa del proceso productivo con el fin de optimizar la equidad, la rentabilidad y sustentabilidad.	Presencia de asistencia técnica, existencia de suficientes recursos de capital e insumos. Producción de biomasa y capacidad de carga por unidad de área que pueden ser iguales o superiores al promedio de la región. Además presenta una innovación en cualquier etapa del proceso productivo con el fin de optimizar la equidad, la rentabilidad y sustentabilidad.
B	Uso tecnificado que se reconoce por el acompañamiento permanente de asistencia técnica dentro del proceso productivo y planificación a nivel predial o de grupo de predios. Existencia suficiente de insumos recursos de capital. El rendimiento del uso se encuentra igual o superior al promedio de la región.	Presencia de asistencia técnica, existencia de suficientes recursos de capital e insumos. Producción de biomasa y capacidad de carga por unidad de área que pueden ser iguales o superiores al promedio de la región.
C	Uso tradicional logrado por productores experimentados y en algunas ocasiones con acompañamiento técnico aunque con recursos de capital limitado. Empleo de algún grado de tecnología dentro del desarrollo del uso con el fin de aumentar el rendimiento el cual puede estar cercano al promedio de la región.	Son praderas intervenidas por productores experimentados o en algunas ocasiones con acompañamiento técnico durante el proceso productivo. El capital de inversión es limitado. La producción de biomasa y capacidad de carga por unidad de área puede estar cercana al promedio de la región. Uso moderado de insumos.
D	Uso tradicional Sin asesoramiento técnico donde predomina el conocimiento tradicional o ancestral. Así mismo, escaso uso de insumos y/o herramientas tecnológicas. Los rendimientos se encuentran muy por debajo del promedio de la región. La producción primaria es destinada principalmente para autoconsumo y en algunas ocasiones para comercialización regional.	En este nivel encontramos aquellos sistemas que se caracterizan por la ausencia de intervención y presencia de coberturas naturales. Sin acompañamiento técnico. La capacidad de carga y producción de biomasa por unidad de área son bajas. Ausencia de recursos de capital. Uso carente de insumos.

Fuente: Desarrollo propio basado en elementos de Terzaghic *et al.*, 1988.

Aptitud de las unidades de tierra de acuerdo a la función de utilidad –MAUT-

La MAUT sigue el procedimiento general de las teorías de la utilidad en los cuales se plantea que el agente económico persigue el objetivo de maximizar su utilidad, solo que a diferencia de la teoría clásica de la utilidad no entra en juego un único atributo sino un conjunto de atributos. En este sentido, se plantea la estimación de una función de utilidad parcial para cada atributo

de acuerdo a las preferencias reveladas de quienes toman las decisiones, y así se plantea un procedimiento de agregación en de las entidades parciales en una función de utilidad agregada. Los procedimientos de agregación que se han planteado son el *aditivo* y el *multiplicativo*.

Si el problema multicriterio al que se enfrenta el evaluador se caracteriza por ser discreto, es decir, tener un número finito de elementos de evaluación g_j , $j = 1, 2, \dots, n$, y un número finito de alternativas b_i , $i = 1, 2, \dots, m$, se establece un indicador I_k para cada uno de los $k = 1, 2, \dots, l < n$ elementos inferiores del modelo (los subcriterios, y en caso de no haber se hace directamente sobre el criterio). Con esto y con el peso global sintético de cada uno de estos elementos $w_{GLO,l}$ puede calcularse la función de utilidad multiatributo, para la alternativa i , mediante un procedimiento de agregación:

$$U(b_i) = \sum_{l=1}^k w_{GLO,k} \cdot I_k$$

Con este planteamiento, la aproximación de este trabajo sigue la perspectiva del AHP distributivo, en el cual problema consiste en hacer un ranking de las alternativas de acuerdo al nivel de Utilidad Multiatributo de forma que permita expresarse una relación de preferencia entre las diferentes alternativas, es decir, la utilidad de la alternativa b_i es mayor que la de b_j si y solo si la alternativa b_i es preferida a la b_j : $U(b_i) > U(b_j) \Leftrightarrow b_i > b_j$.

7. VERIFICACIÓN DEL USO DE LA METODOLOGÍA

Resultados del Análisis PESTA e IGO

Siguiendo el protocolo para el desarrollo del taller de prospectiva estratégica con actores locales, (Anexo 3C), a manera de ejemplo, se presentan a continuación los resultados para la determinar los TUT a evaluar en la zona de referencia.

e presentan los resultados a maner Del Análisis PESTA se extrajeron 45 variables, 10 de la dimensión política, 9 de la económica, 10 de la sociocultural, 7 de la tecnológica y 9 de la ambiental. Se solicitó a cada grupo que calificara estas variables en cuanto a Importancia y Gobernabilidad (análisis IGO). La Tabla 37 presenta las variables y los promedios de calificación.

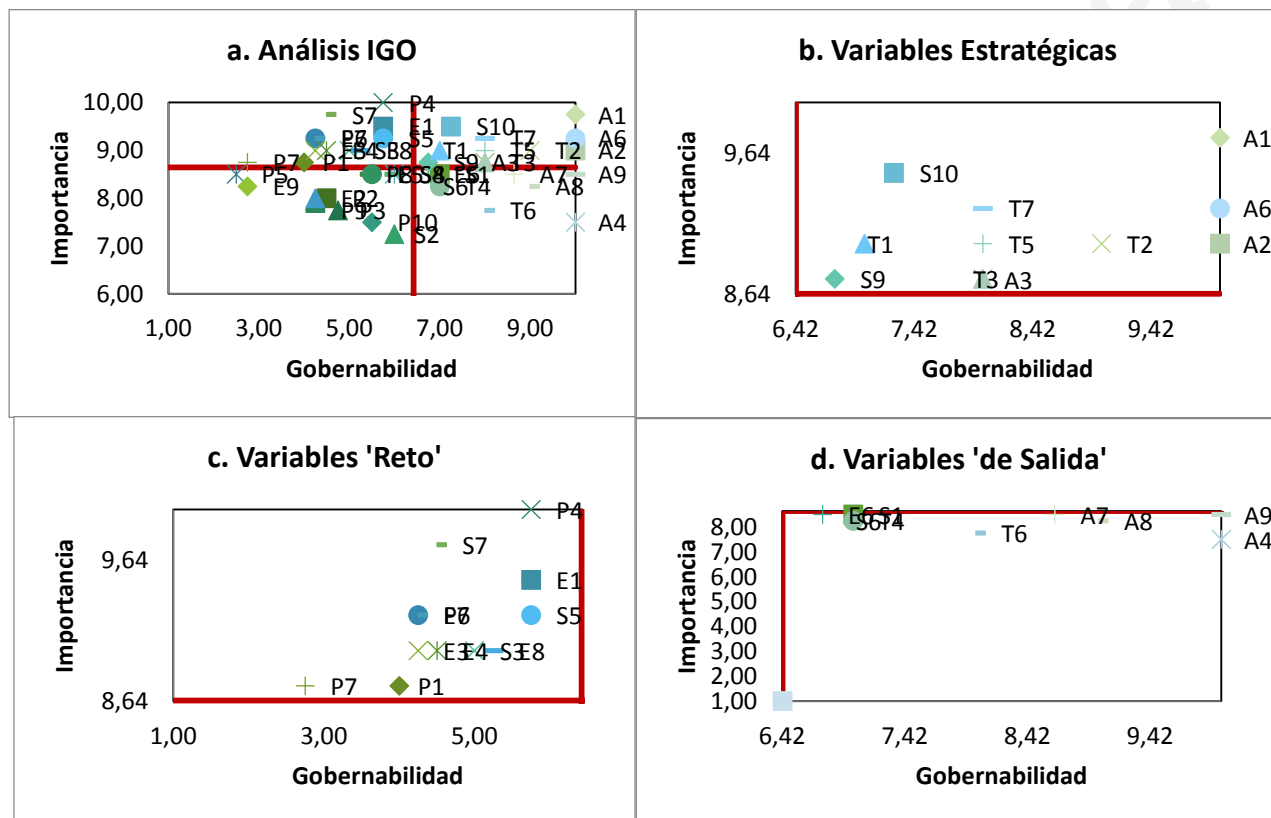
Tabla 37. Resultados del análisis PESTA y del análisis IGO

Dimensión	No.	Factor de cambio (variable)	Importancia	Gobernabilidad	Cuadrante IGO
		<i>Media</i>	<i>8,64</i>	<i>6,42</i>	<i>-</i>
		<i>Desviación estándar</i>	<i>0,65</i>	<i>2,16</i>	<i>-</i>
Político	P1	Políticas adecuadas para el desarrollo del sector agropecuario	8,75	4,00	Reto
	P2	Política local descontextualizada	8,00	4,50	De Exclusión
	P3	Coordinación institucional	7,75	4,75	De Exclusión
	P4	Política de ordenamiento y uso del suelo para trazar lineamientos del territorio	10,00	5,75	Reto
	P5	Equidad/Tenencia/Acceso pequeño productor/Redefinición de UAF	8,50	2,50	De Exclusión
	P6	Políticas adecuadas Ambientales	9,25	4,25	Reto
	P7	Acciones para mejoramiento de conectividad (vías)	8,75	2,75	Reto
	P8	Gestión de recursos públicos	8,50	5,25	De Exclusión
	P9	Garantía y protección a inversionistas (conflicto de propiedad con C. Indígenas)	7,75	4,25	De Exclusión
	P10	Existencia de seguro agrícola	7,50	5,50	De Exclusión
Económico	E1	Apoyo e incentivos a mediano y pequeño productor	9,50	5,75	Reto
	E2	Regulación de precios de insumos para la producción	8,00	4,25	De Exclusión
	E3	Incidencia de la actividad petrolera en el desarrollo de otras actividades	9,00	4,25	Reto
	E4	Incentivos para producción agropecuaria vía regalías	9,00	4,50	Reto
	E5	Incentivo para desarrollo de alianzas público privadas	8,50	5,50	De Exclusión
	E6	Promoción para el desarrollo agroindustrial	8,50	6,75	De Salida

	E7	Mejoramiento y nivelación salarial (formalización)	9,25	4,25	Reto
	E8	Especulación con el precio de la tierra	9,00	5,25	Reto
	E9	Precios de sustentación para la producción	8,25	2,75	De Exclusión
Socio-Cultural	S1	Identidad marcada por otras actividades (petrolera)	8,50	7,00	De Salida
	S2	Falta de arraigo	7,25	6,00	De Exclusión
	S3	Educación para el emprendimiento y formación técnica y superior	9,00	5,00	Reto
	S4	Protección legal e inclusión de comunidades indígenas (resguardos)	8,50	6,00	De Exclusión
	S5	Formalización de empleo	9,25	5,75	Reto
	S6	Formación en competencias ciudadanas (participación y veeduría)	8,25	7,00	De Salida
	S7	Titulación de tierras y baldíos	9,75	4,50	Reto
	S8	Seguridad para permanecer en el territorio	8,50	6,00	De Exclusión
	S9	Vocación laboral para permanecer en el territorio	8,75	6,75	Estratégica
	S10	Participación de actores locales para la gobernanza local	9,50	7,25	Estratégica
Tecnológico	T1	Investigación con participación local	9,00	7,00	Estratégica
	T2	Adopción de tecnología acorde a la realidad territorial	9,00	9,00	Estratégica
	T3	Recursos para investigación biotecnológica / protección semillas locales	8,75	8,00	Estratégica
	T4	Adaptación de tecnologías mecanizables	8,25	7,00	De Salida
	T5	Capacitación y formación tecnológica para la producción	9,00	8,00	Estratégica
	T6	Acceso y uso de SIG	7,75	8,00	De Salida
	T7	Adecuada Asistencia técnica	9,25	8,00	Estratégica
Ambiental	T1	Manejo y protección de recurso hídrico	9,75	10,00	Estratégica
	T2	Articulación institucional y mecanismos para el control ambiental	9,00	10,00	Estratégica
	T3	Cambio Climático	8,75	8,00	Estratégica
	T4	Disminución de insectos polinizadores	7,50	10,00	De Salida
	T5	Producción más limpia	7,50	10,00	De Salida
	T6	Establecimiento de áreas protegidas	9,25	10,00	Estratégica
	T7	Pago servicios ambientales	8,50	9,00	De Salida
	T8	Regulación y control de insumos para la producción	8,25	9,00	De Salida
	T9	Educación ambiental	8,50	10,00	De Salida

A partir de la calificación realizada por los participantes en el taller de prospectiva se construye el gráfico del análisis IGO. En la Figura 28 a. se presenta la ubicación en los cuadrantes del plano cartesiano de cada una de las variables identificadas por los participantes como claves para establecer los TUT en la zona de referencia.

Figura 27. Resultados del análisis de Importancia y Gobernabilidad (IGO) en zona de referencia.



a. Todas las variables identificadas en el análisis IGO; b. ampliación del cuadrante de variables estratégicas; c. ampliación del cuadrante de variables reto; d. ampliación del cuadrante de variables de salida.

Los resultados del ejercicio muestran que las variables estratégicas, entendidas como las variables cuya importancia y cuya gobernabilidad son superiores al promedio (Figura 28 b), son: vocación laboral para permanecer en el territorio, participación de actores locales para la gobernanza local, investigación con participación local, adopción de tecnología acorde a la realidad territorial, recursos para investigación biotecnológica / protección semillas locales, capacitación y formación tecnológica para la producción, adecuada asistencia técnica, manejo y protección de recurso hídrico, articulación institucional y mecanismos para el control ambiental, cambio climático, establecimiento de áreas protegidas. Tal vez lo que más llama la atención de los resultados tiene que ver con que ninguna variable política o económica quedó en el cuadrante estratégico, aunque muchas de ellas fueron clasificadas en los otros dos cuadrantes relevantes.

Las variables reto (Figura 28 c), que son aquellas que resultan importantes pero poco gobernables políticas adecuadas para el desarrollo del sector agropecuario, política de ordenamiento y uso del suelo para trazar lineamientos del territorio, políticas adecuadas ambientales, acciones para mejoramiento de conectividad (vías), apoyo e incentivos a mediano y pequeño productor, incidencia de la actividad petrolera en el desarrollo de otras actividades, incentivos para producción agropecuaria vía regalías, mejoramiento y nivelación salarial (formalización), especulación con el precio de la tierra, educación para el emprendimiento y formación técnica y superior, formalización de empleo, titulación de tierras y baldíos.

Las variables de salida (Figura 28 d), que son aquellas que se consideran altamente gobernables pero de menor importancia, fueron promoción para el desarrollo agroindustrial, identidad marcada por otras actividades (petrolera), formación en competencias ciudadanas (participación y veeduría), adaptación de tecnologías mecanizables, acceso y uso de SIG, disminución de insectos polinizadores, producción más limpia, pago servicios ambientales, regulación y control de insumos para la producción, educación ambiental.

Finalmente, las variables de exclusión, que en el ejercicio se consideraron por debajo del promedio tanto en importancia como en gobernabilidad fueron: política local descontextualizada, coordinación institucional, equidad/tenencia/acceso pequeño productor/redefinición de UAF, gestión de recursos públicos, garantía y protección a inversionistas (conflicto de propiedad con C. Indígenas), existencia de seguro agrícola, regulación de precios de insumos para la producción, Incentivo para desarrollo de alianzas público privadas, precios de sustentación para la producción, falta de arraigo, protección legal e inclusión de comunidades indígenas (resguardos), seguridad para permanecer en el territorio

Resultados del modelo AHP para el ejercicio piloto de recolección de información para el T.U.T. en Caucho

Se realizó una comisión de campo para validar los instrumentos de recolección de información primaria. Se aprovechó la información recolectada como un piloto para constituir los indicadores necesarios para comprobar si el modelo funciona para la evaluación en predios considerados como muestra para evaluar el TUT caucho. La

muestra correspondió a ocho predios en los que en la zona de referencia han implementado cultivos de caucho. De ellas, siete se localizan en la zona cauchera al nororiente de Puerto Gaitán, y tres en la zona cauchera del nororiente de Puerto López. Como ejercicio piloto se procesó la información obtenida tras consulta a los decisores en cada predio, calculando cada uno de los indicadores propuestos para cada predio, además se calculó el indicador para el promedio de todos los predios (muestra) para la zona de referencia.

Para identificar los pesos que se asocian a los elementos del modelo propuesto, se realizó consulta a 29 expertos quienes asignaron preferencias declaradas, por medio de juicios comparativos según los formularios creados para este fin (Anexo 4). Los expertos consultados corresponden a asistentes técnicos de sistemas de agroforestales que tienen amplia experiencia en la Orinoquía colombiana, además se incluyó entre los consultados a investigadores de Corpoica – La Libertad e investigadores de la Universidad Nacional de Colombia, quienes tienen amplia experiencia en sistemas agroforestales. Los juicios individuales fueron verificados en su índice de consistencia, previo a realizar la agregación de juicios del grupo, para lo que se usó la técnica de agregación de juicios individuales AIJ. A partir de las matrices de juicios comparativos grupales se calcularon prioridades locales asociadas a elementos del modelo (dimensión, criterio, subcriterio y alternativas), la consulta se realizó de abajo a arriba, buscando garantizar la retroalimentación y eliminar el sesgo. Posteriormente se realizó el proceso de síntesis para calcular las prioridades globales asociadas a los elementos del modelo y la prioridad sintética global asociada a las alternativas, según cada elemento del modelo.

En el anexo 8 A, se presenta un libro de cálculo en Excel, programado para realizar el cálculo de pesos locales, pesos globales y prioridades de las alternativas, en el cual se deberá ingresar las preferencias declaradas en los juicios comparativos de los procesos de consulta a expertos y para la evaluación del TUT.

En el Anexo 8B se presenta la Plantilla para procesamiento de información primaria en predios de la muestra por TUT.

El anexo 8C presenta los resultados del cálculo de la función de utilidad multiatributo para el TUT caucho, evaluado en la zona de referencia, el cual incorpora información primaria y resultados de evaluación AHP para el uso citado.

De manera resumida, el Tabla 38 presenta los resultados del modelo de evaluación AHP, la columna 1) presenta los pesos locales y globales a nivel de dimensión, criterio y subcriterio del modelo; en la columna 2) se presenta el ranking de los elementos según el nivel al que pertenezca (dimensión, criterio y subcriterio); la columna 3) presenta la utilidad de la alternativa, resultante de el producto entre el peso sintético a nivel de alternativa de los elementos del último nivel antes de las mismas, según modelo, multiplicado por el valor del indicador para el promedio de los predios incluidos en la muestra, y según información secundaria, o primaria necesaria y presentada en el apartado 6.3.1 a 6.3.5. La columna 4) presenta un ranking por alternativa, el cual muestra, el aporte de cada alternativa elemento por elemento de último nivel de la jerarquía del modelo, entendido como el aporte relativo que realiza la alternativa en las condiciones del territorio. Finalmente, la columna 5) presenta la diferencia regional de las dos zonas de estudio respecto al promedio.

Tabla 38. Resultados del modelo AHP para Caucho

Dimensión	1) Pesos		2) Ranking de los lementos	3) Utilidad Alternativas				4) RANKING				5) Variación	
	Local	Global		A	B	C	D	A	B	C	D	Zona 1	Zona 2
<i>Sub criterio</i>													
META				0,401	0,308	0,287	0,237	1	2	3	4		
Biofísica	0,261	0,261	1	0,040	0,020	0,013	0,012	1	2	3	4		
Relieve	0,181	0,047	7	0,029	0,010	0,004	0,004	1	2	3	4		++++
Precipitación	0,158	0,041	9	0,003	0,001	0,001	0,001	1	2	4	3		
Temperatura	0,061	0,016	20	0,004	0,004	0,004	0,004	1	1	1	1		
Brillo solar	0,063	0,016	21	0,005	0,004	0,003	0,004	1	2	4	3		++
Suelos	0,537	0,14	1	0,000	0,000	0,000	0,000	1	1	1	1		
Económica	0,131	0,131	5	0,184	0,131	0,137	0,100	1	3	2	4		+++
Mano de obra	0,109	0,014	22	0,163	0,115	0,121	0,081	1	3	2	4		++++
Disponibilidad global de mano de obra	0,155	0,002	37	0,000	0,000	0,001	0,000	2	2	1	2		
Mano de obra vinculada al desarrollo de actividades agropecuarias	0,268	0,004	34	0,000	0,000	0,000	0,000	2	1	1	2		+
Disponibilidad de mano de obra calificada	0,577	0,008	25	0,163	0,114	0,120	0,080	1	3	2	4		+++
Conectividad	0,134	0,017	19	0,002	0,001	0,001	0,001	1	2	3	4		
Proximidad a centros de consumo	0,35	0,006	30	0,000	0,000	0,000	0,000	1	1	1	1		
Tiempo de viaje al centro de consumo	0,364	0,006	31	0,002	0,001	0,001	0,001	1	2	3	4		
Existencia de otros medios de transporte	0,287	0,005	32	0,000	0,000	0,000	0,000	1	1	1	1		
Condiciones de desarrollo	0,156	0,02	18	0,004	0,003	0,003	0,003	1	2	2	2		
Eficiencia	0,197	0,026	15	0,009	0,007	0,006	0,006	1	2	3	4		

Tabla 39. Resultados del modelo AHP para Caucho (continuación)

Dimensión	1) Pesos		2) Ranking de los elementos	3) Utilidad Alternativas				4) RANKING				5) Variación	
Criterio	Local	Global		A	B	C	D	A	B	C	D	Zona 1	Zona 2
<i>Sub criterio</i>													
Estabilidad en el ingreso	0,187	0,024	16	0,005	0,004	0,003	0,003	1	2	4	3	++	
<i>Estabilidad de Precios</i>	0,588	0,014	15	0,003	0,002	0,002	0,003	2	3	3	1		
<i>Diversificación del Riesgo</i>	0,412	0,01	21	0,002	0,002	0,001	0,001	1	2	3	4		
Comercio y oportunidades de venta	0,218	0,028	14	0,001	0,001	0,003	0,006	3	3	2	1		
Ambiental	0,279	0,279	2	0,029	0,025	0,026	0,024	1	3	2	4		
Integridad ecológica	0,372	0,104	3	0,013	0,013	0,014	0,013	2	4	1	3		
Disponibilidad del agua	0,384	0,107	2	0,014	0,010	0,011	0,009	1	3	2	4	++	
<i>Tipo de fuente</i>	0,248	0,027	5	0,000	0,000	0,000	0,000	1	1	1	1		
<i>Tipo de protección</i>	0,288	0,031	2	0,010	0,007	0,008	0,006	1	3	2	4		
<i>Dificultad para el acceso o uso</i>	0,282	0,030	3	0,004	0,003	0,003	0,003	1	3	2	3	+	
<i>Solicitud de licencias de uso</i>	0,182	0,020	8	0,001	0,001	0,001	0,000	1	2	2	3		+++
Amenaza por fenómenos naturales	0,243	0,068	6	0,002	0,002	0,002	0,002	1	1	1	1		
<i>Amenaza por inundaciones</i>	0,239	0,016	13	0,000	0,000	0,000	0,000	1	1	1	1		
<i>Amenaza por sequías</i>	0,389	0,026	6	0,000	0,000	0,000	0,000	1	1	1	1		
<i>Amenaza por heladas</i>	0,140	0,009	23	0,000	0,000	0,000	0,000	1	1	1	1		
<i>Amenaza por deslizamientos</i>	0,070	0,005	33	0,000	0,000	0,000	0,000	1	1	1	1		
<i>Amenaza por erupción volcánica</i>	0,049	0,003	35	0,000	0,000	0,000	0,000	1	1	1	1		
<i>Riesgo por erosión</i>	0,114	0,008	26	0,002	0,002	0,002	0,002	1	1	1	1		

Tabla 40. Resultados del modelo AHP para Caucho (continuación)

Dimensión	1) Pesos		2) Ranking de los elementos	3) Utilidad Alternativas				4) RANKING				5) Variación	
	Local	Global		A	B	C	D	A	B	C	D	Zona 1	Zona 2
Sociocultural	0,168	0,168	3	0,113	0,106	0,092	0,088	1	2	3	4		
Organización	0,172	0,029	13	0,002	0,002	0,002	0,003	4	3	2	1		
Participación en organizaciones	0,105	0,003	36	0,000	0,000	0,001	0,001	3	2	1	1		+++
Calidad del beneficio	0,258	0,007	29	0,001	0,001	0,001	0,001	3	2	1	1	+++	+
Capacidad de realización o ejecución de proyectos	0,637	0,018	12	0,001	0,001	0,001	0,001	3	3	2	1		
Apoyo institucional	0,141	0,024	17	0,001	0,001	0,001	0,001	2	3	1	1		
Acceso a líneas de crédito con incentivo gubernamental	0,537	0,013	16	0,001	0,001	0,001	0,001	2	3	1	1		
Iniciativas apoyadas por oferta institucional	0,463	0,011	19	0,000	0,000	0,000	0,000	1	1	1	1		
Estructura de tenencia de la tierra	0,231	0,039	10	0,007	0,006	0,007	0,008	2	4	3	1		
Acceso a la tierra	0,51	0,02	9	0,005	0,004	0,005	0,006	3	4	2	1		
Distribución de la tierra	0,49	0,019	11	0,002	0,002	0,002	0,002	1	2	4	3	++	++
Seguridad y mantenimiento de la ruralidad	0,27	0,045	8	0,097	0,091	0,077	0,073	1	2	3	4		
Multifuncionalidad	0,186	0,031	11	0,006	0,005	0,004	0,004	1	2	3	4		
Función paisajística	0,345	0,011	20	0,003	0,002	0,002	0,002	1	2	3	3		
Aprovechamiento de recursos específicos	0,655	0,02	10	0,004	0,003	0,003	0,002	1	2	3	4		

Tabla 41. Resultados del modelo AHP para Caucho (continuación)

<i>Dimensión</i>	1) Pesos		2) Ranking de los elementos	3) Utilidad Alternativas				4) RANKING				5) Variación	
Criterio	<i>Local</i>	<i>Global</i>		A	B	C	D	A	B	C	D	Zona 1	Zona 2
<i>Sub criterio</i>													
Tecnológica	0,161	0,161	4	0,034	0,027	0,019	0,013	1	2	3	4		
Infraestructura Tecnológica	0,543	0,088	4	0,012	0,011	0,009	0,007	1	2	3	4		
<i>Infraestructura para el acopio</i>	0,253	0,022	7	0,000	0,000	0,000	0,000	1	1	1	1		
<i>Infraestructura para agroindustria</i>	0,339	0,03	4	0,001	0,001	0,001	0,000	1	2	3	4		+++
<i>Maquinaria agrícola</i>	0,408	0,036	1	0,011	0,010	0,008	0,007	1	2	3	4		
Balance Tecnológico en la producción primaria	0,457	0,074	5	0,022	0,016	0,010	0,006	1	2	3	4		
<i>Establecimiento del uso</i>	0,13	0,01	22	0,004	0,003	0,002	0,001	1	2	3	4		
<i>Labores culturales</i>	0,11	0,008	27	0,003	0,003	0,002	0,001	1	2	3	4		
<i>Manejo nutricional</i>	0,2	0,015	14	0,006	0,004	0,002	0,001	1	2	3	4		
<i>Manejo sanitario</i>	0,119	0,009	24	0,003	0,002	0,001	0,001	1	2	3	4		
<i>Cosecha y producción</i>	0,168	0,012	17	0,002	0,001	0,002	0,000	1	2	3	4	++	++
<i>Asistencia técnica</i>	0,168	0,012	18	0,002	0,001	0,001	0,001	1	2	3	4		
<i>Sistemas de información y gestión</i>	0,106	0,008	28	0,003	0,002	0,001	0,001	1	2	3	4		

7.1.1 Análisis de los resultados para el TUT en caucho en la zona de referencia

En primer lugar, respecto al ranking de los pesos (columna 2, Tabla 38) los resultados se pueden discriminar de acuerdo a su nivel jerárquico (Dimensión, Criterio, Sub-criterio). A nivel de Dimensión los juicios de los expertos dan el mayor peso a la Biofísica, seguida de la Ambiental, la Sociocultural, la Tecnológica y por último la Económica.

Este primer resultado, señala una cuestión importante para la toma de decisiones sobre los tipos de uso. Si bien se ratifica el punto de partida de la evaluación de tierras clásica que consiste en la evaluación biofísica, se resalta que para el territorio y el TUT en cuestión el tema económico, de forma tal vez contra intuitiva, resulta el menos importante en términos relativos. La dimensión ambiental, separada de la biofísica en esta propuesta metodológica, le sigue en importancia y los elementos relacionados a las dimensiones sociocultural y tecnológica. Este resultado, entonces, pone de manifiesto que para el desarrollo del caucho en la zona de referencia las entidades encargadas de política deberían enfocar los esfuerzos de política pública sobre estos temas, que en cierto sentido se han visto relegados.

A nivel de criterios, los primeros cuatro en importancia relativa fueron Suelos, Disponibilidad de Agua, Integridad Ecológica e Infraestructura Tecnológica. Esto sugiere que hay una necesidad de realizar una regulación efectiva de estos temas en el territorio para buen desarrollo del cultivo. Los primeros tres muestran una sinergia en cuanto a la institucionalidad y la gobernabilidad, pues como se ha hecho evidente con las visitas al territorio la falta tanto de la una como de la otra resulta un impedimento para la planificación efectiva. La infraestructura tecnológica está en desarrollo en la región impulsada por las iniciativas del gremio cauchero.

Los cuatro criterios menos importantes en términos relativos, fueron la Conectividad, Temperatura, Brillo Solar y Mano de obra. La explicación de los dos criterios biofísicos es sencilla en cuanto son apropiadas para el desarrollo del cultivo. En cambio, no es fácil encontrar una razón clara de por qué se le asignó tan poca importancia relativa a las variables económicas. Por una parte, la zona de referencia evaluada es de difícil acceso y apartada, lo que hace que haya que recorrer grandes distancias para la provisión de insumos y sacar los productos, de modo que este resultado no solo es contra intuitivo sino que es difícilmente respaldado. La única razón por la cual puede resultar esto es que los cultivos actualmente no se encuentran en producción y por tanto los expertos no cuentan con información completa del ejercicio. Por otra parte, la mano de obra, que compite con actividades como la extracción de petróleo en las regiones específicas no se encontró, como se esperaba, que hubiera un déficit sino que, por el contrario, siempre hubo mano de obra disponible para la actividad.

A nivel de sub-criterios, los cuatro más importantes fueron Maquinaria Agrícola, Tipo de protección de la fuente hídrica, Dificultad para el acceso o uso del agua e Infraestructura para la agroindustria. Como sub-criterios los relacionados con la infraestructura tecnológica muestran que este TUT necesita un buen nivel tecnológico para su desarrollo, pero el agua como factor ambiental y su conservación resulta también de importancia

primaria. Los cuatro menos importantes fueron Disponibilidad global de mano de obra, Participación en organizaciones, Amenaza por erupción volcánica y Mano de obra vinculada al desarrollo de actividades agropecuarias. La baja calificación de la amenaza se explica porque en la región no hay volcanes. Los subcriterios económicos en cambio muestran que la disponibilidad de mano de obra a nivel departamental o la mano en la actividad son percibidas como menos importantes para el desarrollo del caucho que la mano de obra calificada, y el sociocultural que es poco importante la participación en una organización, siendo más relevante la calidad del beneficio o si se realiza algún proyecto con esta.

Con respecto al ranking de las alternativas de acuerdo a la función de utilidad, se tiene que a nivel de Meta, la alternativa que resulta mejor calificada para el desarrollo de la actividad en la zona de estudio es la A, y le siguen las otras en orden alfabético ($A > B > C > D$)¹. A nivel de Dimensión esta tendencia se mantiene para las dimensiones Biofísica, Sociocultural, y Tecnológica. Sin embargo, para las dimensiones Económica y Ambiental el orden de las alternativas B y C se invierte ($A > C > B > D$).

A nivel de Criterios ya las relaciones son más inestables. Se pueden encontrar criterios que mantienen el orden $A > B > C > D$, como el caso de Mano de obra, otros en que la preferencia se mantiene indiferente para todos los elementos ($A \sim B \sim C \sim D$), como es el caso de la Existencia de otros medios de transporte, otros en los cuales se mantiene la indiferencia para algunos elementos (e. g. mano de obra vinculada al desarrollo de actividades agropecuarias: $B \sim C > A \sim D$), y algunos con un orden invertido o no secuencial, como Organización ($D > C > B > A$) o Integridad Ecológica ($C > A > D > B$). A nivel de sub-criterio también se tiene una multiplicidad de ranking posibles.

Finalmente, la columna 5) de la Tabla 38, señala las diferencias en el orden respecto al promedio general para las dos zonas en donde se tomó información. El número de cruces (+) representa el número de alternativas que difieren en posición respecto al promedio.

7.1.2 Discusión de los resultados para el TUT en caucho

Hay que hacer una advertencia previa a cualquier comentario de los resultados y consiste en que lo que muestran estos es un orden de preferencia de las alternativas para unas condiciones específicas del territorio de acuerdo al TUT evaluado, representadas a través de los indicadores asociados a los criterios (información del territorio) y la ponderación de éstos con los pesos derivados de la consulta a expertos. Por esto, si una alternativa recibe a nivel de Meta la mejor posición en el ranking, eso no quiere decir que hay que implementar esa alternativa en el territorio. En cambio, lo que sugiere el modelo es que esa es la mejor alternativa dadas las condiciones del territorio, pero también provee información de cada elemento y el comportamiento entre elementos del modelo, para poder tomar decisiones de planificación.

¹ La relación $A > B$ implica que la alternativa A es preferida a la alternativa B y la relación $A \sim B$ significa que hay indiferencia.

Como el objetivo último de esta información es facilitar la toma de decisiones de planificación, los resultados deben ser percibidos en este sentido. En ese sentido, el modelo sugiere que de mantenerse las condiciones actuales, la mejor alternativa para el desarrollo del uso en caucho para la región es la A, pero esto no quiere decir que no se pueden realizar las demás, sino que la alternativa A genera un mayor aporte en términos de su utilidad que las demás alternativas evaluadas.

Por otra parte, permite discriminar las decisiones de acuerdo a los resultados parciales. Por ejemplo, si la política particular del tomador de decisiones sigue principios ambientales por encima de los tecnológicos, por ejemplo, puede ver que resulta más importante la alternativa C que la B, contrario al juicio que tendría si solo se enfoca en la información que provee la Meta.

Por otra parte, el ranking de elementos (columna 2) provee información que puede ser usada para la constitución de políticas particulares para, por ejemplo, implementar planes de gobernanza del agua.

BIBLIOGRAFÍA

- Akinci, H., Özalp, A. e. Y., & Turgut, B. (2013). Agricultural land use suitability analysis using GIS and AHP technique. *Computers and Electronics in Agriculture*, 97(0), 71-82. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2013.07.006>
- Alfaro, R., Bouma, J., Fresco, L. O., Jansen, D. M., Kroonenberg, S. B., Leeuwen, A. C. J., & van Watson, V. (1994). Sustainable land use planning in Costa Rica; a methodological case study on farm and regional level.
- Anaman, T. & Krishnamra, S. (1994) Integrating land evaluation and farming systems analysis for land use planning using a relational database. *ITC Journal*4: 332–337.
- Aranda, Y.V. (2014). Productos agroalimentarios e identidad del territorio: un modelo de decisión para orientar la selección de sellos de origen. Tesis Doctoral, Departamento de Economía, sociología y política agraria. Universidad de Córdoba. 275 p
- Arriaza, M. (2002). Modelos de política agraria: revisión bibliográfica de los aspectos metodológicos del enfoque multiatributo y media-varianza. *Estudios Agrosociales y Pesqueros*, n.º 192, 33-55.
- Arriaza, M. (2010). Modelos de política agraria: revisión bibliográfica de los aspectos metodológicos del enfoque multiatributo y media-varianza. *Estudios Agrosociales y Pesqueros*, n.º 192, 33-55
- Arriaza, M., & Gómez-Limón, J. A. (2011). Valoración social del carácter multifuncional de la agricultura andaluza *Información Técnica Económica Agraria*, 107(2), 102-125.
- Arriaza, M., & Nekhay, O. (2010). Evaluación social multicriterio del territorio agrícola: el caso del olivar de baja producción. *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*, 226, 39-69.
- Beatty, M.T., Petersen, G.W. & Swindale, L.D.(eds) (1979). Planning the uses and management of land. *Agronomy Monograph* 21. American Society of Agronomy, Madison, WI. xxvii 1028 p
- Bernal Eusse, J. (2003) *Pastos y Forrajes Tropicales, Producción y Manejo* 4 ed. Bogotá, Colombia
- Bouma, J. (2002). Land quality indicators of sustainable land management across scales. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 88(2), 129-136. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00248-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00248-1)
- Bouman, B.A.M., Schipper, R.A., Nieuwenhuysen, A., Hengsdijk H. & Jansen, H.G.P. (1998) Quantifying economic and biophysical sustainability trade-offs in land use exploration at the

regional level: a case study for the Northern Atlantic Zone of Costa Rica. *Ecological Modelling*, 114: 95–109.

Brooke, A.; Kendrick, D. & Meeraus, A. (1992). GAMS: A User's Guide. Release 2.25. The International Bank for Reconstruction and Development, The World Bank, The Scientific Press. San Francisco.

Burton, S., Jongbum, K. & Banks, C. (2009). Comparison of the direct scoring method and multi-criteria decision analysis for dredged. Retrieved: http://www.dtic.mil/cgi_bin/GetTRDoc?Location=U2ydoc=GetTRDoc.pdf&AD=ADA508380 [Consulta: 2 octubre 2011].

Carbonell-Gonzales, Amaya-Estévez., Ortiz-Urbe, Torres-Aguas., Quintero-Durán., & Isaacs Echeverry. (2001). Zonificación agroecológica para el cultivo de caña de azúcar en el valle del río Cauca. Tercera aproximación. CENICAÑA.

Castañeda, D. A., Montoya, R. Y., & Escobar, C. A. (2006). Prototipo de Un Sistema Integrado Digital para la Clasificación De Coberturas y Usos de la Tierra a Nivel de Finca Bananera. *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellin*, 3167-3199.

Ceballos-Silva, A., & López-Blanco, J. (2010). Delimitación de áreas adecuadas para cultivos de alternativa: una evaluación multicriterio-SIGJF. *Terra Latinoamericana*, 109-118.

Cenicaña, (2011) Zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca (cuarta aproximación). Principios metodológicos y aplicaciones. Serie técnica número 48. 119p. Cali.

Cenicaucho y Corpoica (2013). Modelo Productivo para el cultivo del árbol de caucho natural en la Orinoquía. Zonas de escape y no escape al Mal Suramericano de las hojas de Caucho. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Siembra. 179 pp.

CORPES. (1997). Diagnóstico del caucho natural en la Orinoquia. CORPES de la Orinoquia. Colombia.

Chacón, E. (2012). Obtención de la norma de diagnóstico y recomendación integral (DRIS) para el cultivo de caucho (*Hevea brasiliensis*) en la Altiplanura Colombiana. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía-Escuela de Posgrados. Maestría en Ciencias Agrarias. Bogotá, Colombia

Chambers, R. 1994. The origins and practice of participatory rural appraisal, *World Development*; 22: 953–969.

Chambers, R. 1994 Participatory rural appraisal (PRA): Challenges, potentials and paradigm, *World Development*; 22:1437-1454

Chamorro, D. (1990) Establecimiento de Pasturas Tropicales Mejoradas, Instituto Colombiano Agropecuario. pp.4.

Charnes, A.& Cooper, W.W. (1957).Management models and industrial applications of linear programming.Management Science 4, 38–91.

Charnes, A., Cooper, W.W.& Ferguson, R.O. (1955). Optimal estimation of executive compensation by linear programming.Management Science 1, 138–151.

Corpoica, (2007) Evaluación edafoclimática del tabaco rubio. Produmedios. 53 p.

Corpoica. (2005) Evaluación edafoclimática para el cultivo de cacao. Produmedios. 75p.

Coughlin, R. E., Pease, J. R., Steiner, F., Papazian, L., Pressley, J. A., Sussman, A., & Leach, J. C. (1994a).The status of state and local LESA programs.Journal of Soil and Water Conservation, 49(1), 6-13.

Cruz, P. (2009) Evaluación agronómica de 23 genotipos de brachiaria humidicola. México
Página 8

De la Rosa, D., Moreno, J.A., Barros, J., Mayol, F. & Rosales, A. (2001) MicroLEIS 4.1: exploring the agro-ecological limits of sustainability. Manual. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología, Sevilla.

Doran, J. W., & Jones, A. J. (1996). Methods for assessing soil quality.Soil Science Society of America Inc..

Doran, W.J. & Parkin, B.A. (1994) Defining and assessing soil quality. En: Doran, JW., D.C. Coleman, D.F. Bezdicek y R.F. Stewart (eds.). Defining soil quality for a sustainable environment [p. 3-21].Special publication 35.Soil Science Society of America (Sssa), Madison, WI.

EEA. (2008). CORINE Land Cover. European Environment Agency.

Escobar, G., Usma, H., & Correa, J. (2003). Mapeo participativo tridimensional: metodología y oportunidades para el manejo comunitario de recursos naturales en ambientes de laderas. Cali: Informe presentado del programa Uso de la tierra CIAT.

Escobar, C. (2004). El cultivo del caucho (Hevea brasiliensis muell.) con enfoque agroforestal. CORPOICA. Florencia, Colombia

Espinosa J., y Bernal Eusse J.(2003) Manual de Nutrición y Fertilización de Pastos, Potash & Phosphate Institute of Canadá, Pagina 68,

FAO (1976).A framework for land evaluation. Rome: Soil resources development and conservation service.

FAO (1981). La silvicultura y el desarrollo rural departamento de montes de la FAO. 26, Roma.

FAO (1983) Guidelines: land evaluation for rainfed agriculture. FAO soils bulletin 52, Rome, 237p.

FAO (1984) Land evaluation for forestry. FAO (FAO forestry paper, No. 48, Rome.

FAO (1985) Soil Resources, M., Food and Agriculture Organization of the United Nations, Irrigation and Drainage Paper. Water quality for agriculture. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO (1997) Soil Resources, M., Food and Agriculture Organization of the United Nations, & Interdepartmental Working Group on Land Use Planning..Guidelines agro-ecology zoning. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO. (1997). Africover Land Cover Classification. Rome.

FAO (2003 a). A Handbook for Trainers on Participatory Local Development. 137p. Bangkok, Thailand, RAP publication 2003/07

FAO (2003 b). land and water. Disponible en:
<http://www.fao.org/landanwater/aqll/aqll/landuse/landusede>

FAO (2006). Evapotranspiración de cultivos. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje 56. Roma, Italia.

FAO (2007). Land evaluation. Towards a revised framework. FAO Land and Water Discussion Paper 6, Roma.

Fernández, G. & Escribano, M.C. (2012). La Ayuda a la Decisión Multicriterio: orígenes, evolución y situación actual. En: ARRIBAS, et al. (Eds) Historia de la probabilidad y de la estadística VI. Librería UNED: Madrid. p. 243-260.

Fezzi, C., & Bateman, I. J. (2011). Structural Agricultural Land Use Modeling for Spatial Agro-Environmental Policy Analysis. American Journal of Agricultural Economics, 93(4), 1168-1188. doi: 10.2307/41240387

Forester, J & Cinderby, S. (2011). Guide to Using Community Mapping and Participatory-GIS. Programme of the Economics & Social no RES24050020. RELU. 17 p.

Franco-Bautista, P., Arias-Arias, N. & Beltrán-Giraldo, J.A. (2012). Tecnologías para la agroindustria de la Palma de aceite. Guía para facilitadores. Calificación del nivel tecnológico de las plantaciones de palma de aceite. Fedepalma, Cenipalma, FAO, FLIPA y CFC

Gamper, C. D., & Turcanu, C. (2007). On the governmental use of multi-criteria analysis. Ecological Economics, 62(2), 298-307. doi:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.01.010>

- Garces, R. (1998). Interpretación de Análisis de Suelos con Fines de Fertilización. Departamento Técnico COLJAP. S.A.
- Gasson, R. (1973). Goals and Values of Farmers. *Journal of Agricultural Economics*. Vol. 24, 521-537.
- Geifus, F. (2002). 80 herramientas para el desarrollo participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo, evaluación / Frans Geifus – San José, C.R.: IICA. 217 p.
- Gómez, M. & Barredo, J. I. (2006) Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio. Alfaomega, RA-MA. 279 p.
- Gómez-Limón, J. A. & Berbel, J. (2000). Multicriteria Analysis of Derived Water Demand Functions: A Spanish Case Study. *Agricultural Systems*, 63 (1): pp. 49-72
- Hammond, J., Keeney, R. & Raiffa, H. (2001). Decisiones inteligentes: guía práctica para tomar mejores decisiones, Barcelona, Gestión 2000.
- Hatch, R. E., Harman, W. L. & Eidman, V. R. (1974). Incorporating Multiple Goals into the Decision-Making Process, A Simulation Approach for Firm Growth Analysis. *Southern Journal of Agricultural Economics*, 7 (1): pp. 103-110.
- Hazell, B.R. (1971). A linear alternative to quadratic and semivariance programming for farm planning under uncertainty. *American Journal of Agricultural Economics*. Vol. 53, 53-62.
- Herath, H. M. G. (1981). An Empirical Evaluation of Multiattribute Utility Theory in Peasant Agriculture. *Oxford Agrarian Studies*, 10 (2): pp. 240-254.
- Hermanides, G., & Nijkamp, P. (1998). Multicriteria evaluation of sustainable agricultural land use: a case study of Lesvos. In E. Beinat & P. Nijkamp (Eds.), *Multicriteria Analysis for Land-Use Management* (9 ed., pp. 61-78): Springer Science & Business Media Dordrecht.
- Hessel, R., van den Berg, J., Kaboré, O., van Kekem, A., Verzandvoort, S., Dipama, J.-M., & Diallo, B. (2009). Linking participatory and GIS-based land use planning methods: A case study from Burkina Faso. *Land Use Policy*, 26(4), 1162-1172. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.02.008>
- Hollis, M., Sugden, R. & Weale, A. (1985). Riddles of public choice. *Times Higher Educational Supplement*. Vol. 25, 15p.
- Hoobler, B. M., Vance, G. F., Hamerlinck, J. D., Munn, L. C., & Hayward, J. A. (2003). Applications of land evaluation and site assessment (LESA) and a geographic information system (GIS) in East Park County, Wyoming. *Journal of Soil and Water Conservation*, 58(2), 105-112. <http://www.amazon.com/Field-Methods-Remote-Sensing-Roger/dp/1593850794>
- Hwang, C. L. & Yoon, K. (1981) *Multi Attribute Decision Making*. SpringerVerlag. Nueva York.

- IGAC. (2010). definición de usos alternativos y sostenibles para la ocupación de las tierras a nivel nacional (Colombia) (Vol. 1). (IGAC, Ed.) Bogotá, D.C, Colombia: IGAC.
- Isermann, H. (1982). Linear lexicographic optimization. OR-Spektrum, Vol.4, 223-228
- ITT. (2013). ITT ENVI. Obtenido de ITT ENVI: www.ittvis.com
- Jози, S., & Ebadzadeh, F. (2013). Application of Multi-Criteria Decision-Making in Land Evaluation of Agricultural Land Use. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 1-9.
- Just, R. E. (1993). Discovering production and supply relationships: present status and future opportunities. Review of Marketing and Agricultural Economics, 61 (1): pp. 11-40.
- Karami, E. (2006). Appropriateness of farmers' adoption of irrigation methods: The application of the AHP model. Agricultural Systems, 87(1), 101-119. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2005.01.001>
- Karlen, D. y. Stott (1994). A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. Madison WI: Soil Science Society of America (SSSA).
- Kassam, A.H., van Velthuizen, H.T., Fischer, G.W. & Shah, M.M. (1991) Agroecological land resources assessment for agricultural development planning: A case study of Kenya; Resources database and land productivity. FAO and IIASA, Rome and Vienna.
- Keeney, R. & Raiffa, H. (1976). Decisions with multiple objectives: Preferences and value trade-offs. John Wiley y Sons, New York.
- Laya, D., Van Ranst, E., & Herrero, J. (1998). A modified parametric index to estimate yield potentials for irrigated alfalfa on soils with gypsum in Quinto (Aragón, Spain). 87(1-2), 111-122.
- Malczewski, J. (1999) GIS and multicriterial decisión análisis. John Wiley & Sons, Inc. 392 p.
- Martínez, L. J. (2006) Modelo para evaluar la calidad de las tierras: caso del cultivo de la papa. Agronomía Colombiana, 24 (1), 96-110.
- Martínez, A. (2007). Consideraciones técnicas para el establecimiento y manejo del cultivo de caucho (Hevea brasiliensis) en la Orinoquia colombiana. CORPOICA. Villavicencio, Colombia.
- Martínez, L.J, S. García, R. Sanabria. (2009) Zonificación de las especies pasifloráceas comerciales en Colombia, pp. 19-44. En: Miranda, D., G. Fischer, C.
- Martínez, L.J. y D. Vanegas (1997) Modelo de evaluación de tierras para el uso sostenible y la conservación. pp. 243-350. En: Saldarriaga, J. y T. van Der Hammen (eds.). Sistema de Información Geográfica para la Amazonia: el caso Guaviare. Tomo XIII. Bogotá.

- McCloy, K. 1995. Resource Management Information Systems: Remote Sensing, GIS and Modelling, Second Edition, CRC Press, 616 páginas.
- McPherson, D. & Bennett, D. (1979). Strengths and weaknesses of the systems approach in Land Use Planning- Recent Advances. University of Western Australia and Australian Institute of Agricultural Science: pp. 39-48
- Malgarejo, M., y Cardoso, C. (2012). Zonificación de Suelos con Riesgo de Erosión Hídrica Mediante Teledetección en el Distrito de Salto del Guaira. pp 8-9.
- Moreno Jiménez, J. M. (2002). El Proceso Analítico Jerárquico. Fundamentos, metodología y aplicaciones. Recta Monográfico, 1, 21-53.
- Mueller, E., J. Wainwright, A. J. Parsons, L. & Turnbull. 2014. Patterns of Land Degradation in Drylands: Understanding Self-Organised Ecogeomorphic Systems. Springer 388 pág.
- Munda, G. (2008). Social Multi-Criteria Evaluation for a Sustainable Economy: Springer Berlin Heidelberg.
- Muñoz, J., L. Martínez y G. Ligarreto. 2009. Caracterización de los ambientes agroecológicos de agraz o mortiño (*Vaccinium meridionale*) en la zona andina de Colombia. En Perspectivas del cultivo de agraz o mortiño (*Vaccinium meridionale Swartz*) en la zona altoandina de Colombia. Ed. Universidad Nacional de Colombia. 29-55p.
- Nekhay, O. (2008). Optimización Social del uso del territorio agrícola: El caso del olivar de Montoro (Córdoba, España). Tesis Doctoral, Departamento de Economía, sociología y política agraria. Universidad de Córdoba. 199p.
- Ordoñez, P.H. (2014) Curso de estadística II, Universidad Nacional de Colombia Disponible en: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4030006/index.html>
- Parra-López, C., Calatrava-Requena, J., & de-Haro-Giménez, T. (2008). A systemic comparative assessment of the multifunctional performance of alternative olive systems in Spain within an AHP-extended framework. *Ecological Economics*, 64(4), 820-834. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.05.004>
- Parra-López, C., Groot, J. C. J., Carmona-Torres, C., & Rossing, W. A. H. (2009). An integrated approach for ex-ante evaluation of public policies for sustainable agriculture at landscape level. *Land Use Policy*, 26(4), 1020-1030. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2008.12.006>
- Pérez, R., Lascano, C. (1992) Pasto Humidicola, Instituto Colombiano Agropecuario. 4 Villavicencio, Colombia.
- Pietersen, K. (2006). Multiple criteria decision analysis (MCDA): A tool to support sustainable management of groundwater resources in South Africa. *Water SA*, Vol. 32, pp. 119-128.

- Pineda, N., Jaimes, E. (2002). Aptitud física de tres clases de suelos a tres pastos en la planicie del río Motatán, estado Trujillo, Venezuela, Pagina 401, tomado de FAO ECOCROPO 1. versión 1.0. Environmental Requirements Database. software library. Roma Italia 1994
- PNECO, P. N. (2009). Informe Tecnico Unificado PNECO 1643. Buenos Aires: PNECO 1643.
- Prieto, C. Desarrollo de un Modelo Basado en Análisis Espacial Multicriterio para la Determinación de Unidades de Ordenación Forestal. Caso Departamento del Casanare. (2011). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía. Maestría en Geomática.
- Pushparajah, E. y Chew P.S. (1994). Integrated nutrient management for sustaining high yields of plantation crops. In: Integrated nutrient management for sustainable agriculture. Fertilizer Development and Consultation Organization, New Delhi, India. (In press).
- Rehman, T. & Romero, C. (2003). The application of the MCDM paradigm to the management of agricultural systems. *Agricultural Systems*, vol. 41, 239-255.
- Ritung, S., Wahyunto, Agus, F., Hidayat, H. (2007). Land Suitability Evaluation with a case map of Aceh Barat District. Indonesian Soil Research Institute and World Agroforestry Centre, Bogor, Indonesia
- Romero, C. & Rehman, T (2003) Multiple criteria analysis for agricultural decisions 2nd. ED. Development in Agricultural Economics 11, Amsterdam: Elsevier.
- Romero, C. (1993) Teoría de la decisión multicriterio: Conceptos, técnicas y aplicaciones. Madrid, Alianza Editorial.
- Rossiter, D. G. (1995). Economic land evaluation: why and how. 11(3), 132-140.
- Rossiter, D. G. (1996). A theoretical framework for land evaluation. *Geoderma*, 72(3-4), 165-190. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0016-7061\(96\)00031-6](http://dx.doi.org/10.1016/0016-7061(96)00031-6)
- Rossiter, D.G. (1990). ALES (Automated Land Evaluation System): a framework for land evaluation using a microcomputer. *Soil Use and Management* 6: 7-20. Doi: 10.1111/j.1475-2743.1990.tb00790.x
- Rossiter, D.G. 1994 Geographical Information Systems. Land Evaluation Course Notes Part 2. 28
- Roy, B.; Benayoun, R. & Sussman, B. (1966). ELECTRE: Une méthode pour guider le choix en présence de points de vue multiples. Note de Travail, 49. Paris: SEMA-METRA International, Direction Scientifique.
- Saaty, T.L (2005). Theory and applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Cost, and Risk. 3ered. Pittsburgh, RWS Publications.

- Saaty, T.L. (1980). The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. McGraw-Hill. 269 p.
- Saaty, T.L. (1994). Fundamentals of Decisions Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process. RWS Publications: Pittsburgh PA. 337 p.
- Samranpong, C., Ekasingh, B., & Ekasingh, M. (2009). Economic land evaluation for agricultural resource management in Northern Thailand. Environmental Modelling & Software, 24(12), 1381-1390. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2009.07.004>
- Sánchez, P. A., Palm, C. A., & Buol, S. W. (2003). Fertility capability soil classification: a tool to help assess soil quality in the tropics. The assessment of soil quality, 114(3-4), 157-185.
- Smyth, A.J. & Dumanski, J. (1995) A framework for evaluating sustainable land management. Canadian Journal of Soil Science 75: 401-406. Doi: dx.doi.org/10.4141/cjss95-059
- Storie, R. (1970). Manual de Evaluación de Suelos. UTEHA Ed. México, 225 pp.
- Swenson, J. J., Farley, K., Palacios, W., Lopez-Sandoval, M. F., et al. (1998). Estudio sobre Clasificación y Uso de Suelo; Región de Chocó, Ecuador. In Ecociencia (Ed.): Consolidación de la Tenencia de la Tierra. United Nations Development Programme.
- Terry S., & B. Sleeter. (2012) Role of Remote Sensing for Land-Use and Land-Cover Change Modeling. Chapter 15 En: Giri, C. 2012. Remote Sensing of Land Use and Land Cover: Principles and Applications. Taylor & Francis 469 pág.
- Tersteeg, J.L. (1994) CYSLAMB. Version 2.0. Project TCP/BOT/0-053. FAO/Ministry of Agriculture, Gaborone.
- Tsiligirides, T. A. (2008). Remote sensing as a tool for agricultural statistics: a case study of area frame sampling methodology in Hellas. Computers and Electronics in Agriculture, 45-77.
- Tsoumakas, G. & Vlahavas, I. (1999-9). ISLE: An Intelligent System for Land Evaluation. p.26-32 in: Proceedings ACAI'99 Workshop on Intelligent Techniques for Spatio-Temporal Data Analysis in Environmental Applications. Tomadodesde <http://www.nautilus-systems.com/datamine/msg00791.html>
- Turner, B.L. (1997) The sustainability principle in global agendas: implications for understanding land use/cover change. Geographical Journal 163: 133-140.
- Valencia, G., & Anaya, J. (2009). Implementación de la Metodología Corine Land Cover con Imágenes Ikonos. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 39-52.
- Van Wijngaarden, W. (1994). Elaboración de mapas y clasificación. I Taller de Cobertura Vegetal (págs. 9-22). Bogotá: Proyecto SIG PAFC-Universidad Javeriana.

Villanueva, A. J., Gómez-Limón, J. A., Arriaza, M., & Nekhay, O. (2014). Analysing the provision of agricultural public goods: The case of irrigated olive groves in Southern Spain. *Land Use Policy*, 38(0), 300-313. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.11.018>

Vivanco, M. 2005. *Muestreo estadístico, diseño y aplicaciones*, Ed. Universitaria, 143p

Von Neuman, J. & Morguenstern, O. (1944). *Theory of games and economic behaviour*. Princeton University Press, N.J.

Wan, N., Jiang, J., Ji, X., & Deng, J. (2009). Application of analytic hierarchy process-based model of Ratio of Comprehensive Cost to Comprehensive Profit (RCCCP) in pest management. *Ecological Economics*, 68(3), 888-895. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.07.021>

Wear, D.N. & Bolstad, P. (1998). Land-use changes in southern Appalachian landscapes: spatial analysis and forecast evaluation. *Ecosystems* 1: 575–594.

Zeleny, M. (1982). *Multiple Criteria Decision Making*. McGraw Hill. Nueva York.

ANEXO 1. PROCEDIMIENTO PARA CARTOGRAFIAR USOS ACTUALES DE LA TIERRA

Trabajo preliminar

Se realizó la búsqueda de la información que serviría como insumo para realizar la interpretación de los usos actuales y coberturas.

A. Imágenes de satélite

La selección de las imágenes se realizó de acuerdo a los requerimientos del proyecto, disposición, costos, cubrimiento, etc.

Resolución espacial máxima en metros de acuerdo a la escala y con una baja cobertura de nubes.

Tabla 1. Resolución espacial que se debe utilizar

ResoluciónEspacial	Escala de Trabajo
10 metros	1:25.000
15 metros	1:50.000
30 metros	1:100.000
80 metros	1:250.000
150 metros	1:500.000

Fuente: www.gsp-peru.com

Codificación: Cada imagen de satélite posee una codificación que depende del tipo de sensor la cual proporciona información importante para su reconocimiento y clasificación, a continuación se relacionan algunas de las imágenes utilizadas en este proyecto:

Imagen Landsat:

Ejemplo: Ls8ppprrrYYYYDDDGGGVV_FT.ext

Dónde:

- <L> Nombre de misión: Landsat
- <s> Tipo de Sensor: O = OLI, T = TIRS, C = Combinado
- <TIRS y OLI> Indica con que sensor se tomaron los datos para este producto
- <8> Numero de misión Landsat
- <ppp> Localización de la órbita satelital en referencia global al path del producto.
- <rrr> Localización de la órbita satelital en referencia global al row del producto.
- <YYYY> Año de adquisición de la imagen
- <DDD> Día del año de adquisición
- <GGG> ID de la estación terrena
- <VV> Versión
- <_FT> Tipo de archivo, donde FT es igual a uno de los siguientes: número de archivos por banda de la imagen (B1–B11), MTL (Archivo de metadato), BQA (Archivo de calidad de banda), MD5 (Archivo de chequeo o checksum file)
- <.ext> Extensión del archivo, donde .TIF equivale a archivos de extensión GeoTIFF, y .txt a extensión de texto.

Imagen RapidEye:

Ejemplo: 2008-10-26T012345_RE3_3B-NAC_0123456789_9876543210.tif

Donde,

<acquisition time> 2008-10-26 (fecha) T012345 (hora en UTC)
<Satellite> RE3
<Product ID><processing level>
<-productdescription> 3B (nivel de procesamiento) -NAC (descripción del producto)
<RE catalog ID> 0123456789
<Order number> 9876543210
<File type> none of 3B GeoTIFF images
<File extension>tif (GeoTIFF 6.0)

B. Datos auxiliares

- Fotografías aéreas de fechas cercanas a la imagen de satélite fuente de la interpretación.
- Cartografía básica en formato digital de fuentes conocidas.
- Modelo digital de elevación (MDE) resolución 30m.

Procesamiento digital de imágenes

C. Corrección geométrica

Este proceso se realizó con el objetivo de eliminar las distorsiones horizontales y verticales de las imágenes principalmente ocasionadas por el relieve. Como insumo se tienen la imagen cruda, una imagen de referencia y un modelo digital de elevación (DEM) de alta resolución y precisión con un sistema de referencia compatible con el Sistema Nacional, además con un cubrimiento total del área de la imagen a corregir.

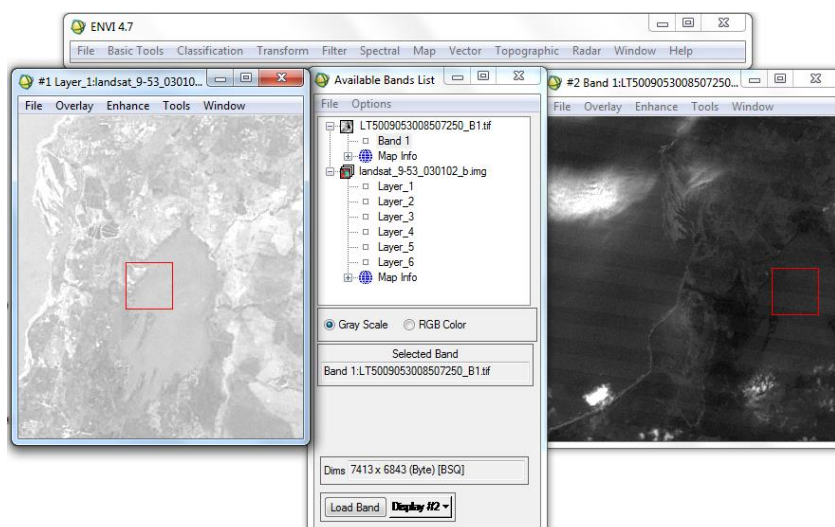
Hay dos formas de realizar este tipo de corrección, la primera es la ortorectificación la cual corrige el desplazamiento debido al terreno y que se puede usar si existe un DEM del área de estudio, usando GCPs (puntos de control terrestre) en 3D, cabe aclarar que este tipo de corrección no es necesaria en áreas relativamente planas, por este motivo se decidió hacer una georreferenciación donde se asignó un sistema de referencia (coordenadas terreno) a la imagen digital que se encuentra en coordenada píxel (filas y columnas).

Existen diferentes programas utilizados para generar la ortorectificación o georreferenciación por ejemplo ERDAS, PCI Geomatica, IDRISI, entre otros. Para el análisis de la zona de estudio se decidió utilizar el software ENVI ya que ofrece diferentes caminos para realizar el proceso tanto de georreferenciación (image to image, image to map, Using Input Geometry) como para ortorectificación (Build Interior Orientation, Build Exterior Orientation, using a Digital Elevation Model).

D. Georreferenciación imagen a imagen

Inicialmente se abren las dos imágenes, la de referencia y la que será georreferenciada display 1 y 2 respectivamente.

Figura 1. Módulo de Georreferenciación "Image to Image"



Luego en el menú principal se busca "Map>Registration>SelectGCPs: Image to Image", donde aparece una ventana donde se selecciona en "Base Image" la imagen georreferenciada y en "WarpImage" la imagen a georeferenciar y se da "OK", esto abre otra venta para introducir los puntos de control.

Figura 2. Selección del método de georreferenciación

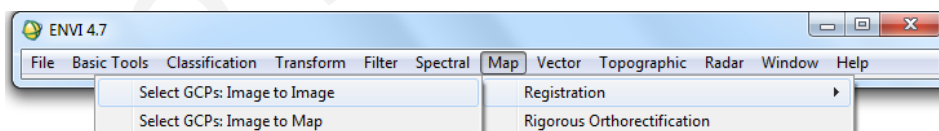
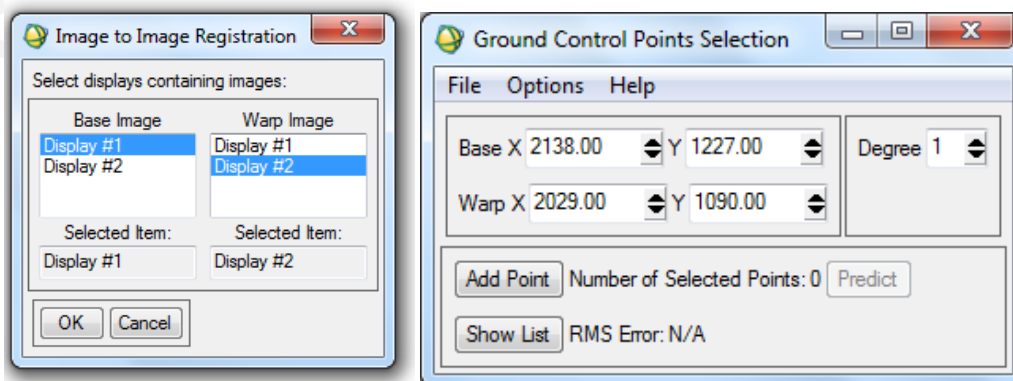
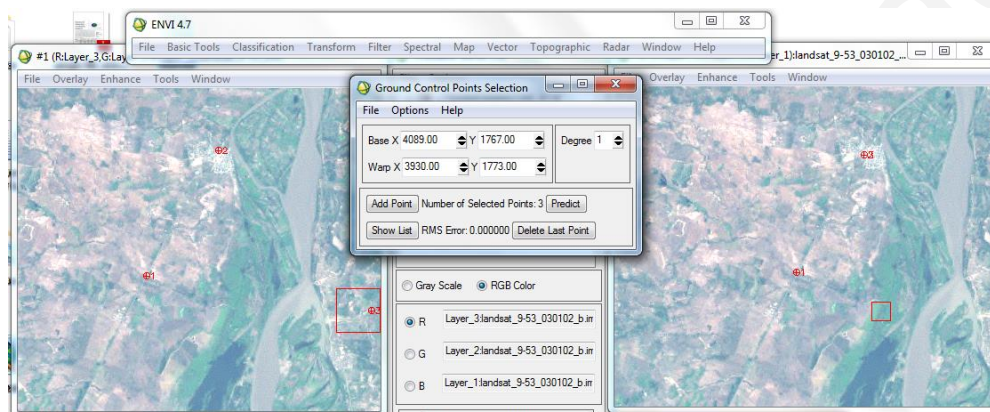


Figura 3. Asignación de puntos de control



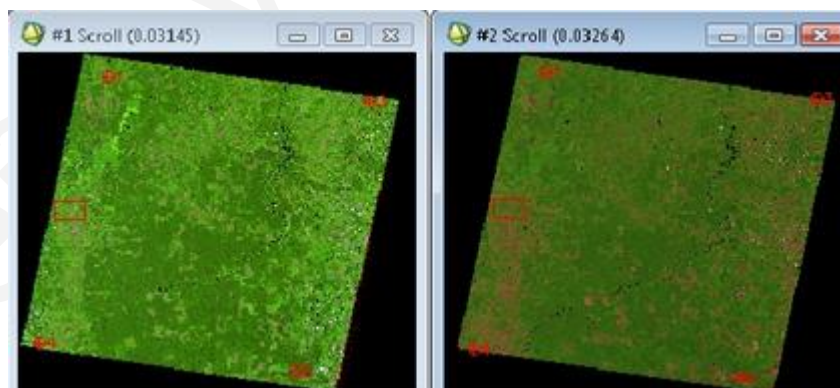
Ahora se introducen los puntos de control, después de encontrar puntos similares en las imágenes, se hace clic en "Add Point" y se pasa al siguiente punto, y así se recorre toda la imagen en busca de puntos similares.

Figura 4. Puntos de Control GCP



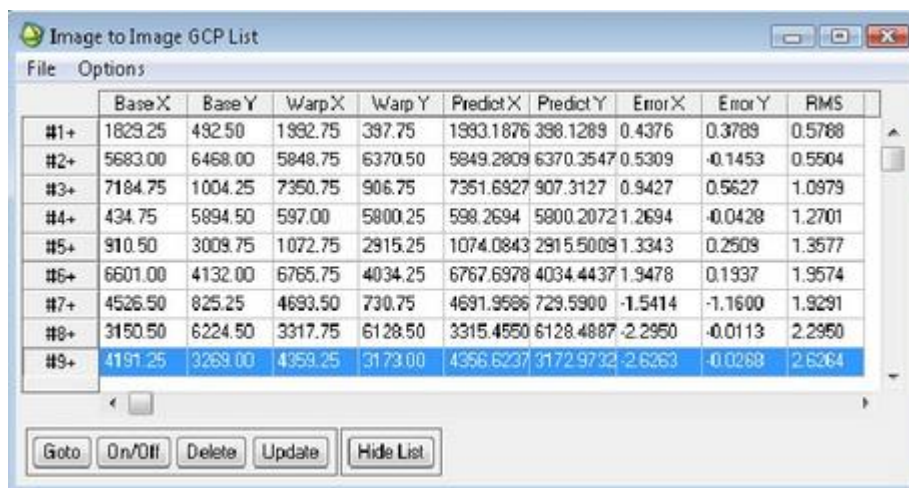
A partir del tercer punto se puede activar el modo "Predict", que hace que cuando se registre otro punto, automáticamente se localice un punto en la imagen de referencia, si se ubica correctamente se hace clic en "Predict"

Figura 5. Ubicación de puntos automáticamente



Es recomendable hacer al menos 25 puntos bien distribuidos en la imagen, para evaluar el error de los puntos de control se abre la tabla o lista GCP "Show list" donde se encuentran todos los puntos de control y de referencia con su respectivo valor de Error.

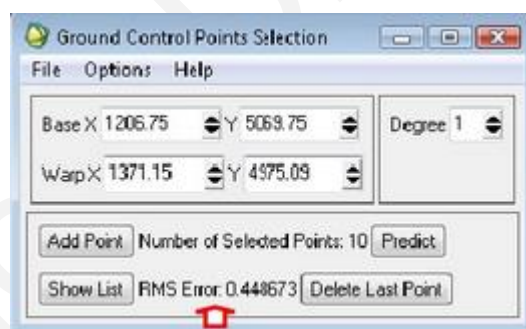
Figura 6. Listado de puntos ubicados para la georreferenciación



	Base X	Base Y	Warp X	Warp Y	Predict X	Predict Y	Error X	Error Y	RMS
#1+	1823.25	492.50	1992.75	397.75	1993.1876	398.1289	0.4376	0.3789	0.5768
#2+	5683.00	6468.00	5848.75	6370.50	5849.2809	6370.3547	0.5309	-0.1453	0.5504
#3+	7184.75	1004.25	7350.75	906.75	7351.6927	907.3127	0.9427	0.5627	1.0979
#4+	434.75	5894.50	597.00	5800.25	598.2694	5800.2072	1.2694	-0.0428	1.2701
#5+	910.50	3009.75	1072.75	2915.25	1074.0843	2915.5009	1.3343	0.2509	1.3577
#6+	6601.00	4132.00	6765.75	4034.25	6767.6978	4034.4437	1.9478	0.1937	1.9574
#7+	4526.50	825.25	4693.50	730.75	4691.9586	729.5900	-1.5414	-1.1600	1.9291
#8+	3150.50	6224.50	3317.75	6128.50	3315.4550	6128.4887	-2.2950	-0.0113	2.2950
#9+	4191.25	3269.00	4359.25	3173.00	4356.6237	3172.9732	-2.6263	-0.0268	2.6264

Se debe obtener un error total inferior a 1

Figura 7. Calculo del Error Medio Cuadrático



Ground Control Points Selection

File Options Help

Base X: 1206.75 Y: 5069.75 Degree: 1

Warp X: 1371.15 Y: 4575.09

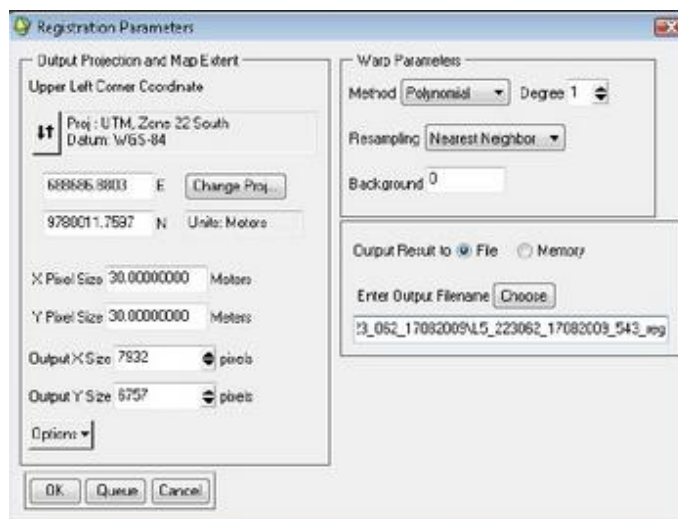
Add Point Number of Selected Points: 10 Predict

Show List RMS Error: 0.448673 Delete Last Point

Después de realizar el proceso, se guardan los puntos "File > SaveGCPsto ASCII" en el cuadro "Ground Control Points Selection"

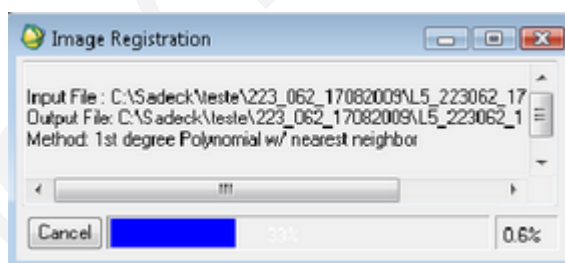
Para ejecutar el registro en la misma ventana en "Options > Warp File (as Image to Map)" La primera casilla, se selecciona la imagen que se registrará (a georeferenciar) y se da clic en "OK". En el segundo cuadro, se escriben los parámetros correctos de la imagen dependiendo de la información fuente de la imagen, si los datos se despliegan incorrectamente se cambian con los verdaderos parámetros de la imagen de referencia.

Figura 828. Parámetros de la corrección geométrica



Se comprueba el tamaño de píxeles, número de filas y columnas, polynomial, background., se introduce un nombre de salida y clic en "OK", el proceso se iniciará y al finalizar la nueva imagen es desplegada en la "AvailableBandsList".

Figura 929. Finalización del proceso de georreferenciación



Por último se guardó la imagen en el formato deseado "File >Save File As"

E. Corrección atmosférica

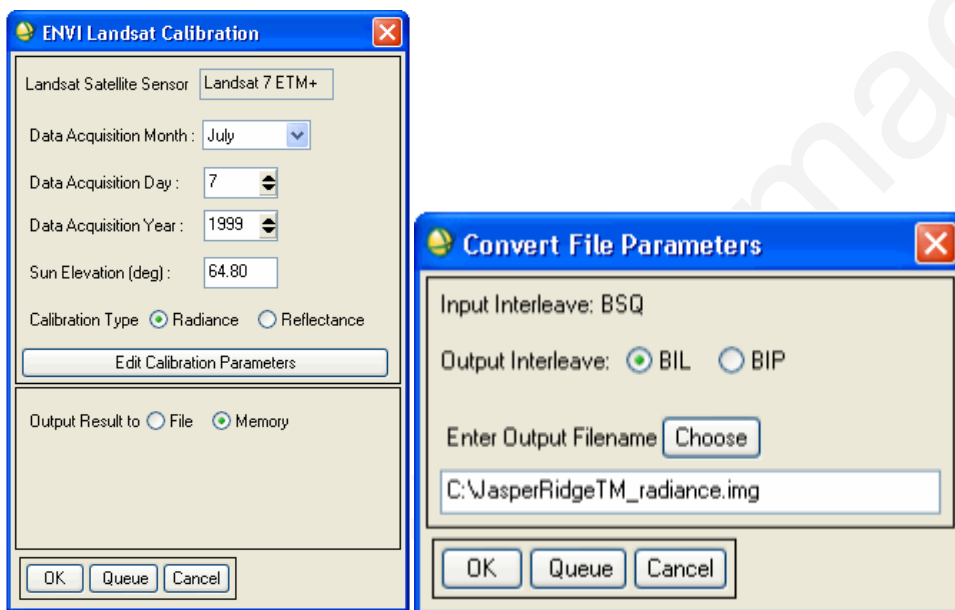
Una vez obtenidas las imágenes corregidas geométricamente, se analizaron con el fin de decidir si era necesario realizar correcciones atmosféricas.

En este caso se realizó la corrección atmosférica con el software ENVI con el módulo FLAASH eliminando así, los efectos atmosféricos.

Antes de empezar la imagen de entrada para FLAASH debe ser una imagen de radiación en la banda intercalada por línea (BIL) o de banda intercalada por píxel formato (BIP). Si la imagen no cumple con este criterio, se utilice la "Calibración Radiométrica". Esto crea una imagen de luminosidad adecuado para FLAASH con las siguientes propiedades: BIL intercalación, tipo de

datos de punto flotante, y un factor de escala de 0.1, además se debe excluir las bandas térmicas de procesamiento

Figura 1030. Calibración Radiométrica

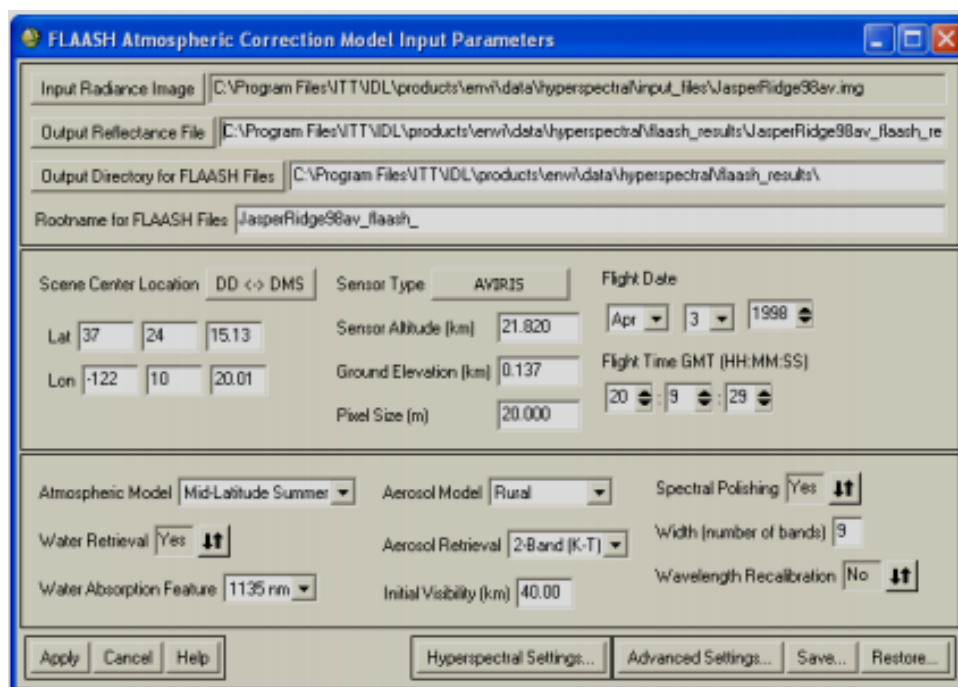


Desde el cuadro de herramientas, seleccione "RadiometricCorrection>AtmosphericCorrection Module > FLAASH AtmosphericCorrection" donde Aparecerá el cuadro de diálogo "Module Input Parameters" de la Corrección atmosférica FLAASH.

Se hace clic en "Input RadianceImage". donde se selecciona la imagen de entrada.

El cuadro de diálogo Parámetros FLAASH se llena con nombres de archivo predeterminados y los directorios de los archivos de salida generados por FLAASH. Estos términos se pueden cambiar haciendo clic en los botones correspondientes.

Figura 11. Parámetros para realizar la corrección atmosférica



El siguiente es un resumen de los archivos de salida que FLAASH creará al hacer clic en "Aplicar" en el cuadro de diálogo Parámetros FLAASH:

- **Reflectancia de la superficie:** Esta es la imagen de reflectancia atmosféricamente corregida
- **El vapor de agua:** FLAASH crea una imagen de la columna de vapor de agua en unidades de (atm • cm)
- **Mapa de Cloud:** FLAASH crea una imagen de mapa de clasificación de nubes con el nombre "cloudmask". Las determinaciones de nubes se utilizan durante el procesamiento para refinar la estimación.
- **Archivo de registro:** Este es un archivo ASCII que contiene una descripción detallada de la tramitación.
- **Archivo FLAASH plantilla (opcional):** un archivo de plantilla se guarda automáticamente en el directorio de salida FLAASH.

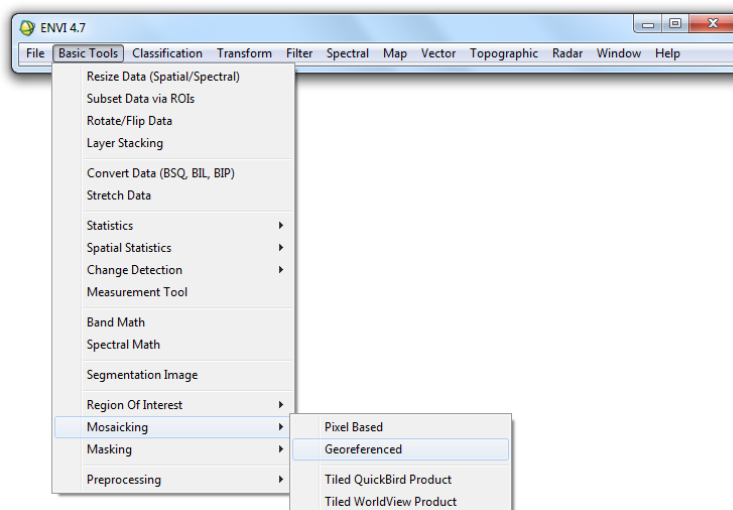
F. Construcción de mosaicos

De las zonas de interés garantizando la continuidad de las coberturas presentes entre escenas contiguas. En este proceso se tiene como insumo las imágenes satelitales corregidas que darán como producto un mosaico de imágenes satelitales.

El mosaico se genera procurando obtener la mejor calidad y cantidad de información de las imágenes satelitales, es decir se realiza el mosaico de las imágenes garantizando que contengan la menor cantidad de nubes. Para este caso se empleará el software ENVI

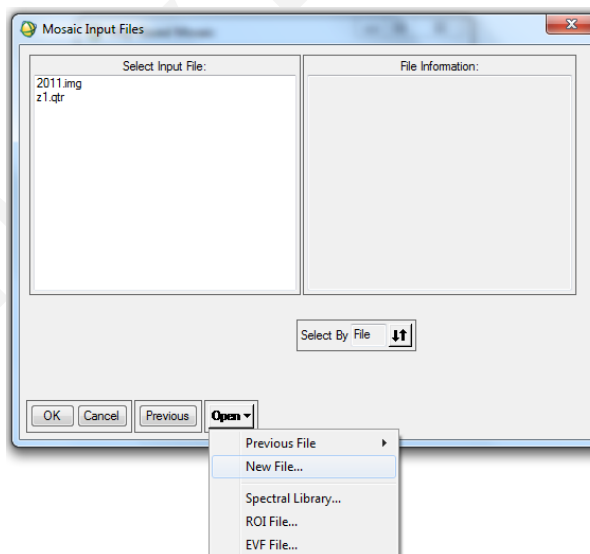
En la barra de menu "Basic tool/Mosaiking/Georeferenced" se abre el cuadro "MapBasedMosaic."

Figura 12. Construcción de mosaicos



Luego se busca la ventana "MapBasedMosaic/Import/Import file", y se da clic en "New File" donde se cargan los archivos insumo para realizar el mosaico respectivo.

Figura 13. Importación de archivos insumo para el mosaico en ENVI

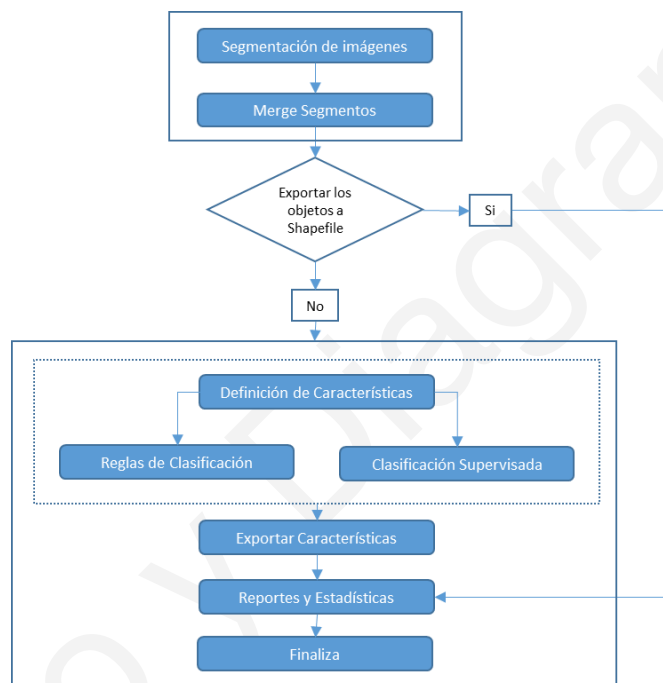


Por último se visualizan los resultados con el fin de hacer un control de calidad en pantalla.

Interpretación

El procedimiento utilizado para la clasificación de imágenes es el de segmentación en el cual se agrupan píxeles contiguos que tienen características espectrales semejantes. Este se realiza empleando el software ENVI pero podría realizarse con ECOGNITION ó cualquier otro software siempre y cuando pueda cumplir con un estándar de calidad.

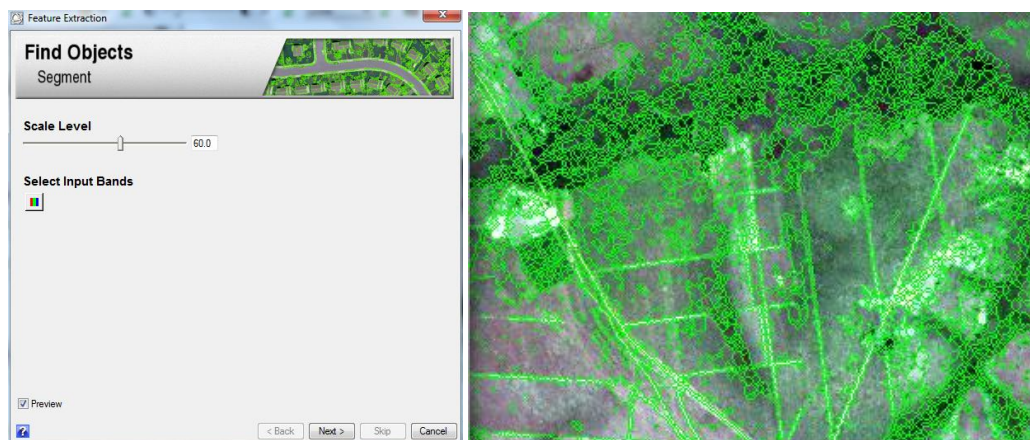
Figura 14. Esquema Segmentación de imágenes en ENVI



Se propone realizar la segmentación por subregiones para poder obtener mejores resultados utilizando el modulo “*FeaturesExtraction*” de ENVI ZOOM con las siguientes operaciones:

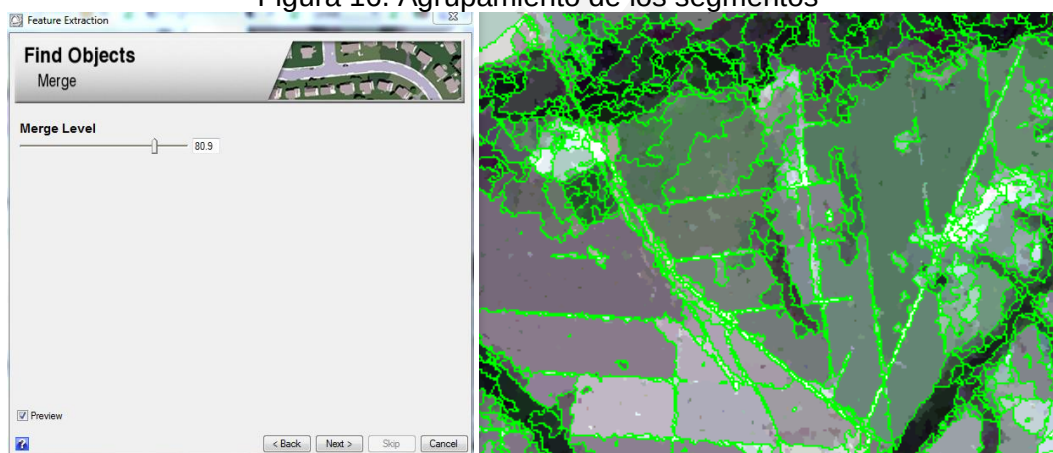
- Se determina el umbral más adecuado para la identificación de objetos.

Figura 15. Segmento inicial de la Imagen



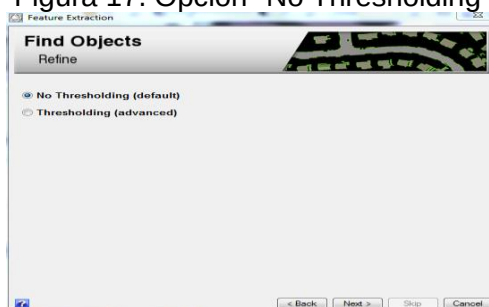
- Luego se agrupamiento de los segmentos

Figura 16. Agrupamiento de los segmentos



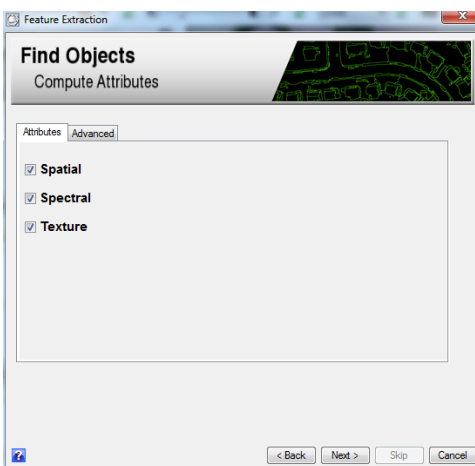
- Se elige la opción "No Thresholding" que aparece por defecto si no se requiere una máscara para el procesamiento.

Figura 17. Opcion "No Thresholding"



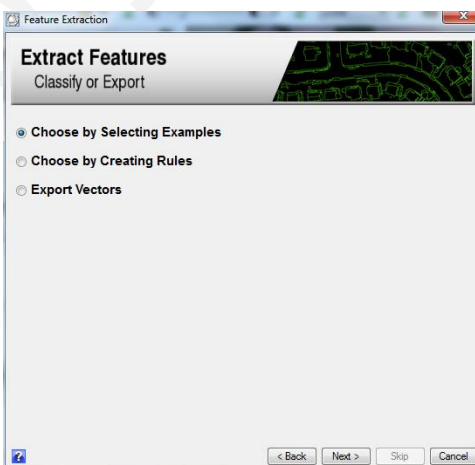
- Para generar las diferentes reglas de clasificación de las coberturas, ENVI calcula los atributos espaciales, espectrales y de textura dependiendo de las características de cada cobertura.

Figura 18. Atributos para la clasificación



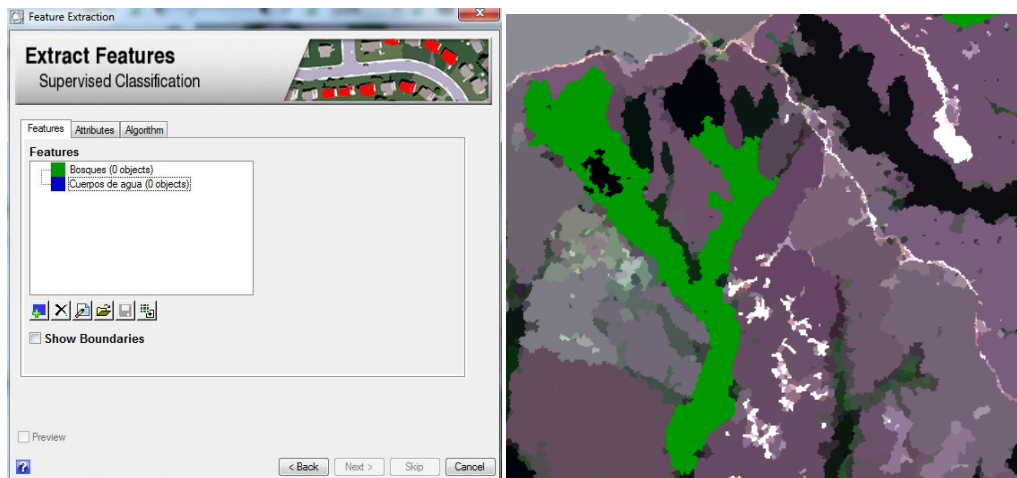
- Para realizar la clasificación de coberturas se emplean los siguientes métodos:
 - * Selección de ejemplos
 - * Creación de reglas
 - * Exportar vectores

Figura 19 Selección por ejemplos



- En el primero (Selección de ejemplos) se toman muestras en la imagen y se asigna un nombre a cada cobertura

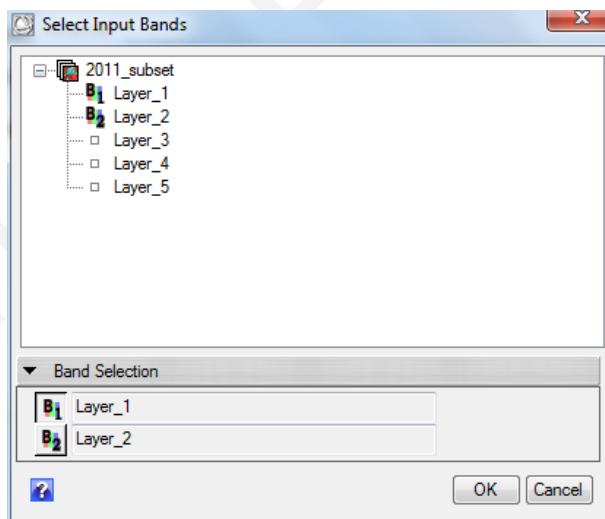
Figura 20. Clasificación por objetos



- El segundo (Creación de reglas) método a utilizar es por construcción de reglas, el cual permite realizar la clasificación por medio de las características específicas.

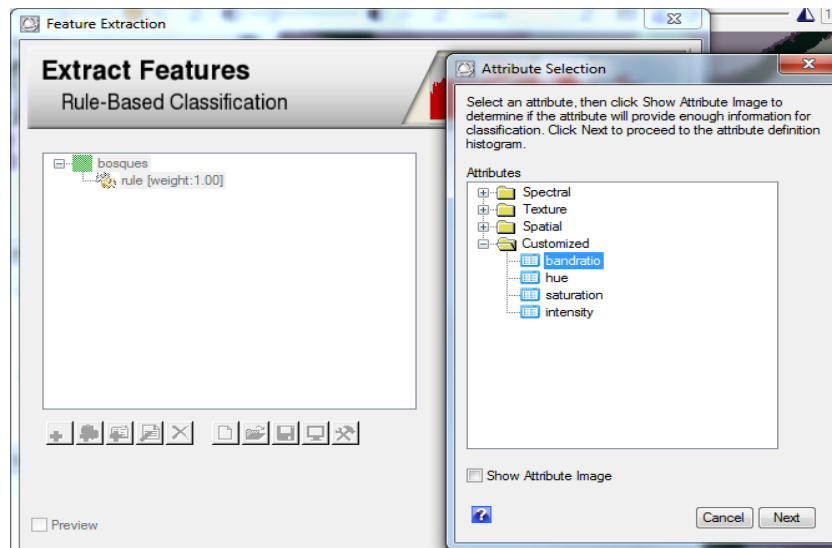
Un ejemplo de una de las reglas utilizadas es el NDVI $(B2 - B1) / (B2 + B1 + eps)$

Figura 21. Calculo de NDVI



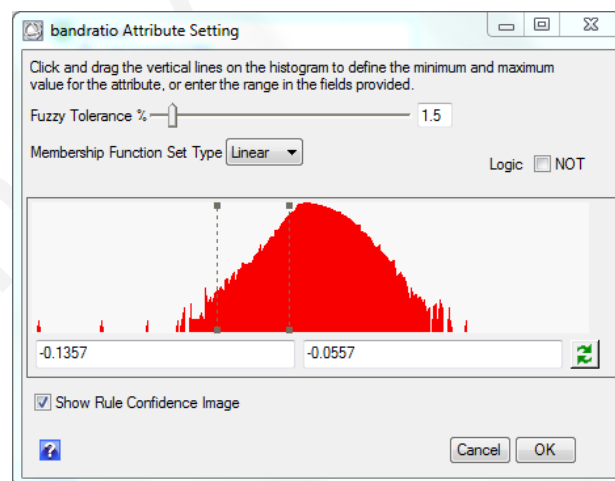
- Selección de reglas para cada clase

Figura 2231. Reglas para la clasificación



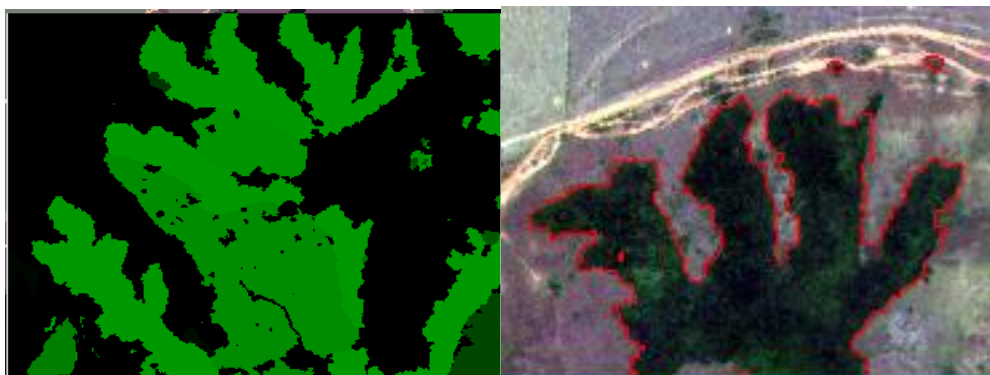
- Por medio de histogramas se muestra la frecuencia de los valores espectrales para cada segmento en la imagen.

Figura 23. Histograma de frecuencia



- Otro ejemplo de atributos utilizados para la clasificación será la textura de tal manera que permita discriminar suelo y vegetación. se puede encontrar en "TexureRange", de textura media, textura Varianza, y textura Entropía son los cuatro atributos de textura que se calculan para todas las bandas en la imagen.
- Resultados de la clasificación de bosques utilizando el cálculo del NDVI y textura.

Figura 24. Resultado clasificación por reglas



Los segmentos generados en el paso anterior se seleccionan para constituir las áreas de entrenamiento a las cuales se asignan códigos de la leyenda Corine Land Cover modificada que representan a las clases que se encuentran en el área piloto, las cuales se separan en tres tipos:

Tipo 1. Áreas de entrenamiento, aquellas áreas que representan clases significativas en la escena y que la segmentación reconoció correctamente. Estas áreas se emplean luego para seleccionar los segmentos que se emplearán para efectuar la clasificación supervisada.

Tipo 2. Áreas de asignación manual, son aquellas en donde la segmentación se muestra consistente, pero que engloban polígonos que son apartados del proceso de clasificación automática, debido a que no se ajustan o causan confusiones (es decir, que la determinación de estas clases será manual y no a través del sistema de clasificación supervisada). En este caso, los segmentos no entran a la clasificación semiautomática y al final de dicha clasificación, la clase asignada manualmente prevalece sobre la clasificación semiautomática.

Tipo 3. Áreas de superposición, aquellas áreas que la segmentación no reconoció adecuadamente y que el intérprete dibuja manualmente.

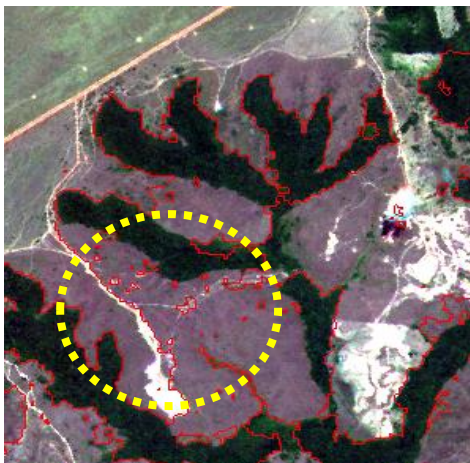
Finalmente el resultado de esta clasificación por objetos es exportado a formato vector (shapefile) para ser editado visualmente corrigiendo los polígonos que presenten confusiones de clases.

Edición cartográfica

G. Ajuste de la interpretación

La segmentación automática produce límites que no siempre dividieron bien las clases, también se presentan errores en la asignación de clases, así como clases iguales que son separadas. Todos estos problemas se editan manualmente en el software ArcGis

Figura 25. Errores en la Segmentación



Se procede a redibujar las clases visualmente donde no tiene en cuenta los valores de reflectancia de la imagen de manera intrínseca, por lo cual el color es sólo una de las variables utilizadas al momento de interpretar entre otras, como la textura, la forma, la asociación, el tamaño y el contexto.

H. Limpieza y generalización

Concluido el proceso de clasificación, se inicia un proceso de limpieza basado en la identificación de las unidades mínimas que deben ser borradas, para lo cual se siguen las reglas de generalización del método de CorineLandCover adaptado para Colombia (IDEAM, IGAC, y CORMAGDALENA 2008), con el fin de garantizar que el mapa producido cumpla los criterios de unidad mínima de mapeo.

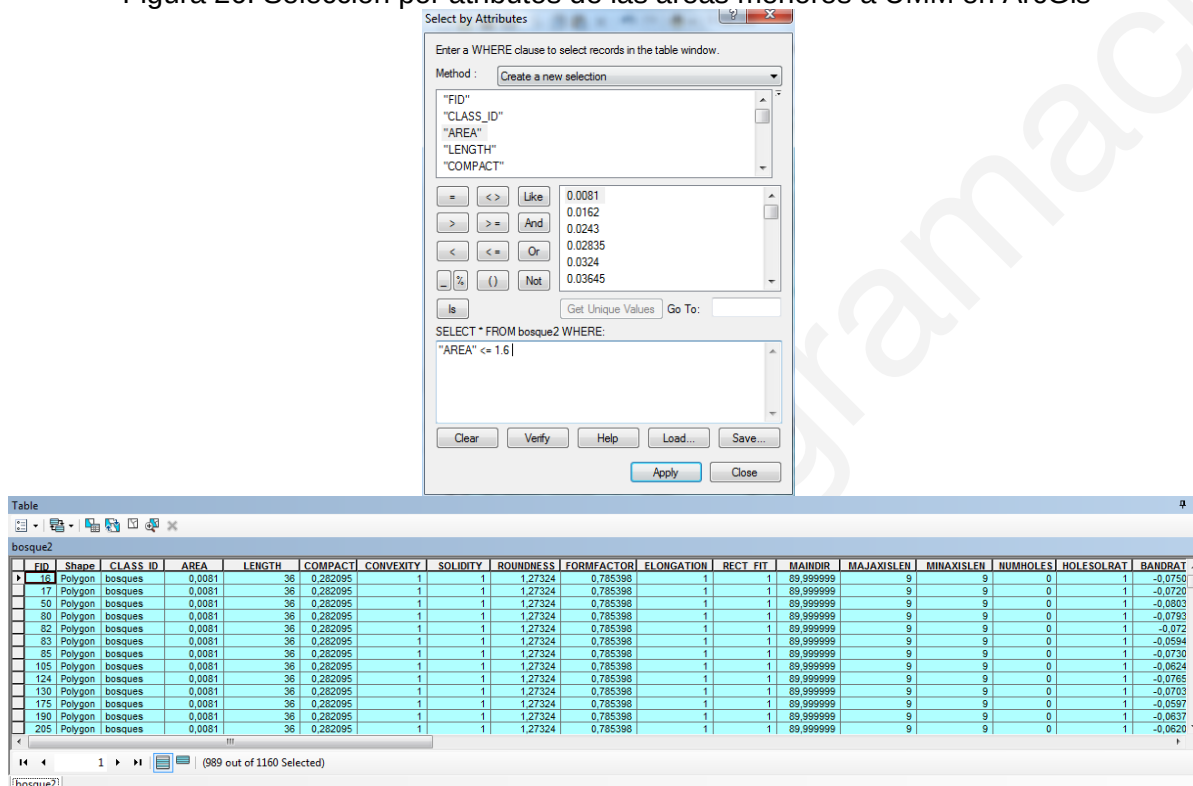
Tabla 2. Valores de área para unidades mínimas de mapeo de acuerdo a formato IGAC Colombia.

Escala de Trabajo	UnidadMínima Mapeo (Ha)
1 : 500.000	625
1 : 250.000	156
1 : 100.000	25
1 : 50.000	6.25
1 : 25.000	1.5625
1 : 10.000	0.25
1 : 5.000	0.0625

- Este proceso se realiza empleando el software ArcGis donde se seleccionan los polígonos con la opción "SelectbyAttributes" y mediante la herramienta "Eliminate" se asignan a la clase contigua de mayor área los polígonos menores o iguales a la unidad

mínima de mapeo. Posteriormente, se utiliza la herramienta "Dissolve" que agrupa a los polígonos de la misma clase.

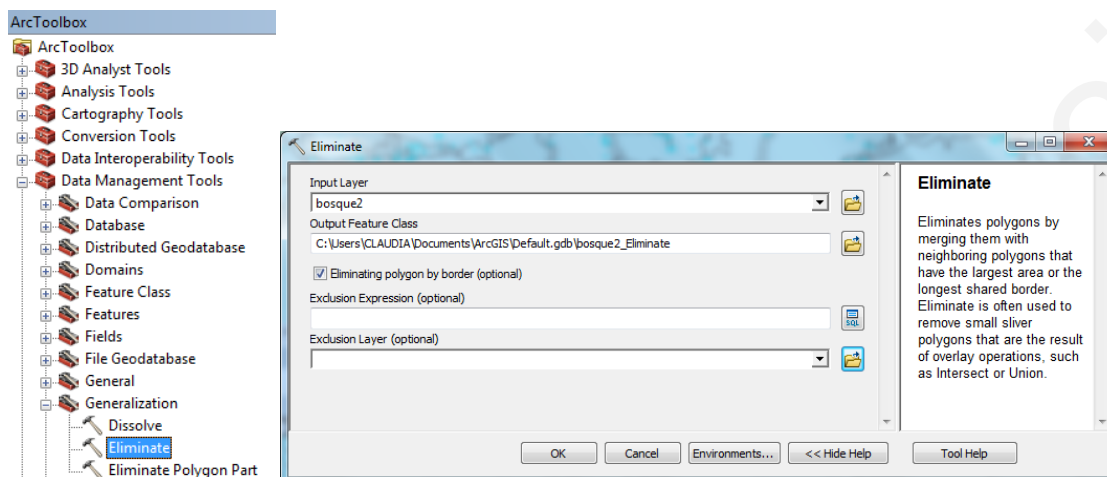
Figura 26. Selección por atributos de las áreas menores a UMM en ArcGis



The image shows the 'Select by Attributes' dialog box in ArcGIS. The 'Method' is set to 'Create a new selection'. The 'Where' clause is entered as 'AREA <= 1.6'. The 'Table' view below shows the results of the selection, displaying a table with columns: FID, Shape, CLASS_ID, AREA, LENGTH, COMPACT, CONVEXITY, SOLIDITY, ROUNDNESS, FORMFACTOR, ELONGATION, RECT_FIT, MAINDIR, MAJAXISLEN, MINAXISLEN, NUMHOLES, HOLESOLBAT, and BANDORAT. The table contains 11 rows of data, all of which are highlighted in blue, indicating they are selected. The status bar at the bottom indicates '1 (989 out of 1160 Selected)'.

FID	Shape	CLASS_ID	AREA	LENGTH	COMPACT	CONVEXITY	SOLIDITY	ROUNDNESS	FORMFACTOR	ELONGATION	RECT_FIT	MAINDIR	MAJAXISLEN	MINAXISLEN	NUMHOLES	HOLESOLBAT	BANDORAT
16	Polygon	bosques	0.0081	36	0.282095	1	1	1.27324	0.785398	1	1	89.999999	9	9	0	1	-0.0750
17	Polygon	bosques	0.0081	36	0.282095	1	1	1.27324	0.785398	1	1	89.999999	9	9	0	1	-0.0720
50	Polygon	bosques	0.0081	36	0.282095	1	1	1.27324	0.785398	1	1	89.999999	9	9	0	1	-0.0803
80	Polygon	bosques	0.0081	36	0.282095	1	1	1.27324	0.785398	1	1	89.999999	9	9	0	1	-0.0793
82	Polygon	bosques	0.0081	36	0.282095	1	1	1.27324	0.785398	1	1	89.999999	9	9	0	1	-0.072
83	Polygon	bosques	0.0081	36	0.282095	1	1	1.27324	0.785398	1	1	89.999999	9	9	0	1	-0.0594
85	Polygon	bosques	0.0081	36	0.282095	1	1	1.27324	0.785398	1	1	89.999999	9	9	0	1	-0.0730
105	Polygon	bosques	0.0081	36	0.282095	1	1	1.27324	0.785398	1	1	89.999999	9	9	0	1	-0.0624
124	Polygon	bosques	0.0081	36	0.282095	1	1	1.27324	0.785398	1	1	89.999999	9	9	0	1	-0.0765
130	Polygon	bosques	0.0081	36	0.282095	1	1	1.27324	0.785398	1	1	89.999999	9	9	0	1	-0.0703
175	Polygon	bosques	0.0081	36	0.282095	1	1	1.27324	0.785398	1	1	89.999999	9	9	0	1	-0.0597
190	Polygon	bosques	0.0081	36	0.282095	1	1	1.27324	0.785398	1	1	89.999999	9	9	0	1	-0.0637
205	Polygon	bosques	0.0081	36	0.282095	1	1	1.27324	0.785398	1	1	89.999999	9	9	0	1	-0.0620

Figura 27. Herramienta Eliminate de ArcGis



I. Suavizado

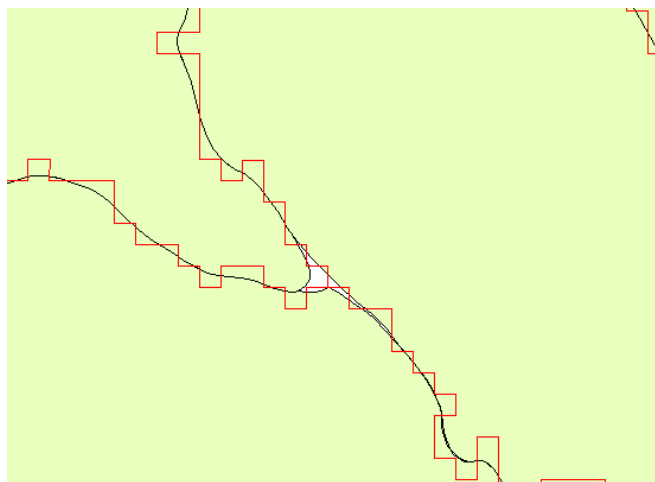
Para mejorar la apariencia visual del resultado se suavizan automáticamente los polígonos. Así ángulos agudos en líneas y polígonos serán suavizados. Para ello, se usa la herramienta "Smooth" del software ArcGis con la opción polígono y con el método PAEK (Aproximación polinomial con núcleo exponencial) y con una tolerancia (*SmoothingTolerance*).

Figura 28. "Suavizado" de polígonos



Al realizar el "Smooth" se deberá tener cuidado con los problemas que se puedan producir como errores topológicos, cruces de línea, aparición de "huecos" (gaps) entre polígonos.

Figura 29. Aparición de huecos como producto del suavizado

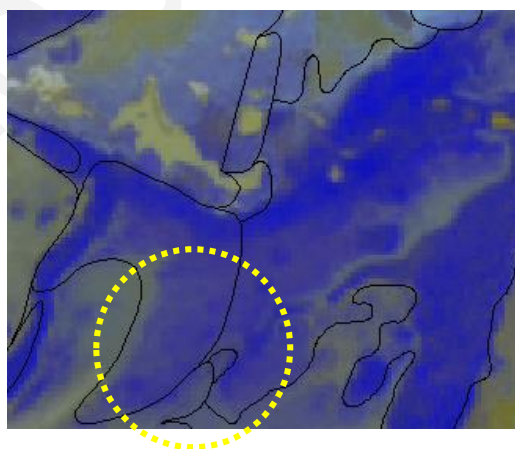


Para resolver este problema, los "huecos" serán unidos a un polígono del tamaño del área, así los polígonos correspondientes a los "huecos" adquirirán una clase temporal, que posteriormente se eliminarán con la función "Eliminate" mencionada anteriormente.

J. Empalmes

Ese proceso se hará clase por clase, de esta manera se revisarán las incoherencias que hubiesen podido existir, mediante la herramienta "Union" de ArcGis.

Figura 30. Corrección de empalmes



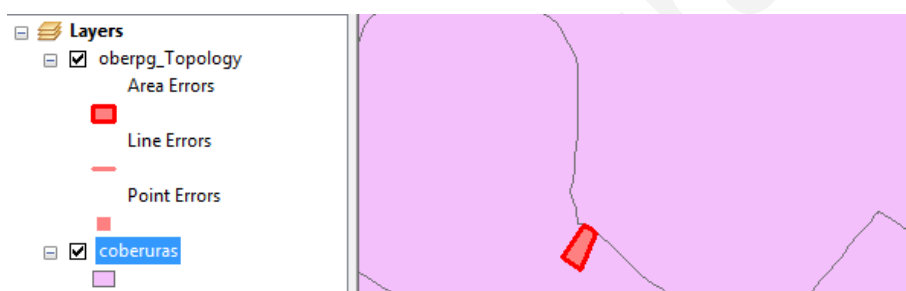
El punto de atención son las zonas de intersección de imágenes. Para realizar este proceso se usa la herramienta "Dissolve" de ArcGis, para que la visibilidad de los empalmes mejore y disminuya el número de polígonos a trabajar.

K. Conformidad topográfica

Se realiza al inicio y al final del proceso de producción cartográfica, donde se corrige:

- Control de vacíos de información. Se descarta la existencia de zonas internas a la capa en la que no exista información gráfica y temática alguna.
- Control de duplicados de información: Ningún polígono contenga solapes con otras polígonos, la información en cada uno de ellos será unívoca.
- Control de nodos desconectados. Todos los polígonos deberán estar cerrados sin que existan tramos o vectores desconectados.

Figura 31. Ejemplo de posibles errores topológicos



ANEXO 2. GUIA PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN PARA SELECCIÓN DE LOS TUT

- Ver archivo de hipervínculo [Final 25.000\Anexo 2.Guía recoleccion información para selección TUTs.xlsx](#)

ANEXO 3. PROTOCOLOS GENERALES

- Protocolo de identificación de actores clave. Ver Anexo 3A del hipervínculo [Final 25.000\Anexo 3A. Identificación de actores clave.docx](#)
- Protocolo Cartografía social. Ver Anexo 3B del hipervínculo [Final 25.000\Anexo 3B.Taller Cartografia social.docx](#)
- Protocolo taller de prospectiva estratégica. Ver Anexo 3C del hipervínculo [Final 25.000\Anexo 3C. Protocolo taller prospectiva \(2\).docx](#)
- Protocolo consulta a expertos. Ver Anexo 3D del hipervínculo [Final 25.000\Anexo 3D.Protocolo Consulta a Expertos \(1\).docx](#)

ANEXO 4. ENCUESTAS E INFORMACIÓN DE SOPORTE PARA EVALUACIÓN EN EL MODELO JERÁRQUICO

- Encuesta recolección información primaria. Ver Anexo 4A del hipervínculo [Final 25.000\Anexo 4A Encuesta de información primaria.xlsx](#)
- Cuestionario consulta a expertos. Ver Anexo 4B del hipervínculo [Final 25.000\Anexo 4B.Cuestionario de consulta a expertos.docx](#)
- Glosario herramienta para consulta a expertos. Ver Anexo 4C del hipervínculo [Final 25.000\Anexo 4C. Glosario elementos del modelo AHP para la evaluación de tierras.docx](#)

ANEXO 5. FORMATOS ANALISIS PESTA

- Formatos para análisis PESTA. Ver Anexo 5A del hipervínculo [Final 25.000\Anexo 5A. Formatos analisis PESTA.docx](#)
- Matriz de análisis de resultados PESTA. Ver Anexo 5B del hipervínculo [Final 25.000\Anexo 5B. Hoja de cálculo PESTA, IGO y Escenarios.xlsx](#)

ANEXO 6. DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS TECNOLOGICAS DE LOS TIPOS DE UTILIZACIÓN (TUT)

Caso Pastos

ALTERNATIVA A

Presencia de asistencia técnica, existencia de suficientes recursos de capital e insumos. Producción de biomasa y capacidad de carga por unidad de área que pueden ser iguales o superiores al promedio de la región. Además presenta una innovación en cualquier etapa del proceso productivo con el fin de optimizar la equidad, la rentabilidad y sustentabilidad



Fotografías por: Cristhian Páez

ALTERNATIVA B

Presencia de asistencia técnica, existencia de suficientes recursos de capital e insumos. Producción de biomasa y capacidad de carga por unidad de área que pueden ser iguales o superiores al promedio de la región.



Fotografías por: Cristhian Páez

ALTERNATIVA C

Son praderas intervenidas por productores experimentados o en algunas ocasiones con acompañamiento técnico durante el proceso productivo. El capital de inversión es limitado. La producción de biomasa y capacidad de carga por unidad de área puede estar cercana al promedio de la región. Uso moderado - bajo de insumos.



Fotografías por: Hermann Restrepo, Cristhian Páez

ALTERNATIVA D

En este nivel encontramos aquellos sistemas que se caracterizan por la ausencia de intervención y presencia de coberturas naturales. Sin acompañamiento técnico. La capacidad de carga y producción de biomasa por unidad de área son bajas. Ausencia de recursos de capital. Uso carente de insumos.



Fotografías por: Hermann Restrepo

Caso Caucho

ALTERNATIVA A

La alternativa se caracteriza por ser altamente tecnificada y recursos suficientes de insumos y capital. Así mismo presenta innovación en su proceso con el fin de optimizar la equidad, la rentabilidad y sustentabilidad. Como es el caso de la fotografía 1 se observa un TUT caucho con un nivel de tecnología alto y con una innovación la cual hace referencia a utilización de coberturas.



Fotografías por: Luis Joel Martínez

ALTERNATIVA B

Esta alternativa se caracteriza por ser altamente tecnificada, siendo evidente el acompañamiento permanente de asistencia técnica dentro del proceso productivo y planificación a nivel predial o de grupo de predios. Existencia suficiente de insumos recursos de capital. El rendimiento del uso se encuentra igual o superior al promedio de la región.



Fotografías por: Cristhian Páez

ALTERNATIVA C

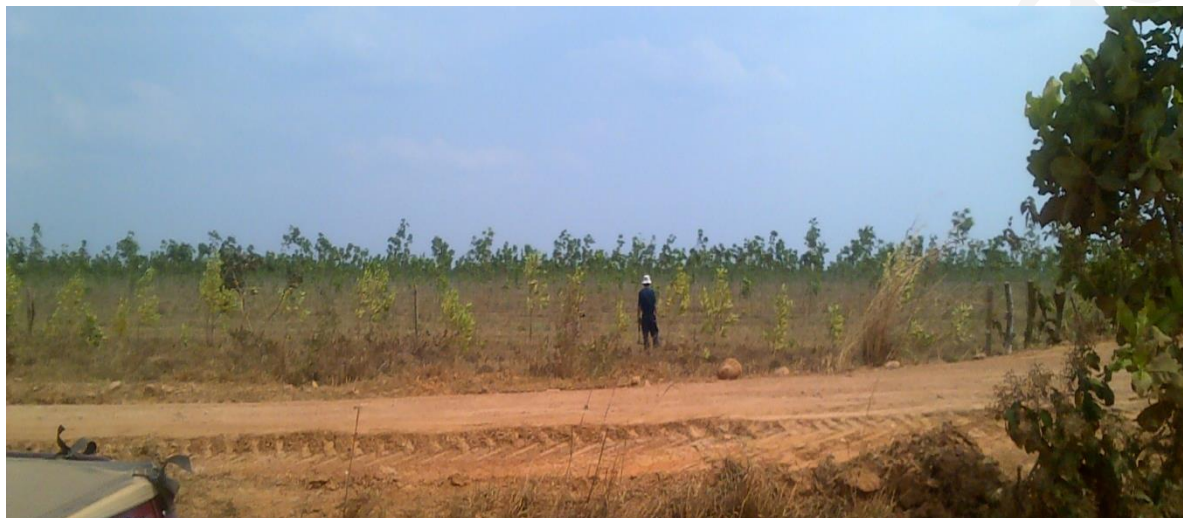
Uso tradicional logrado por productores experimentados y en algunas ocasiones con acompañamiento técnico aunque con recursos de capital limitado. Empleo de algún grado de tecnología dentro del desarrollo del uso con el fin de aumentar el rendimiento el cual puede estar cercano al promedio de la región.



Fotografías por: Jeinner Buitrago

ALTERNATIVA D

Uso tradicional sin asesoramiento técnico donde predomina el conocimiento ancestral. Así mismo, escaso uso de insumos y/o herramientas tecnológicas. Los rendimientos se encuentran muy por debajo del promedio de la región. La producción primaria es destinada a comercialización regional.



Fotografías por: Cristhian Páez, Yesid Aranda

ANEXO 7. ESTADÍSTICAS PARA EL LEVANTAMIENTO DE TIERRAS

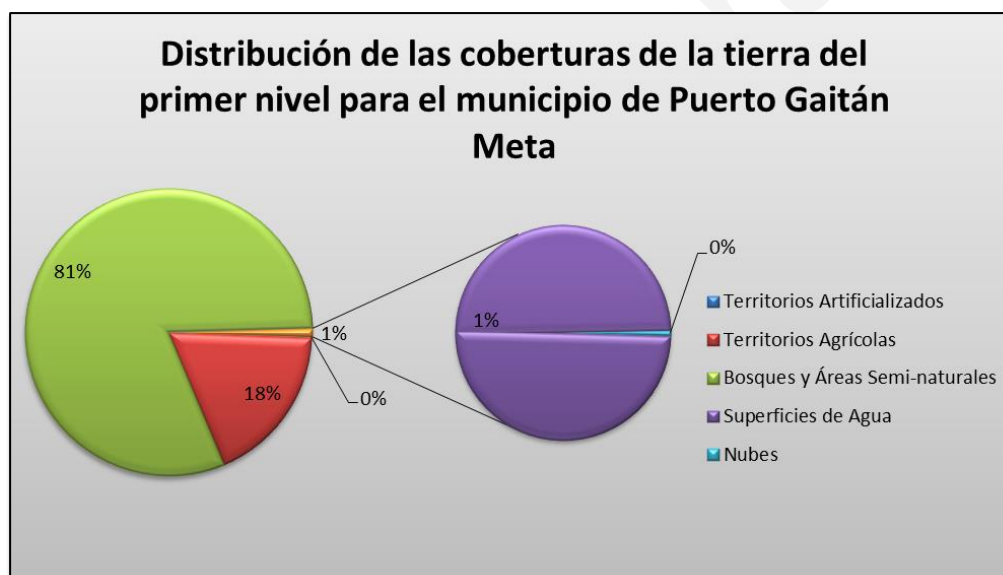
Distribución de las coberturas de la tierra del municipio de Puerto Gaitán en el área de estudio para el año 2014.

CLASE	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN COBERTURA	ÁREA (ha)
1. Territorios Artificializados	1.1.1	Tejido urbano Continuo	621,834
	1.1.2	Tejido urbano Discontinuo	10,697
	1.2.1.1.5	Agroindustria	29,750
	1.2.4.1	Aeropuerto con infraestructura asociada	76,666
	1.2.4.2	Aeropuerto sin infraestructura asociada	9,002
	1.3.1.2	Explotación de hidrocarburos	49,712
Total Territorios Artificializados = 797,661 ha			
2. Territorios Agrícolas	2.1.2.1	Arroz	12639,135
	2.1.2.2	Maíz	2142,243
	2.1.3.4	Soya	5843,997
	2.2.3.2	Palma de aceite	18124,282
	2.2.3.5	Caucho	1489,896
	2.3.1	Pastos Limpios	60954,182
		Marañón	491,411
Total Territorios Agrícolas = 101685,145 ha			
3. Bosques y Áreas Semi-naturales	3.1.1.1.2.1	Bosque denso alto inundable heterogéneo	26161,742
	3.1.4.2	Bosque de galería y ripario arbolado	63159,695
	3.1.5	Plantación forestal	588,730
	3.2.1.1.1	Herbazal Denso de Tierra Firme	273998,828
	3.2.1.1.2.1	Herbazal denso inundable no arbolado	77201,556
	3.2.1.1.2.2	Herbazal denso inundable arbolado	6721,041
	3.2.1.2.1	Herbazal Abierto Arenoso	1582,901
	3.2.3.2	Vegetación secundaria baja	2403,741
	3.3.1.2	Arenales	3016,259
	3.3.4	Zonas quemadas	727,420
Total Bosques y Áreas semi-naturales = 455561,913 ha			
5. Superficies de agua	5.1.1	Ríos	4198,645
	5.1.2	Lagunas, Lagos y Ciénagas Naturales	746,495
Total Superficies de agua = 4945,140 ha			
Nubes	99	Nube	35,100
Total Nubes = 35,100 ha			
TOTAL GENERAL = 563024,959 ha			

Distribución de las coberturas de la tierra del primer nivel para el municipio de Puerto Gaitán
Meta

Nivel General	Código	Área (ha)	Total (%)
Territorios Artificializados	1	797,661	0,14%
Territorios Agrícolas	2	101685,145	18,06%
Bosques y Áreas Semi-naturales	3	455561,913	80,91%
Superficies de Agua	5	4945,140	0,88%
Nubes	99	35,100	0,01%
Total	-	563024,959	100%

Distribución de las coberturas de la tierra del primer nivel para el municipio de Puerto Gaitán
Meta



ANEXO 8. HERRAMIENTAS PARA EVALUACION MULTICRITERIO MEDIANTE MODELO AHP PARA EVALUACION DE TIERRAS

- Plantilla calculo pesos. Ver Anexo 8ª del hipervínculo [Final 25.000\Anexo 8A Plantilla calculo pesos.xlsx](#)
- Plantilla para procesamiento de información primaria en predios de la muestra por TUT. Ver Anexo 8B del hipervínculo [Final 25.000\Anexo 8B. Salida encuesta información primaria.xlsx](#)
- Resultados de salida de evaluación AHP en TUT Caucho para zona de referencia, y calculo función de utilidad. Ver Anexo 8C del hipervínculo [Final 25.000\Anexo 8C. Calculo funcion de utilidad MAUT-caso caucho.xlsx](#)