

ZONIFICACIÓN DE AREAS APTAS PARA EL ARREGLO AGROFORESTAL
CAFÉ (*Coffea arabica* L) y GUAMO (*Inga edulis* Mart.) CON EL USO DE
HERRAMIENTAS SIG EN LA VEREDA LA TEBaida, MUNICIPIO DE MOCOA,
DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO.

ERIK ARTURO CHAVES IMBACHI
DIEGO FRANCISCO ORTEGA GONZALEZ

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS
PROGRAMA DE INGENIERIA AGROFORESTAL
PASTO – NARIÑO
2008

ZONIFICACIÓN DE AREAS APTAS PARA EL ARREGLO AGROFORESTAL
CAFÉ (*Coffea arabica* L) y GUAMO (*Inga edulis* Mart.) CON EL USO DE
HERRAMIENTAS SIG EN LA VEREDA LA TEBAIDA, MUNICIPIO DE MOCOA,
DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO.

ERIK ARTURO CHAVES IMBACHI
DIEGO FRANCISCO ORTEGA GONZALEZ

TRABAJO DE GRADO presentado como requisito parcial para optar el título de
INGENIERO AGROFORESTAL

Presidente de Tesis
DIEGO ANDRÉS MUÑOZ I.AF. M.Sc

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS
PROGRAMA DE INGENIERIA AGROFORESTAL
PASTO – NARIÑO
2008

“Las ideas y conclusiones aportadas en el trabajo de grado son responsabilidad exclusiva de los autores”

Artículo 1ro del Acuerdo No 324 del 11 de octubre de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación

Diego Andrés Muñoz Guerrero I.AF M.Sc
Presidente de Tesis

William Ballesteros Possú I.AF M.Sc
Jurado Delegado

Jorge Fernando Navia Estrada I.A Ph.D
Jurado

Javier García Alzate I.A M.Sc
Jurado

San Juan de Pasto, Mayo de 2008

DEDICO A:

A DIOS

A MIS PADRES LUCILA IMBACHI Y JOSE Ma. CHAVES

A MIS HERMANOS JOSELITO, DIANA Y CRISTIAN

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS

**El camino del triunfo se forja con empeño, dedicación y
esfuerzo.**

ERIK ARTURO CHAVES IMBACHI

DEDICO A:

A DIOS

A MI MADRE ROSA GONZALEZ

A MIS HERMANOS JULIA, JOSÉ Y GERARDO

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS

DIEGO FRANCISCO ORTEGA GONZALEZ

AGRADECIMIENTOS

A Dios por la perseverancia y el entusiasmo que deposito en nosotros para que este trabajo saliera en marcha y sin ningún problema.

A la comunidad de la Vereda La Tebaida por su trabajo y acompañamiento en el desarrollo de la presente investigación.

Al Doctor Leonel Ceballos Director Territorial Putumayo de CORPOAMAZONIA por el apoyo y facilitación de cartografía del municipio de Mocoa.

Al Doctor Rodolfo Llinas, Coordinador Técnico del Proyecto SIMCI de La Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC), por la generación y disponibilidad de información secundaria e imágenes satelitales, dando crédito a su trabajo y disponibilidad de la información.

Al Doctor Elkin Rosero, enlace municipal de Familias Guardabosques, por su apoyo y facilidad en la interacción con las familias que poseen cultivos de café.

A los docentes Diego Muñoz y Carlos Mosquera por su asesoría en el desarrollo de la presente investigación y a los docentes William Ballesteros, Jorge Navia y Javier García por sus sugerencias para mejorar el trabajo.

A la Universidad de Nariño, en cabeza del cuerpo docente del programa de Ingeniería Agroforestal, por los conocimientos recibidos.

A nuestros amigos y compañeros que de una u otra manera nos apoyaron y brindaron su tiempo para que la presente investigación llegara a su final término.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	01
1. MARCO TEORICO	03
1.1. ZONIFICACIÓN	03
1.1.1. Zonificación agro- ecológica	03
1.1.2. Zona agro- ecológica	03
1.2. FOTOGRAMETRÍA	04
1.3 MAPAS	04
1.4 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)	05
1.5 SISTEMAS EXPERTOS	06
1.5.1 Automated Land Evaluation System (ALES).	06
1.5.2. Árbol de decisiones	09
1.6. DIGITALIZACIÓN	11
1.7. ESTRUCTURA Y BASE DE DATOS	12
1.7.1. Base de datos	12
1.8. CULTIVO DE CAFÉ	13
1.9. CULTIVO DEL GUAMO	18
1.10. ESTUDIOS DE CASO	19
2. DISEÑO METODOLOGICO	23
2.1. LOCALIZACIÓN	23
2.1.1. Limites	23
2.2. METODOLOGIA	25
2.2.1. Recolección información primaria y secundaria	25
2.2.2. Organización y elaboración de base de datos	25
2.2.3. Diseño de modelo conceptual	26
2.2.4. Modelación en Automated Land Evaluation System (ALES) para la aptitud de las unidades de suelo	27

2.2.5. Reestructuración topológica de los mapas	28
2.2.6. Digitalización de mapas	28
2.2.7. Modelo cartográfico	28
2.2.8. Aplicación del sistema experto (ALES) y la herramienta SIG (Arcview)	29
2.2.9. Validación del modelo con los productores	30
2.2.10. Generación de mapas (Visualización)	30
3. RESULTADOS Y DISCUSION	31
3.1. ÁREAS CULTIVABLES CON APTITUD PARA EL ARREGLO SAF CAFÉ – GUAMO MEDIANTE EL USO DEL SISTEMA EXPERTO ALES	31
3.1.1. Determinación de las unidades de tierra y tipos de utilización de tierra	31
3.1.2. Elaboración del modelo Entidad-Relación	32
3.1.3 Arboles de decisión en ALES	35
3.1.4. Aptitud para el cultivo de café	37
3.1.5. Aptitud para la especie arbórea guamo	41
3.2. VALIDACIÓN DEL MODELO DEL ARREGLO AGROFORESTAL EN LA ZONA DE ESTUDIO BASADO EN LAS HERRAMIENTAS SIG	45
3.3. RECOMENDAR LAS ÁREAS APTAS A PARTIR DEL MODELO	58
4. CONCLUSIONES	61
5. RECOMENDACIONES	62
6. BIBLIOGRAFIA	63
ANEXOS	68

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica del café	13
Tabla 2. Clasificación taxonómica del guamo	18
Tabla 3. Clasificación de pendiente	27
Tabla 4. Matriz generada por ALES para la aptitud de las unidades de suelo de café	37
Tabla 5. Limitantes de aptitud media encontradas en café	38
Tabla 6: Matriz generada por ALES para la aptitud de las unidades de suelo de guamo	42
Tabla 7. Leyenda de Uso y Cobertura	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Flujograma del sistema experto ALES	07
Figura 2. Flujograma de evaluación de tierras	10
Figura 3. Mapa de La Vereda La Tebaida	24
Figura 4. Modelo conceptual	26
Figura 5. Modelo cartográfico	29
Figura 6. Tecnología local del cultivo de café asociado con guamo y plátano	32
Figura 7. Toma de muestra de suelos	32
Figura 8. Modelo entidad – relación para el cultivo de café	33
Figura 9. Modelo entidad – relación para la especie arbórea guamo	34
Figura 10. Esquema de árbol de decisión alimentado en ALES para el café	36
Figura 11. Esquema de árbol de decisión alimentado en ALES para el guamo	36
Figura 12. Mapa base de la vereda La Tebaida	46
Figura 13. Mapa Agroecológico de la Vereda La Tebaida	48
Figura 14. Mapa de pendientes	49
Figura 15. Uso y cobertura de la Vereda La Tebaida	50
Figura 16. Mapa de aptitud del café basado en el sistema experto ALES	53
Figura 17. Mapa de áreas cultivables para café según la aptitud vs. uso y cobertura	54
Figura 18. Mapa de áreas cultivables para guamo según la aptitud vs. uso y cobertura	55
Figura 19. Validación del primer modelo	56
Figura 20. Validación del modelo aceptado por la comunidad	56
Figura 21. Validación del modelo en campo	57
Figura 22. Mapa de aptitud para el arreglo café – guamo	59
Figura 23. Mapa de aptitud para el arreglo café – guamo según el predial	60

LISTA DE ANEXOS

Anexo A: resultados análisis de suelos

Anexo B: Características de las unidades de suelo

Anexo C: Características seleccionadas para café y guamo

Anexo D: Árbol de decisión para café y guamo

RESUMEN

Este estudio se ejecutó en La vereda la Tebaida, Municipio de Mocoa, Departamento del Putumayo en una extensión de 1628,64 hectáreas, en la cual, se realizó la zonificación utilizando una herramienta del Sistema de Información Geográfica (SIG) y un sistema experto para el arreglo agroforestal café-guamo. Se evaluó y analizó la aptitud de la zona para el establecimiento del arreglo agroforestal mediante el uso del sistema experto Automated Land Evaluation System (ALES), se validó el modelo del arreglo agroforestal en la zona de estudio basado en las herramientas SIG Arcview y se recomendó las áreas aptas para el arreglo a partir del modelo. Para el análisis de la aptitud se tuvo en cuenta los requerimientos de cada especie, con los cuales, se describieron las diferentes características y cualidades para definir los tipos de utilización de tierra y las unidades de tierra con el fin de construir los modelos y evaluar la aptitud de las especies en el sistema experto ALES. El modelo cartográfico se operó con la herramienta SIG (Arcview 3,2) y con la base de datos en Access. Se determinó que el café posee una aptitud de clase 2 (mediana aptitud) representando el 79,13% del área total. Esta clase está limitada por el pH, contenido de potasio, contenido de fósforo, fertilidad, drenaje y pendiente. La aptitud de clase 5 (no apto) representa el 20,87% del área total, esta clase se determinó con el uso y cobertura ya que se discriminó áreas no cultivables como ríos, vías, afloramientos rocosos y asentamientos urbanos. Para el guamo el 79,13% del área total son de clase 1 (apto) y el 20,87% corresponden a la clase 4 (no apto). El arreglo agroforestal café-guamo constituye una alternativa productiva para la zona por su amplio rango de adaptación según el sistema experto ALES encontrando 1288,64 hectáreas con aptitud para implementar el arreglo SAF y 340 hectáreas no son aptas debido a que las áreas no son cultivables de acuerdo al uso y cobertura de la zona, la validación del arreglo agroforestal café-guamo permitió generar cartografía de las áreas aptas para el arreglo acoplando la información generada por ALES y las áreas recomendadas en esta investigación confrontando el sistema experto ALES y la herramienta SIG ArcView, se plasmaron en mapas a escala 1:40.000.

Palabras claves: ALES, sistema experto, arcview, cartografía, aptitud de uso, la Tebaida Putumayo

ABSTRACT

This study was carried out in the village called The Tebaida. It is located in Mocoa (Putumayo). The Tebaida has an area of 1628, 64 hectares. A zoning tool geographic information system (GIS) and an expert system to Under the agroforestry coffee-Guamo was used in order to conduct the zonification. the suitability of the area for the establishment of agroforestry settlement through the use of expert System Automated Land Evaluation System (ALES) was evaluated and discussed. Besides, the model of agroforestry in the study area based on tools and gis arcview was validated. And the suitable areas for settlement based on the model were also recommended. In addition, the requirements of each species which described the different characteristics and qualities to define the types of land use and land units in order to build models and assess the fitness of the species in the expert system ALES were taken into account for the analysis of fitness. Besides, it was necessary the use of the mapping tool gis (arcview 3.2) and the access database in order to operate the model. In this way, it was found that coffee has a fitness class 2 (medium fitness) representing 79.13% of the total area. Moreover, it was established that this class is limited by the pH content of potassium, phosphorus content, fertility, drainage and slope. The fitness class 5 (unfit) represents 20.87% of the total area. This class was determined with the use and coverage as it discriminated non-arable areas as rivers, roads, rocky outcrops and urban settlements. For Guamo 79.13% of the total area are class 1 (grade) and 20, 87% correspond to Class 4 (unfit). According to the expert system ALES. In addition, the settlement agro forestry coffee-Guamo is a productive alternative for the area due to its wide range of adaptation finding 1288.64 hectares with ability to implement the settlement SAF and 340 hectares which are not suitable because the areas are not cultivable according to use and coverage of the region. Also, validations of Guamo under agroforestry coffee-enabled generate mapping suitable areas for docking under the information generated by ALES. And the recommended areas in this investigation confronting the expert system ALES and GIS tool ArcView, were translated into maps at 1:40.000.

Keywords: ALES, expert system, arcview, mapping, use of fitness, The Tebaida Putumayo

INTRODUCCION

La continúa presión y destrucción de los recursos naturales ha llevado a la degradación del medio ambiente debido al aumento de los cultivos ilícitos, deforestaciones y la falta de tecnologías para mejorar el manejo del recurso suelo. Del mismo modo, perjudica los sistemas de producción establecidos en las diferentes regiones.

Es así, como en Colombia el café es uno de los cultivos agrícolas de interés no solo de la agricultura sino también de la economía nacional como el principal generador de divisas. A lo que, el Ministerio de Agricultura afirma que el café representa en la actualidad aproximadamente el 12% del producto interno bruto PIB.¹ Con lo cual, en el Municipio de Mocoa en la actualidad existe un área sembrada de 24 has, con un rendimiento de 2.850 kilogramos por hectárea.²

Es por ello, que se están utilizando en fincas cafeteras tecnologías para optimizar la producción del café, siendo los sistemas agroforestales una buena opción. Es así, que se conoce el arreglo agroforestal café – guamo, en el cual, se conserva la fertilidad de los suelos por el aporte de nutrientes, garantiza reservas de alimentos para el poblador rural, el suministro de la energía (leña) necesaria para la familia y mejora la economía de la familia a través de una producción más diversificada.³

¹ AGROCADENAS. La cadena del café. (En línea) En. Agrocadenas, Colombia (Bogotá): 2005 (consultada: 18 febrero 2004). Disponible en la dirección electrónica: http://www.agrocadenas.gov.co/cafe/documentos/caracterizacion_cafe.pdf

² Plan básico de ordenamiento territorial. (PBOT) Mocoa, 2006

³ MUSCHLER, R. Árboles en cafetales. CATIE. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ, 1999. p 43,44 y 55.

Así mismo, CORPOICA⁴ ha realizado estudios de zonificación de áreas para la producción de las diferentes especies agrícolas de interés, utilizando sistemas de información geográfica, el cual, permite integrar metodologías, herramientas y personas que actúan lógicamente, ordenada y sistemáticamente para almacenar, consultar, y modelar datos geo-espaciales que sirvan de base para la toma de decisiones.

Es por ello, que esta investigación tiene la finalidad de evaluar, analizar, validar y recomendar zonas aptas para el arreglo agroforestal café-guamo en fincas productoras de La vereda la Tebaida, utilizando una herramienta SIG y un sistema experto, además, se tendrá como referencia algunos estudios preliminares de la aplicación de las tecnologías dichas anteriormente como elaboradas por Mosquera (2005).⁵

Para el cumplimiento de esta investigación se proponen los siguientes objetivos.

- ❖ Evaluar y analizar la aptitud de la zona para el establecimiento del arreglo agroforestal café-guamo, mediante el uso del sistema experto ALES.
- ❖ Validar el modelo del arreglo agroforestal en la zona de estudio basado en las herramientas SIG.
- ❖ Recomendar las áreas aptas para el arreglo agroforestal café-guamo a partir del modelo.

⁴ AREVALO, E y VALENCIA, M. distribución espacial de las moscas de las frutas en el departamento de Antioquia, un caso de estudio apoyado en SIG. Universidad de San Buenaventura, Facultad de Ingenierías, Medellín, 2004. 77p

⁵ MOSQUERA, C. Determinación de áreas óptimas para el cultivo de la uchuva *Physalis peruviana*, con baja prevalencia de moscas de las frutas utilizando un Sistema experto y una herramienta SIG. Caso de estudio municipio de Sogamoso. Departamento de Boyacá. Trabajo de Grado para optar al título de Especialista en SIG. Instituto geográfico Agustín Codazzi – IGAC. Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica – CIAF en convenio con la Universidad Distrital Francisco José de caldas. Bogotá, Colombia, 2005. 42p

1. MARCO TEORICO

1.1. ZONIFICACION

Por zonificación, en un sentido amplio, indica la subdivisión de un área geográfica, país, región ó zona; en sectores homogéneos con respecto a ciertos criterios, como por ejemplo: la intensidad de la amenaza, el grado de riesgo, requisitos en materia de protección contra una amenaza dada, capacidad productiva, tipo de construcciones permitidas entre otros.⁶

Si se refiere a recursos naturales renovables, la zonificación, es la clasificación de usos que se realiza dentro de las unidades territoriales en un distrito de manejo integrado de los mismos, conforme a un análisis previo de sus aptitudes, características y cualidades abióticas, bióticas y antrópicas.⁷

1.1.1. Zonificación agro- ecológica. De acuerdo con los criterios de la FAO, se refiere a la división de la superficie de tierra en unidades más pequeñas, que tienen características similares relacionadas con la aptitud de tierras, la producción potencial y el impacto ambiental.⁸

1.1.2. Zona agro- ecológica. Unidad cartográfica de recursos de tierra, definida en recursos de clima, fisiográfica y suelos; que tiene un rango específico de limitaciones y potencialidades para el uso de la tierra.⁹

⁶ INTERNATIONAL DECADE FOR NATURAL DISASTER REDUCTION (IDNDR). Zonificación. (En línea) En: Wikipedia:2004 (consultada: 18 febrero 2008). Disponible en la dirección electrónica: <http://es.wikipedia.org/wiki/Zonificaci%C3%B3n>

⁷ Ibid, 3

⁸ UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN – UMSS. Zonificación agroecológica. (En línea) En: umss: Bolivia: 2003 (consultada: 18 febrero 2008). Disponible en la dirección electrónica: <http://www.umss.edu.bo/epubs/earts/downloads/64.pdf>

⁹ Ibid, 5

1.2. FOTOGRAMETRÍA

Ciencia desarrollada para obtener medidas reales a partir de fotografías, tanto terrestres como aéreas, para realizar mapas topográficos, mediciones y otras aplicaciones geográficas. Normalmente se utilizan fotografías tomadas por una cámara especial situada en un avión o en un satélite.¹⁰

1.3 MAPAS

Un mapa es la representación de una zona geográfica, normalmente una parte de la superficie terrestre. Puede ser de muchos tipos: desde el tradicional, impreso en papel, hasta el conformado por píxeles que vemos en la pantalla de un ordenador. En los mapas, uno puede encontrar casi todo, desde el suministro eléctrico de su comunidad hasta detalles sobre el terreno del Himalaya, pasando por las profundidades de los océanos.¹¹

La cartografía o trazado de mapas es, al mismo tiempo, un conjunto de técnicas y una materia de estudio académico. La realización de mapas requería tradicionalmente:¹²

1) Saber encontrar y seleccionar la información sobre diferentes aspectos de la geografía a partir de fuentes diversas, para después sintetizar los resultados en un único grupo de datos consistente y preciso.¹³

2) Técnicas y habilidades de diseño con el fin de crear un mapa final que consiga representar con fidelidad la información, para que los lectores, que poseen

¹⁰ MONOGRAFÍAS. Fotogrametría y fotointerpretación. (En línea) En: Monografías: 2004 (consultada: 18 febrero 2008). Disponible en la dirección electrónica: <http://www.monografias.com/trabajo15/fotogrametria/fotogrametria.shtml>

¹¹ "Mapa." Microsoft ® encarta ® 2008[CD]. Microsoft Corporation, 2005

¹² Ibid, 4

¹³ Ibid, 4

diferentes grados de habilidad en la lectura de mapas, puedan interpretarlo correctamente.¹⁴

3) Destreza manual y técnica del diseño gráfico para simplificar y dibujar la información mediante símbolos, líneas y colores, de modo que el amontonamiento o el desorden sean mínimos y el mapa resulte legible.¹⁵

1.4. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

Los SIG, pueden definirse como una serie de herramientas que permiten a los estudiosos de los fenómenos espaciales, integrar sus datos y sus métodos, superando las limitantes impuestas por el manejo manual de grandes cantidades (volúmenes) de información y la simulación de fenómenos complejos en los cuales intervienen numerosas variables.¹⁶

En la actualidad los sistemas de información geográfica se utilizan en la agricultura en diferentes campos, tales como la nutrición o fertilización, usos de suelo, manejo de plagas, etc. Las herramientas digitales tales como los sistemas de información geográfica y de posicionamiento global (SIG/GPS) permiten hacer mapas muy precisos de las áreas agrícolas. Esto nos permite tener una “Agricultura de Precisión”, donde su principal objetivo es la aplicación de agroquímicos solo en los sitios donde sean necesarios.¹⁷

¹⁴ “Mapa.” Microsoft ® encarta ® 2008[CD]. Microsoft Corporation, 2005

¹⁵ Ibid, 4

¹⁶ AREVALO, E y VALENCIA, M. distribución espacial de las moscas de las frutas en el departamento de Antioquia, un caso de estudio apoyado en SIG. Universidad de San Buenaventura, Facultad de Ingenierías, Medellín, 2004. 77p

¹⁷ Ibid, 5

1.5 SISTEMAS EXPERTOS

Un sistema experto es definido como un programa de computador que utiliza conocimientos de expertos humanos, para lograr altos niveles de desempeño en un área específica, dentro del mundo real.¹⁸

Los sistemas de evaluación de tierras son alternativas que permiten generar conocimiento y organizar el uso del suelo, y se lo define como "todo método para explicar o predecir el potencial de uso de la tierra".¹⁹

1.5.1 Automated Land Evaluation System (ALES). ALES, es un programa de computación que permite a los evaluadores de tierras construir sistemas expertos para sus evaluaciones, según el método presentado en el Esquema de la FAO, hecho más concreto en ciertos aspectos y mejorado en cuanto a la evaluación microeconómica. Los evaluadores construyen sus propios modelos, que son representaciones de sus ideas sobre la relación tierra vs. uso, tomando en cuenta los objetivos y condiciones locales. ALES, no es en sí mismo un sistema experto, ni tampoco posee conocimiento alguno acerca de las tierras y sus usos. Es un "esquema" dentro del cual los evaluadores pueden expresar sus propios conocimientos locales.²⁰

El sistema experto ALES fue creado para resolver necesidades específicas en la comunidad internacional con respecto a la evaluación de la tierra.

¹⁸ MOSQUERA, C. Determinación de áreas óptimas para el cultivo de la uchuva *Physalis peruviana*, con baja prevalencia de moscas de las frutas utilizando un Sistema experto y una herramienta SIG. Caso de estudio municipio de Sogamoso. Departamento de Boyacá. Trabajo de Grado para optar al título de Especialista en SIG. Instituto geográfico Agustín Codazzi – IGAC. Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica – CIAF en convenio con la Universidad Distrital Francisco José de caldas. Bogotá, Colombia, 2005. 42p

¹⁹ ROSSITER, D. Evaluación de tierras. (En línea) En: itc: 2003 (consultada: 20 febrero de 2008). Disponible en la dirección electrónica: http://www.itc.nl/~rossiter/pubs/clcs96_b.htm

²⁰ ROSSITER, D. El Sistema Automatizado para la Evaluación de Tierras (ALES). (En línea) En: itc: 2003 (consultada: 20 febrero de 2008). Disponible en la dirección electrónica: http://www.itc.nl/~rossiter/pubs/clcs96_b.htm

Las recomendaciones y los planes se deben hacer generalmente de una forma rápida, en respuesta a necesidades reales y a condiciones actuales. El planeamiento de la utilización del suelo tiene como su propósito básico asegurarse de que cada área de la tierra será utilizada para proporcionar ventajas sociales máximas, incluyendo la producción de alimentos, la salud humana, sin la degradación excesiva de los recursos naturales.²¹

El planeamiento tiene dos aspectos: el político y el racional. Político por que es necesario para iniciar y realizar el planeamiento de la utilización del suelo, para fijar sus objetivos, y para arbitrar entre intereses en competencia, y el racional, o el técnico por que parte del planeamiento que asegura que los planes sean factibles, que el costo y las estimaciones sean exactos, y que los datos sean suficientes y de buena calidad. ALES permite el uso de datos en casi cualquier formato, así como el intercambio fácil de datos legibles por computadoras con las bases de datos de los suelos también se pueden importar/exportar sin problema a otros programas.²²

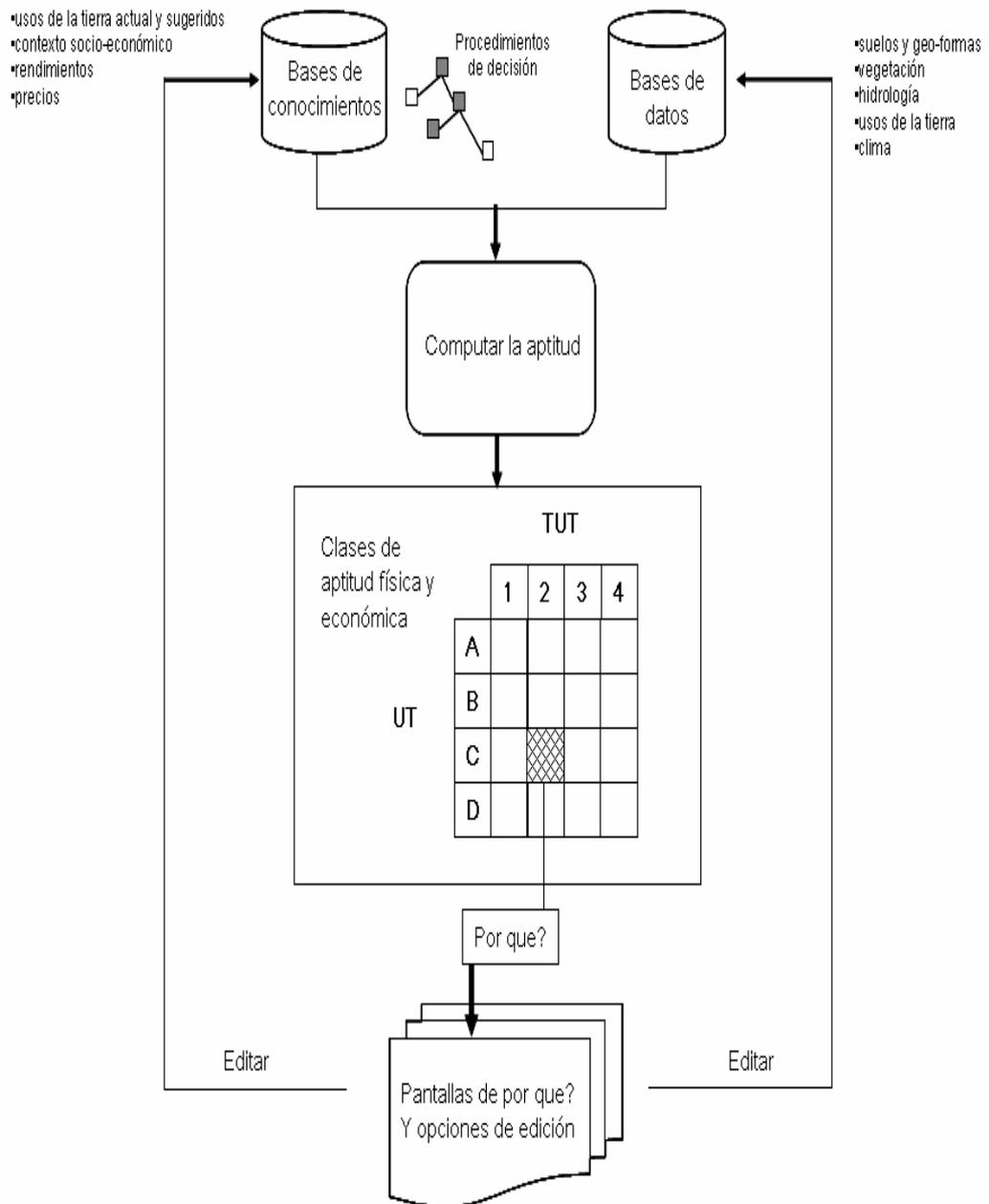
El sistema experto ALES permite realizar comparaciones múltiples por medio de árboles de decisión, que finalmente conducen a definir las mejores opciones en un caso determinado.²³ (Figura 1)

²¹ MOSQUERA, C. Determinación de áreas óptimas para el cultivo de la uchuva *Physalis peruviana*, con baja prevalencia de moscas de las frutas utilizando un Sistema experto y una herramienta SIG. Caso de estudio municipio de Sogamoso. Departamento de Boyacá. Trabajo de Grado para optar al título de Especialista en SIG. Instituto geográfico Agustín Codazzi – IGAC. Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica – CIAF en convenio con la Universidad Distrital Francisco José de caldas. Bogotá, Colombia, 2005. 42p

²² Ibid, 6

²³ Ibid, 6

Figura 1. Flujograma del sistema experto ALES.



Fuente: Mosquera, 2005

1.5.2. Árbol de decisiones. Los árboles de decisión proporcionan un mecanismo de inferencia más flexible procurando aplicar el método de la FAO de la forma más extensa posible, también incorpora un método definido de evaluación económica.²⁴

❖ **Estructura del árbol de decisiones**

- **Unidades de tierra (UT).** Son áreas de tierra delineadas en un mapa y que posee condiciones (calidades y características) ambientales específicas. La pureza de la unidad de tierra dependerá del nivel de evaluación que se realiza.²⁵
- **Características de la tierra.** Son atributos de la tierra que pueden ser medidos o estimados (precipitación media anual, profundidad de suelos, gradiente de la pendiente, volumen presente de madera, rareza) y que pueden ser empleados como un medio para describir calidades de la tierra.²⁶
- **Calidades de la tierra.** Son atributos complejos de la tierra que influyen de una manera particular sobre la conveniencia de la tierra para una clase específica de uso.²⁷
- **Tipo de utilización de tierras (TUT).** Una clase específica de uso de la tierra descrita en un grado de detalle superior al empleado en estudios de uso mayor de la tierra y que son relevantes en un contexto físico, social y económico también específicos.²⁸

²⁴ PAEZ, H. y CASTAÑO, C. Aproximación a la definición de criterios para la zonificación y el ordenamiento forestal en Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Colombia, 1994. p 85.

²⁵ Ibid, 9

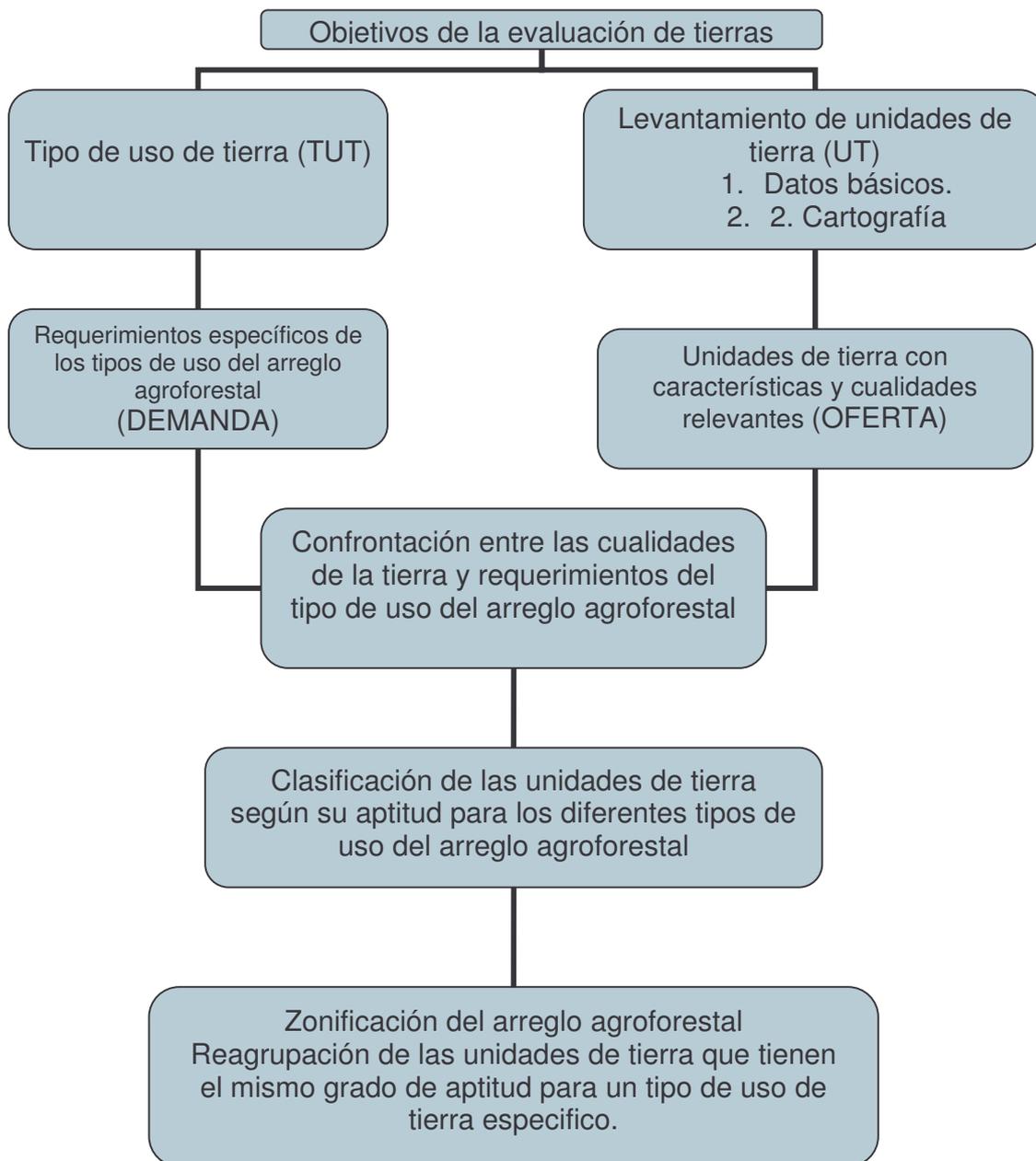
²⁶ Ibid, 9

²⁷ Ibid, 9

²⁸ Ibid, 9

En la figura 2 se plantea el modelo del árbol de decisión, según las TUT vs UT:

Figura 2. Flujoograma de evaluación de tierras.



Fuente: Páez, 1994

1.6. DIGITALIZACIÓN

La digitalización de mapas, es decir, la representación de información cartográfica en formato vectorial y/o raster, es siempre la primera y más laboriosa etapa en el proceso de creación de prácticamente cualquier SIG aplicado. Los regímenes de digitalización de los mapas geográficos pueden dividirse en tres grupos intersectables: manual, interactivo y automático.²⁹

- En régimen manual, un operador con el apuntador del ratón marca la localización de objetos puntuales o lineales y después, usando el teclado, pone en una tabla la información de atributos que les corresponde.³⁰

- En régimen interactivo, el operador posiciona el apuntador al inicio del objeto lineal digitalizado y después el programa de digitalización sigue automáticamente esta línea. Este proceso concluye hasta que termina la línea o aparece una alternativa. En caso de confusión durante la ejecución en régimen automático de seguimiento de una línea, el operador debe indicar el punto inicial para el siguiente objeto.³¹

- En régimen automático, el programa de digitalización reconoce un número máximo posible de objetos cartográficos. Al final de este proceso, de cualquier manera, el operador tiene que corregir los resultados de digitalización obtenidos.³²

²⁹ LEVACHKINE, S. Digitalización Automatizada de Mapas Raster. Vol. 1 No.0 Dirección General de Servicios de Cómputo Académico-UNAM. Ciudad Universitaria, México D.F. 31 de Marzo de 2000.

³⁰ Ibid, 11

³¹ Ibid, 11

³² Ibid, 11

1.7. ESTRUCTURA Y BASE DE DATOS

1.7.1 Base de datos. Una base o banco de datos es un conjunto de datos que pertenecen al mismo contexto almacenados sistemáticamente para su posterior uso. En la actualidad, y gracias al desarrollo tecnológico de campos como la informática y la electrónica, la mayoría de las bases de datos tienen formato electrónico, que ofrece un amplio rango de soluciones al problema de almacenar datos. Las aplicaciones más usuales son para la gestión de empresas e instituciones públicas. También son ampliamente utilizadas en entornos científicos con el objeto de almacenar la información experimental.³³

- **Modelos de bases de datos.** Además de la clasificación por la función de las bases de datos, éstas también se pueden clasificar de acuerdo a su modelo de administración de datos.

Un modelo de datos es básicamente una "descripción" de algo conocido como contenedor de datos (algo en donde se guarda la información), así como de los métodos para almacenar y recuperar información de esos contenedores. Los modelos de datos no son cosas físicas: son abstracciones que permiten la implementación de un sistema eficiente de base de datos; por lo general se refieren a algoritmos, y conceptos matemáticos.³⁴

³³ NITTEL, S. Base de datos y modelos de base de datos. (En línea) En: Wikipedia: 2004 (consultada: 17 febrero 2008). Disponible en la dirección electrónica: http://es.wikipedia.org/wiki/Base_de_datos, 2007

³⁴ Ibid, 12

1.8. CULTIVO DE CAFÉ

El café es una especie que se adapta a zonas tropicales, su período de floración es susceptible al exceso de lluvias. Más o menos el 60% del gasto requerido en la producción de café lo constituye el costo de la recolección de las cerezas; en aquellas zonas que tienen una temporada húmeda con una sola cosecha es menos costosa para el productor, que dos cosechas anuales en aquellas áreas que tienen dos períodos cortos de lluvia.³⁵ La clasificación taxonómica se describe en la tabla 1.

Tabla 1. Clasificación taxonómica

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Gentianales
Familia:	Rubiaceae
Subfamilia:	Ixoroideae
Tribu:	Coffeae
Género:	<i>Coffea</i>
Especie:	<i>C. arabica</i>

Fuente: es.wikipedia.org

En diferentes investigaciones se ha encontrado que la temperatura óptima para el crecimiento del café esta entre 19 y 21°C, con límite inferior de 13°C y uno superior de 32°C. Por fuera de estos limites, es casi nulo y la productividad muy baja.³⁶

³⁵ INFOAGRO. Cultivo del café. (en línea) En: Infoagro: 2004 (consultada: 15 octubre 2007). Disponible en la dirección electrónica: <http://www.infoagro.com/herbaceos/industriales/cafes3.asp>

³⁶ ARCILA, J; FARFAN, F y otros. Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchina, Cenicafé. 2007. 309p.

El café se adapta bien, bajo las siguientes condiciones: precipitación que varía desde los 750 mm anuales (7.500 m³/ha) hasta 3000 mm (30.000 m³/ha), altitud de 1200 á 1700 metros, temperatura media anual es de 18°C - 22°C. Además el cultivo requiere una lluvia (o riego) abundante y uniformemente distribuida desde comienzos de la floración hasta finales del verano para favorecer el desarrollo del fruto y de la madera.³⁷

En el cultivo del café se puede tener rendimientos promedio de 2400 kg/ha, teniendo en cuenta las siguientes características: rango optimo de temperatura entre 18-22°C, una altura entre 1000-2000 msnm, se adapta a relieve escarpado, suelos superficiales, bien drenados, de alta fertilidad mayor á 8% de materia orgánica. PH entre 5 – 6.5.³⁸

En condiciones controladas, en donde se probaron efectos de varias temperaturas altas y bajas diurnas y nocturnas, respectivamente las plantas mantenidas a 23° C durante el día y 17° C durante la noche aparecieron por lo general mas vigorosas y saludables, a temperaturas más altas 30° C diurna y 24° C nocturna igualmente se observó un desarrollo floral deficiente y gran incidencia de flores estrella, ósea un tipo de flor subdesarrollada, debido probablemente a una tempericidad diaria inadecuada.³⁹

Se ha dicho que la zonificación del cultivo por altitud corresponde muy cerca, en la mayoría de los casos, a una zona con una temperatura anual media entre 17°C y

³⁷ INFOAGRO. Cultivo del café. (en línea) En: Infoagro: 2004 (consultada: 15 octubre 2007). Disponible en la dirección electrónica: <http://www.infoagro.com/herbaceos/industriales/cafe3.asp>

³⁸ CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFE – CENICAFE. El clima para los cafetales. (En línea) En: cenicafe, Colombia (Chinchina-Caldas):2004 (consultada: 23 noviembre 2007). Disponible en la dirección electrónica: http://www.cenicafe.org/modules/Publications2/docs/doc_views/viewpdf.php?filedownload=Y2NfdElfZjAyLnBkZg==&its_ok=ok&doc=CartillaCafeteraTomo1-2.pdf

³⁹ JARAMILLO, R. Clima andino y café en Colombia. Chinchiná, Cenicafé, 2005. 196p

23°C que puede considerarse óptima para esta especie, de igual manera, considera que se adapta a suelos ácidos.⁴⁰

En temperaturas altas la planta no puede acumular suficiente materia seca por: aumento de la resistencia interna al flujo de CO₂, cierre de estomas, excesivo consumo de energía en el proceso respiratorio o baja eficiencia en el uso del agua. Además puede ocurrir anomalías florales, como flores estrellas o secamiento de yemas, lesiones en la base del tallo o lesiones en los cloroplastos. El ciclo del desarrollo de la planta es más corto y la duración del cultivo es menor. En temperaturas bajas, el proceso de acumulación de materia seca disminuye, y por consiguiente el crecimiento es muy lento.⁴¹

Con respecto a la precipitación se dice que valores por encima de 3000 mm/año deben considerarse como no apropiadas para el cultivo económico del café.⁴² Así mismo, una precipitación anual entre 1600 y 1800 es ideal.⁴³

Es así, como la distribución de lluvias es en alto grado responsable de los volúmenes y la relación porcentual de las floraciones semestrales y de los patrones de distribución de la cosecha.⁴⁴

La disponibilidad hídrica es importante para determinar el momento oportuno para la ejecución de algunas prácticas de cultivo. Por ejemplo, las siembras y la

⁴⁰ MSCHLER, R. Árboles en cafetales. Turrialba, CATIE. 2000. 139p

⁴¹ ARCILA, J; FARFAN, F y otros. Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchina, Cenicafé. 2007. 309p.

⁴² JARAMILLO, R. Clima andino y café en Colombia. Chinchiná, Cenicafé, 2005. 196p

⁴³ FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA-FNC. BOGOTÁ. COLOMBIA. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ – GENICAFE. Cartilla cafetera Vol. 2. Chinchina, Cenicafe. 2004

⁴⁴ ARCILA, J; FARFAN, F y otros. Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchina, Cenicafé. 2007. 309p.

fertilización se recomienda efectuarlas en épocas húmedas, mientras que la renovación por zoca es más conveniente en las épocas secas.⁴⁵

Del mismo modo, se deben tener en cuenta los requerimientos nutricionales ya que son la base para que la planta se desarrolle normalmente. Es por ello, que el café se adapta a un contenido de potasio asimilable que va de 0,30 á 0,40 meq/100g, igualmente, se aconseja implementar el café en zonas que presentan contenidos de fósforo de 6 á 14 ppm y además, se recomienda suelos con contenidos de nitrógeno entre 0,30 á 0,40 %, con el fin de obtener buenos rendimientos.⁴⁶

Ya que, al bajar el nivel de potasio se nota una disminución en la síntesis de almidón y como resultado puede aseverarse que en consecuencia el crecimiento de la planta ocurre más lentamente y las cosechas disminuyen.⁴⁷ Además, la deficiencia de potasio no permite que los estomas se cierren rápidamente y la planta pierde agua, restringe el crecimiento de las raíces particularmente las laterales, prolonga el llenado de grano o fruto y pérdida de hojas.⁴⁸

Así mismo, la deficiencia de nitrógeno causa una disminución del crecimiento y de la cosecha, el follaje es escaso y la planta tiene un aspecto raquítico y amarillamiento y los frutos se vuelven amarillos, crecen poco y se caen con

⁴⁵ ARCILA, J; FARFAN, F y otros. Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchina, Cenicafe. 2007. 309p.

⁴⁶ FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA-FNC. BOGOTA. COLOMBIA. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ – GENICAFE. Cartilla cafetera Vol. 3. Chinchina, Cenicafe. 2004

⁴⁷ VALENCIA, A. Fisiología, nutrición y fertilización del cafeto. Chinchiná, Genicafe-Agroinsumos del café. 1999. 94p.

⁴⁸ MELENDEZ, G. y MOLINA, E. Características y manejo de fertilizantes que contienen nitrógeno, fósforo y potasio. (En línea). Disponible en Internet: URL: <http://www.cia.ucr.ac.cr/docs/CIA-Fertilizantes.pdf>. 2008

facilidad.⁴⁹ Por otro lado, el exceso de nitrógeno forma plantas débiles con tejidos tiernos (por tanto más propensas a plagas y enfermedades, al viento y la lluvia), la floración es escasa por el predominio de hojas (muchas hojas y pocas flores), flores incompletas sin estambres o sin pistilos, frutos con color anormal y deprime la absorción de fósforo, potasio, cobre y otros.⁵⁰

Por otra parte, cuando el suministro de fósforo por parte del suelo no es adecuado el sistema radical por lo general no alcanza un buen desarrollo, menor floración y menor cuajado de los frutos, además, el número de brotes disminuye, formando tallos finos y cortos con hojas pequeñas.⁵¹

Además, cuando el café se cultiva en suelos de baja fertilidad la absorción total de nutrientes es menor, el crecimiento no ocurre a una velocidad adecuada y las cosechas disminuyen.⁵²

Y en relación a la acidez del suelo, se ha señalado que el café prefiere una reacción ligeramente ácida, ósea, un pH entre 5,5 y 6,5, pero que se pueden obtener excelentes cosechas en suelos más ácidos.⁵³

⁴⁹ SADEGHIAN, S. Efecto de fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio sobre las propiedades químicas de suelos cultivados en café. Cenicafé. 2003. p 242-257

⁵⁰ MELENDEZ, G. y MOLINA, E. Características y manejo de fertilizantes que contienen nitrógeno, fósforo y potasio. (En línea). Disponible en Internet: URL: <http://www.cia.ucr.ac.cr/docs/CIA-Fertilizantes.pdf>. 2008

⁵¹ SADEGHIAN, S. Efecto de fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio sobre las propiedades químicas de suelos cultivados en café. Cenicafé. 2003. p 242-257

⁵² VALENCIA, G.; CARRILLO, F.; ESTRADA, L. La fertilización en la caficultura moderna colombiana. Suelos ecuatoriales. 1990. p 77-85.

⁵³ FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA-FNC. BOGOTÁ. COLOMBIA. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ – CENICAFE. Cartilla cafetera Vol. 3. Chinchina, Cenicafé. 2004

1.9. CULTIVO DEL GUAMO

Planta adaptada a las condiciones de climas tropicales y subtropicales, a climas con temperaturas medias iguales o superiores a 20°C, siempre y cuando no existan heladas; se adaptada a condiciones de precipitación entre 1,000 mm y más de 5,000 mm/anual pero no pueden tolerar las sequías cortas, aunque en su área de distribución natural algunos lluvia cae cada mes.⁵⁴ Así mismo se maneja una clasificación taxonómica (tabla 1).

Tabla 2. Clasificación taxonómica

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Fabales
Familia:	Fabaceae
Subfamilia:	Mimosoideae
Tribu:	Ingeae
Género:	<i>Inga</i>
Especie:	<i>I. edulis</i>

Fuente: es.wikipedia.org

El guamo es tolerante ha suelos ácidos con un ph de 4.0 y alta saturación de aluminio y en condiciones de suelos de desierto que han sido incorporados en sistemas de riego⁵⁵.

⁵⁴ COLLAZOS, C. La composición de los alimentos peruanos. Instituto de Nutrición. Ministerio de Salud. Lima. 1975. 35 p.

⁵⁵ LAWRENCE, A. *Inga edulis*, un árbol para suelos ácidos en el trópico húmedo. (en línea) En: Winrock: 1993 (consultada: 12 noviembre 2007). Disponible en la dirección electrónica: <http://www.winrock.org/fnrm/factnet/factpub/FACTSH/inga.htm>

Se le encuentra distribuida en toda América del Sur tropical, desde el Océano Pacífico al Atlántico, aunque solamente en la región amazónica existe de manera natural. Otras especies del género *Inga* son cultivadas desde tiempo precolombino en la costa peruana.⁵⁶

Requiere de un clima tropical, con abundante humedad. Se encuentra desde el nivel del mar hasta 2200 m donde no hay heladas, la temperatura media anual es de 21,3 a 27,3°C.⁵⁷ El guamo se adapta a una gran diversidad de suelos, ácidos y de baja fertilidad⁵⁸.

1.10. ESTUDIOS DE CASO

- En el municipio de Sogamoso, Departamento de Boyacá, se realizó el trabajo de investigación denominado: “Determinación de áreas óptimas para el cultivo de la uchuva *physalis* peruviana, con baja prevalencia de moscas de las frutas utilizando un sistema experto y una herramienta SIG. Caso de estudio municipio de Sogamoso, departamento de Boyacá”. Teniendo en cuenta los siguientes objetivos: Realizar una evaluación de tierras utilizando el sistema experto ALES para determinar la aptitud de uso; integrar la evaluación de ALES con ArcView para visualizar la localización de la aptitud de uso; modelar la interacción entre aptitud de uso, áreas de influencia de la plaga y algunos factores agronómicos de incidencia en el establecimiento de cultivos y la calidad de las frutas. Con lo cual se determinó que 6971.78 ha posee mediana aptitud y 6958.18 ha con baja aptitud. De otra parte el estudio de suelos realizado por la subdirección de Agrología del IGAC, define la mayoría de unidades de suelo con baja fertilidad, pero a un así el cultivo de uchuva se

⁵⁶ COLLAZOS, C. La composición de los alimentos peruanos. Instituto de Nutrición. Ministerio de Salud. Lima. 1975. 35 p.

⁵⁷ DUKE. *Inga edulis* Mart. (En línea) En: Hort: 2005 (consultada: 13 noviembre 2007). Disponible en la dirección electrónica: http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Inga_edulis.html

⁵⁸ *Ibid*, 19

adapta a condiciones de baja fertilidad. Collazos (2000) y Zapata (2002) arguyen que la uchuva tiene un ideal de precipitación que va desde los 1000 a 2000 mm/año, con humedades relativas entre 70-91.5%, aunque se han encontrado cultivos que han llegado a producción en niveles críticos de precipitación de 700 mm/año. Es quizá el drenaje la característica en que la uchuva es más exigente para poder sustentar su fisiología en condiciones adversas. Finalmente se concluyó que la Uchuva representa una alternativa productiva por su amplio rango de adaptación a condiciones difíciles de precipitación pluvial y fertilidad de los suelos. Asimismo la dispersión de la plaga se ve limitada por el aumento de altitud y se promueve por el movimiento de material vegetal procedente de zonas infestadas, o en su defecto por la estimulación de los hospederos silvestres o típicos y finalmente el sistema experto ALES representa una tecnología que facilita construir criterios de decisión a partir de variables cuantitativas y cualitativas las cuales pueden evaluarse eficazmente permitiendo a los técnicos iniciar procesos de ajuste y mejoramiento de los criterios modelando según los objetivos.⁵⁹

- El estudio se realizó en la Cuenca del río Aranjuez de la Región Pacífico Central, en una extensión de 22.017 has. En el cual se realizó la evaluación física y económica del café monocultivo con sombra tecnificado, por medio del Sistema Automatizado de Evaluación de Tierras (ALES) ligado a los Sistemas de Información Geográfica (SIG), teniendo en cuenta objetivos tales como: definir las unidades cartográficas (UC) que serían la demanda del cultivo de café; definir los requisitos de Uso de la Tierra (RUT), características y cualidades de la tierra que expresan la oferta particular de cada área de tierras y generar una matriz de aptitud física y económica del cultivo para cada UC.

⁵⁹ MOSQUERA, C. Determinación de áreas óptimas para el cultivo de la uchuva *Physalis peruviana*, con baja prevalencia de moscas de las frutas utilizando un Sistema experto y una herramienta SIG. Caso de estudio municipio de Sogamoso. Departamento de Boyacá. Trabajo de Grado para optar al título de Especialista en SIG. Instituto geográfico Agustín Codazzi – IGAC. Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica – CIAF en convenio con la Universidad Distrital Francisco José de caldas. Bogotá, Colombia, 2005. 42p

Según lo anterior se obtuvo los siguientes resultados: que la aptitud de clase 2 (moderadamente apto), representa el 33.64% del área total, aunque existen diferencias en cuanto al número de cualidades que restringe en forma moderada. Esta clase esta limitada por una capacidad de laboreo (Cal) media, una susceptibilidad a plagas y enfermedades (Spe) baja y una susceptibilidad para la comercialización (Spc) media. Las características de la tierra que afectan las cualidades son: pendiente fuertemente ondulada (45-90%), texturas finas y camino no transitable temporalmente. Para la clase 3 (marginalmente apto) observamos una capacidad de laboreo regular y una susceptibilidad a plagas y enfermedades alta. La clase 4 (no apto temporalmente) muestra una capacidad de laboreo muy baja, siendo restricción severa para esta área. Tanto la clase 3 representa 29,69% del área total y la clase 4 el 16% del total. De las 22017 Has el 33.52% no fueron estudiadas, porque es el área que se encuentra por debajo de los 700 msnm, la cual no es apta para el cultivo del café y finalmente se determina que el programa ALES permite incorporar la experiencia de los agricultores y técnicos para hacer estimaciones de aptitud y rendimientos.⁶⁰

- Ante el deterioro de los recursos naturales en zonas tropicales, los sistemas agroforestales han sido identificados como técnicas de manejo de la tierra que permiten una producción más sostenible. Por otra parte, las metodologías de zonificación agro-ecológica ayudan a ubicar aquellos tipos de uso del suelo que se ajustan mejor a las características físicas de una región. Sin embargo, aun no hay experiencias de zonificación agro-ecológica en sistemas agroforestales. En este trabajo se presento una propuesta tomando como modelo al sistema café-palma camedor. La propuesta se basa en selección y categorización de variables ambientales, la construcción del modelo cartográfico y la síntesis cartográfica y validación. En el mapa de zonificación

⁶⁰ MY LIBRARY. La tecnología de los sistemas de información geográfica en el uso de la tierra. (en línea). En: Accessmylibrary: 2004 (consultada: 25 febrero 2008). Disponible en la dirección electrónica [http:// www.accessmylibrary.com/coms2/summary_0286-32125365_ITM](http://www.accessmylibrary.com/coms2/summary_0286-32125365_ITM)

agro-ecológica se ubican los diferentes niveles de aptitud que se presentan en el área de estudio para este sistema, determinándose que 85,5% del área presenta restricciones ambientales. En la validación se utilizaron datos de distribución del sistema agroforestal y mediante la generación de modelos lineales generalizados se estimó el efecto que tienen las variables ambientales en su distribución. De las 11 variables solo la temperatura mínima (palma), la pedregosidad y la fertilidad del suelo no tuvieron significación estadística ($P > 0,05$). Con los modelos lineales se elaboraron mapas de probabilidad de presencia del sistema agroforestal; en el aspecto climático se registró un coeficiente de determinación de 0,70 y en el ámbito edafológico de 0,45. Se realizaron análisis de correlación entre los mapas de aptitud y los mapas de presencia del sistema agroforestal, registrándose solo correspondencia en el aspecto climático.⁶¹

⁶¹ MY LIBRARY. Metodología de zonificación agro-ecológica aplicable a los sistemas agroforestales, que permite identificar las zonas de mayor potencial productivo y aporta elementos para mejorar el uso del suelo. (en línea). En: Accessmylibrary: 2004 (consultada: 25 febrero 2008). Disponible en la dirección electrónica [http:// www.accessmylibrary.com/coms2/summary_0286-32125365_ITM](http://www.accessmylibrary.com/coms2/summary_0286-32125365_ITM)

2. DISEÑO METODOLOGICO

2.1. LOCALIZACIÓN

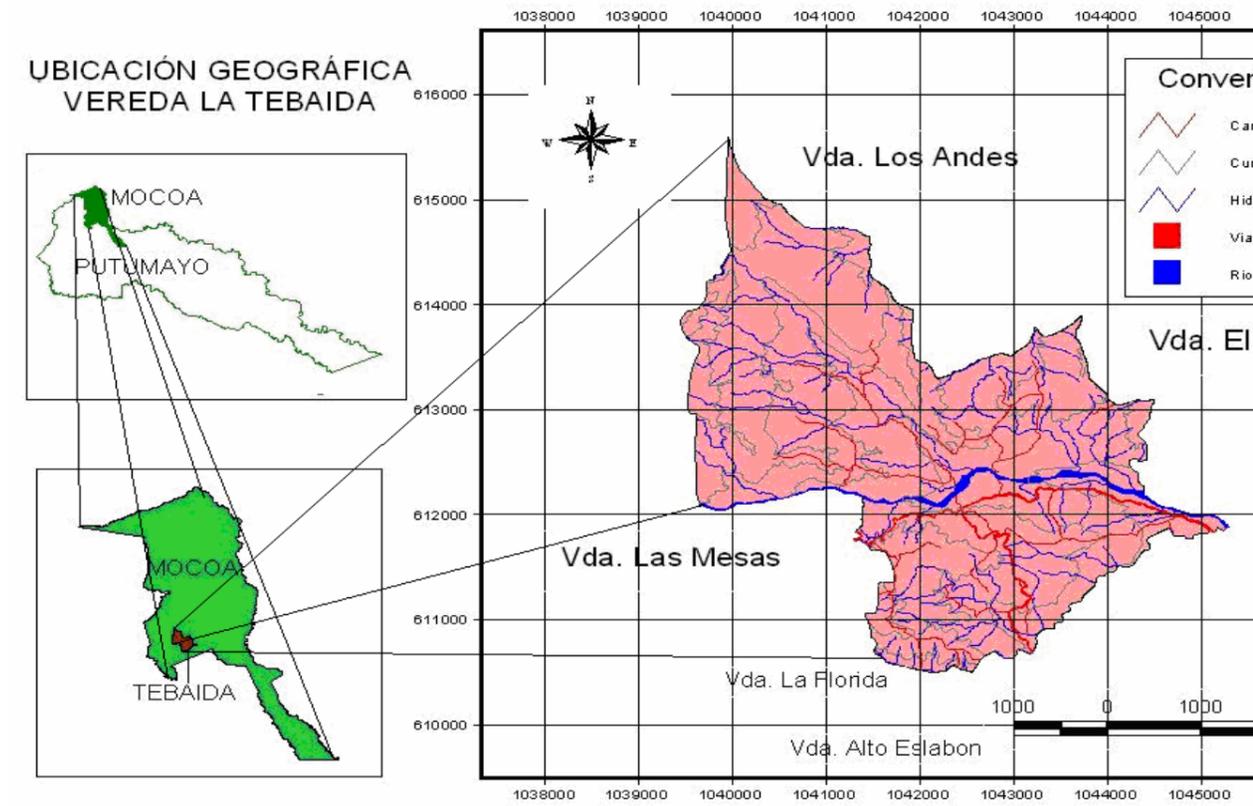
La presente investigación se realizó en la Vereda La Tebaida, del Municipio de Mocoa localizado en el Piedemonte amazónico, al noroeste del Departamento del Putumayo, con una extensión de 1.628 hectáreas; con una altura que va desde los 700 a los 1500 msnm; temperatura de 22 a 25 °C, precipitación entre los 1.500 y 3.000 mm anuales y promedio de humedad relativa del 80%.⁶² La vereda de estudio está situada entre las coordenadas planas N 612000 - W 1042000 (Figura 3)

2.1.1 Límites. La Vereda la Tebaida limita al sur con las veredas la Florida y Alto Eslabón, al oriente con la Vereda las Mesas, al norte con la vereda los Andes y al occidente con la Vereda el Pepino.⁶³

⁶² Plan básico de ordenamiento territorial (PBOT) Mocoa, 2006

⁶³ Ibid, 23

Figura 3. Mapa de La Vereda La Tebaida



Fuente: Esta investigación

2.2. METODOLOGIA

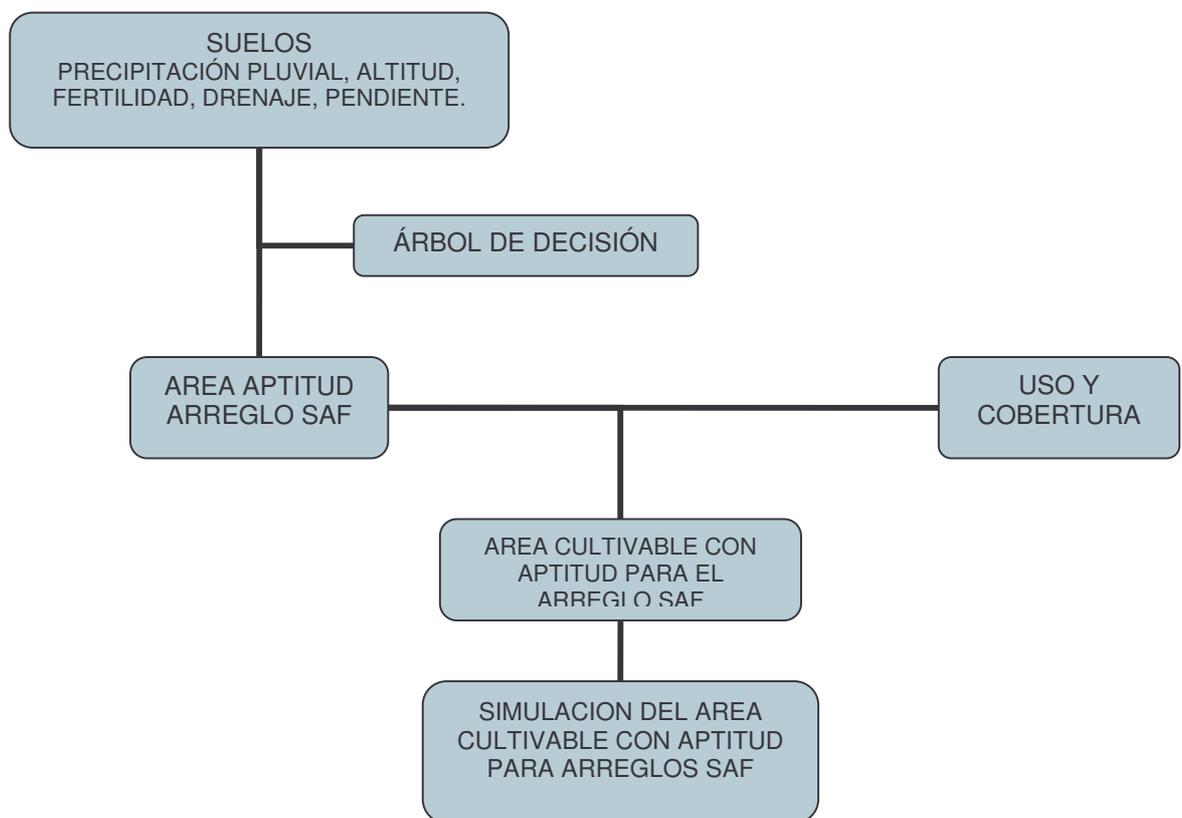
2.2.1. Recolección información primaria y secundaria. Con el Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) 2006 del Municipio de Mocoa, se obtuvo información biofísica de la vereda La Tebaida, referente al clima (temperatura, precipitación) y drenaje; así mismo, se realizaron análisis de suelos (anexo A resultados análisis de suelos) para determinar las condiciones que esta vereda presenta. Posteriormente con revisión bibliográfica se establecieron los requerimientos necesarios para el normal desarrollo tanto para el café como para el guamo. Se elaboraron encuestas semi-estructuradas para establecer aspectos generales en la población. La cartografía de la zona de investigación fue solicitada en CORPOAMAZONIA y Planeación Municipal, del mismo modo, al apoyo de la Organización de Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC) la cual facilitó imágenes satelitales del año 2005 y 2006 del Municipio de Mocoa, con las que se estableció el uso y cobertura del área de estudio.

2.2.2. Organización y elaboración de base de datos. Una vez se obtuvo la información extraída de los documentos que soportan el PBOT, CORPOAMAZONIA, UNODC, las encuestas y los análisis de suelos se organizaron en tablas Excel para obtener un orden sistemático que facilitó la realización de la base de datos en Access. Posteriormente, se realizó el modelo entidad-relación para el cultivo del café y la especie arbórea guamo que define qué atributos tiene cada identidad, así como las llaves primarias y foráneas que van a permitir relacionar las entidades entre sí para generar una identificación por nombre y tipo.

Para el diseño del modelo entidad relación se tuvieron en cuenta principalmente las entidades que estructuran el uso y cobertura del suelo, requerimientos del cultivo (tanto para el café como para el guamo) y unidades de suelo determinadas en el modelo.

2.2.3. Diseño de modelo conceptual. Por medio del modelo conceptual (Figura 4), se simularon las variables representativas para cada cultivo (café y guamo), las cuales se relacionaron para obtener su interacción lo que permitió establecer la aptitud de las especies. En el caso específico de este trabajo se tomó como elemento fundamental las condiciones climáticas, topográficas y químicas del suelo para definir la aptitud.

Figura 4. Modelo conceptual



Fuente. Esta investigación

Una vez determinadas las variables a utilizar tanto en el modelo del café y el guamo se formulan, elaboran y validan los árboles de decisiones que determinaron las aptitudes físicas. Mas adelante, con las unidades de tierra establecidas por el grado de pendiente (tabla 3) (teniendo en cuenta que la zona

no cuenta con un estudio de suelos) se definió las áreas con aptitud para el arreglo agroforestal café-guamo. Igualmente, para discriminar las zonas no aptas para cultivos (asentamientos urbanos, carreteras, ríos) y aquellas que puedan ser utilizadas para el establecimiento del arreglo, se considera el uso y cobertura de la zona. Además, las zonas aptas son la base para definir el área cultivable con aptitud del arreglo SAF y así finalmente simular las áreas con aptitud física con sus respectivas limitantes correspondientes a la zona.

Tabla 3. Clasificación de pendiente.

Característica	Grado de pendiente
Sin pendiente	< 2 %
Suave	2 – 6 %
Inclinada	6 – 13 %
Muy Inclinada	13 – 20 %
Escarpada	20 – 55 %
Muy escarpada	> 55 %

Fuente: Arcview 3.2, extensión cartografía de erosión

2.2.4. Modelación en Automated Land Evaluation System (ALES) para la aptitud de las unidades de suelo. Teniendo en cuenta los requerimientos para cada especie se ingresó los datos al sistema experto ALES para construir los modelos y evaluar la aptitud, así mismo, se digitaron las características y cualidades de las variables utilizadas que determinan las unidades de tierra. De igual manera, se ingresaron las especificaciones de los tipos de utilización de tierra de cada especie, y finalmente se procedió a almacenar las diferentes unidades cartográficas encontradas en la vereda.

Para el cultivo de café se empleó la clasificación de aptitud de: apta, medianamente apta, aptitud baja, aptitud muy baja y no apto, del mismo modo, para el guamo se utilizó la clasificación de: apta, medianamente apta, aptitud baja

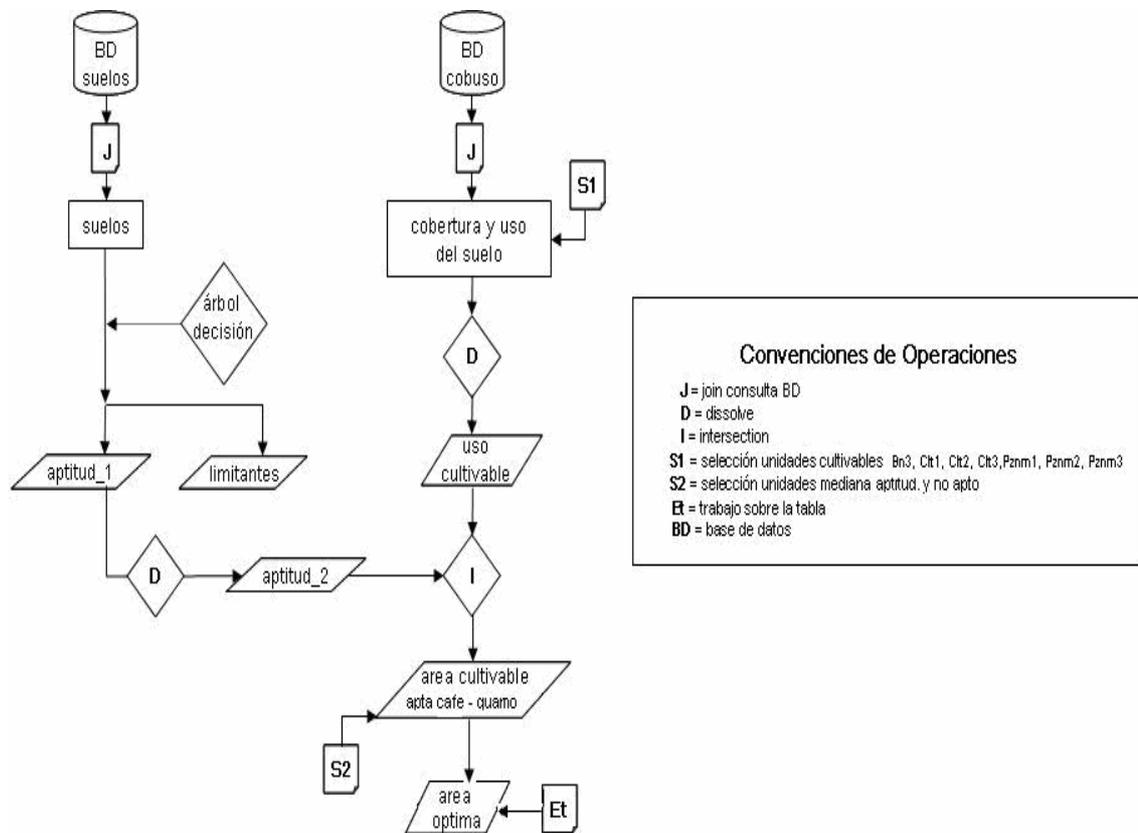
y no apto, con los cuales se realizaron los árboles de decisión en el sistema experto ALES con las variables determinadas para cada especie.

2.2.5. Reestructuración topológica de los mapas. Este proceso correspondió a la corrección topológica de los mapas en formato vector para corregir errores tales como: líneas re-digitalizadas, llegada incorrecta (undershoot y overshoot), polígonos abiertos, sliver, ausencia y deficiencia de identificadores e información escondida.

2.2.6. Digitalización de mapas. En esta actividad se exportó los mapas en formato *.dwg a *.dxf, igualmente, la imagen satelital se importó a ArcView 3.2 y se digitalizaron en forma manual y en modo puntual. Se les definió el sistema de proyección Transverse Mercator con Datum WGS 84. Se utilizaron las extensiones que vienen con el programa tales como: Digitizer, IMAGE image support, JPEG image support, TIFF image support, cad reader, geoprocessing; igualmente, se descargaron de Internet las extensiones: calcula ha; cadtools; CAD2Shapes; Cad layer extractor (Autor: Anthony Webb); QDIR Tool (Autor: Todd Poston); Cartografía de erosión (Autor: Daniel Farré Huguet)

2.2.7. Modelo cartográfico. El modelo cartográfico se operó con la herramienta SIG (Arcview 3,2) realizando operaciones de relación con bases y funciones espaciales como: dissolve, unión, intersección, selecciones por atributos y espaciales y join con la base de datos en Access En la figura 5 se presenta el modelo cartográfico explicando las diferentes funciones, operaciones y análisis del modelamiento realizado.

Figura 5. Modelo cartográfico



Fuente: Mosquera, 2005.

En el modelo cartográfico se confrontó la base de datos de suelos (representa la oferta que el suelo tiene para poder implementar el arreglo, donde posteriormente se realiza un árbol de decisiones que determinará la aptitud y limitantes que el cultivo o especie puede tener), con la base de datos de uso y cobertura, con la cual se seleccionan las unidades cultivables y mediante una intersección podemos tener el área cultivable apta para el arreglo y finalmente comparando lo que me ofrece el suelo con el uso y cobertura obtenemos las áreas aptas.

2.2.8. Aplicación del sistema experto (ALES) y la herramienta SIG (Arcview).

Se definieron las unidades de tierra (UT) para el café y guamo. Las cualidades y características de las UT fueron definidas por los tipos de suelo, con sus

respectivas propiedades climáticas, topográficas y químicas. Los tipos de uso de tierra (TUT) para cada especie se evaluaron individualmente teniendo en cuenta sus requerimientos agro-ecológicos. Una vez evaluada la aptitud de cada especie en ALES se exportó a formato *.txt, donde posteriormente se digitalizaron los resultados en la herramienta SIG Arcview para ser visualizada, con la cual se generaron los respectivos mapas.

2.2.9. Validación del modelo con los productores. Se evaluó las zonas aptas determinadas por la herramienta SIG y el sistema experto, además, de verificar si las áreas visualizadas como aptas corresponden a la realidad. Lo anterior se realizó en compañía de los productores de la zona los cuales fueron parte importante para demostrar que el modelo es acorde con su panorama. Para realizar esta actividad fue necesario reunir a los productores cafeteros y el panel de expertos mediante una charla informal, en el cual se explicó el modelo y las variables utilizadas.

2.2.10. Generación de mapas (Visualización). Finalmente las áreas óptimas para el establecimiento de los arreglos son visualizadas en mapas a escala 1:40.000.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. ÁREAS CULTIVABLES CON APTITUD PARA EL ARREGLO SAF CAFÉ – GUAMO MEDIANTE EL USO DEL SISTEMA EXPERTO ALES

Cada especie posee ciertas condiciones o requerimientos tanto climáticos, fisiográficos, edáficos y/o culturales que determinan las aptitudes en diferentes zonas geográficas, es por ello que se analizaran tanto para el café y el guamo sus diferentes aptitudes de acuerdo a los requerimientos que estas poseen.

3.1.1. Determinación de las unidades de tierra y tipos de utilización de tierra.

Se recolectó información primaria y secundaria teniendo en cuenta el Plan básico de ordenamiento territorial de Mocoa, los análisis de suelos y revisión bibliográfica, la cual, se fortaleció con un panel de expertos de la región conformado por algunos agricultores: Iván Piedrahita (productor con experiencia de 20 años en manejo del cultivo), Wilson meneses (Presidente de la Asociación de cafeteros de la tebaida); técnicos de la región: Francisco Ordóñez (Administrador agropecuario). De este modo, se determinó los requerimientos de los cultivos (café-guamo), con lo cual, se tomó las variables de temperatura, precipitación pH, materia orgánica, drenaje, % pendiente, contenido de potasio, nitrógeno y fósforo para el cultivo del café; ya que estas son las más influyentes para obtener una buena aptitud del cultivo, de igual manera, se seleccionaron las variables de temperatura, precipitación, altitud y pH para el guamo. Con lo cual, se efectúa el modelo en el sistema experto y posteriormente conocer la aptitud de las tierras.

Lo anterior se realizó mediante visitas a campo donde se realizaron encuestas semi-estructuradas y se entrevistó a los diez productores de café de la zona y a los tres técnicos de apoyo. Además, se tomaron dos análisis de suelos en aquellos sitios donde hay implementado café y guamo, (Figuras 6 y 7).

Figura 6. Tecnología local del cultivo de café asociado con guamo y plátano.



Fuente: Esta investigación

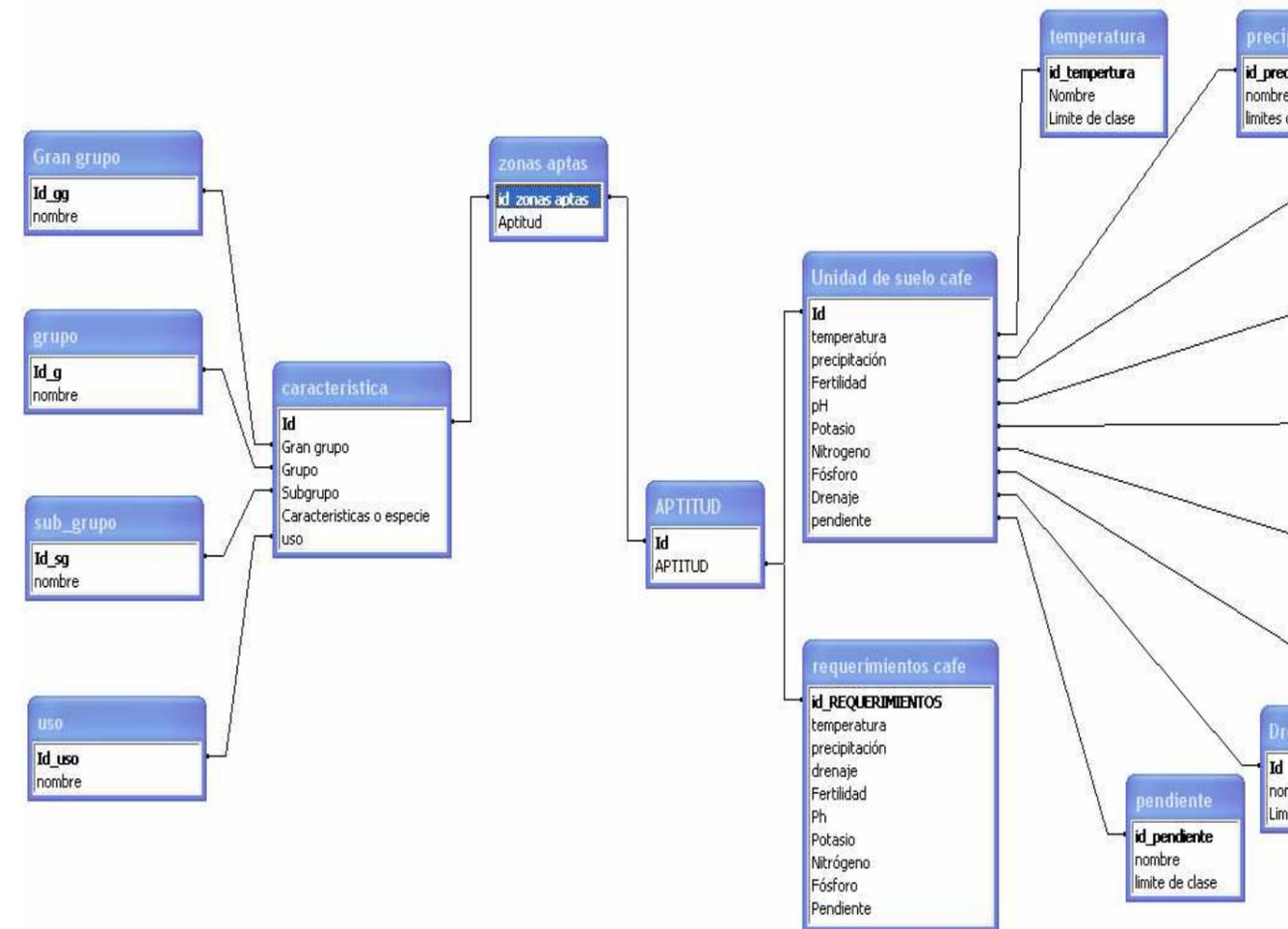
Figura 7. Toma de muestra de suelos



Fuente: Esta investigación

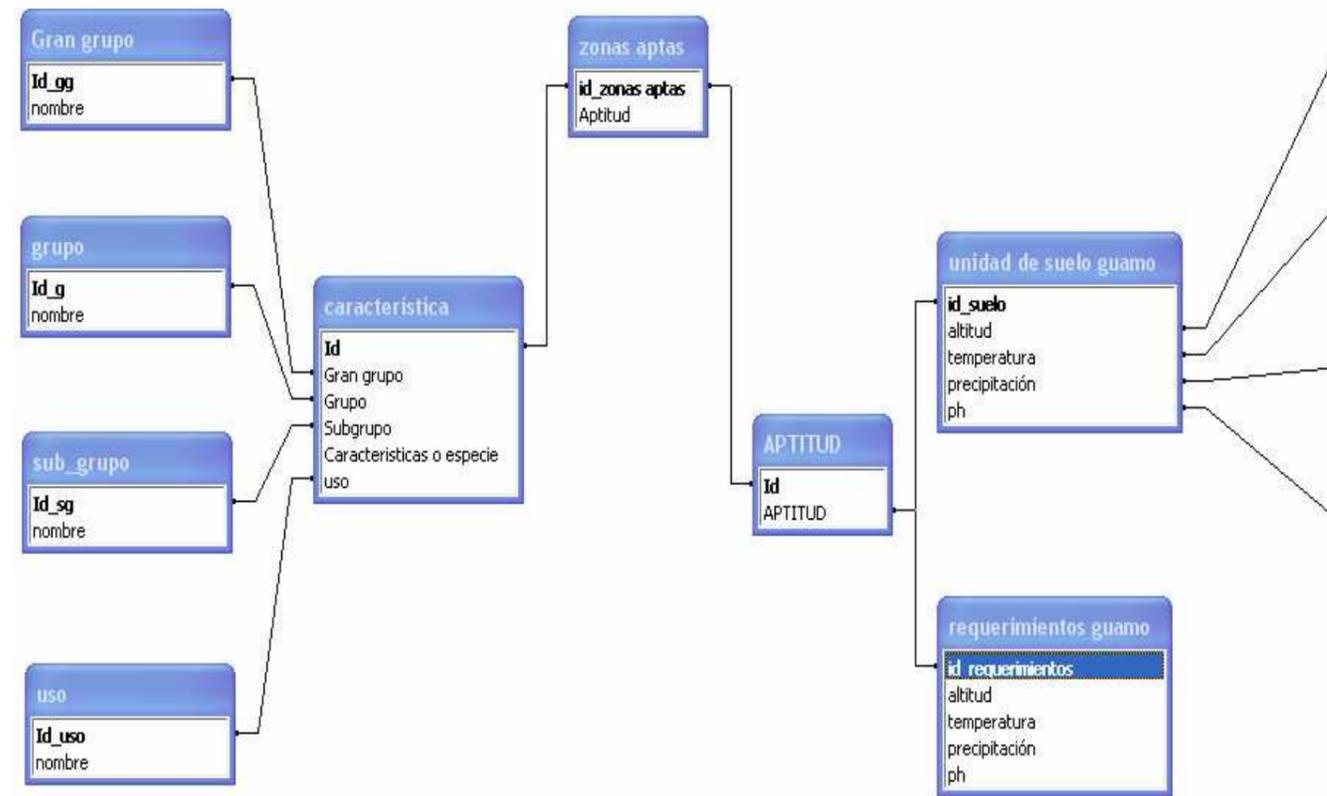
3.1.2. Elaboración del modelo Entidad-Relación. En la base de datos se definió las entidades (temperatura, precipitación, pH, materia orgánica, drenaje, pendiente y contenido de potasio, nitrógeno y fósforo; unidades de suelo, uso y cobertura, aptitud, áreas aptas) donde se realizó el modelo entidad-relación para el cultivo café y la especie arbórea guamo (Figura 8 y 9) que define que atributos tiene cada identidad.

Figura 8. Modelo entidad – relación para el cultivo de café



Fuente: Esta investigación

Figura 9. Modelo entidad – relación para la especie arbórea guamo.



Fuente: Esta investigación

Así mismo, se definió las unidades de tierra (UT) tanto para el café y guamo (anexo B. Características de las unidades de suelo), tomando como base el grado de pendiente y como esta varia en el contenido de potasio, nitrógeno, fósforo, materia orgánica y pH según los análisis de suelos tomadas en estas áreas; la temperatura, la precipitación, altitud y drenaje según el PBOT.

De igual manera, se describieron los tipos de utilización de tierra (TUT) tanto para el cultivo del café como para la especie arbórea guamo (anexo C. Características seleccionadas para café y guamo) donde se definió el código utilizado en el sistema, el nombre de la característica, el número de clases, códigos de las clases, nombre de las clases y límites de cada clase, los cuales, representan los requerimientos que tiene cada especie.

En cuanto a característica drenaje para el café se calificó en tres clases, la primera “bueno” con una capacidad de retención de humedad media, retienen la cantidad adecuada de agua pero no llegan a saturarse en la superficie, de llegar a empozarse no sería por mucho tiempo, lo cual no llegaría a causar daño a los cultivos. La segunda “excesivo” son suelos con una conductividad hidráulica muy alta y baja retención de humedad, no son apropiados para cultivos a menos que se irriegen. La tercera “pobre” son suelos que permanecen saturados hasta las capas superficiales, durante una considerable parte del año.⁶⁴

3.1.3 Árboles de decisión en ALES. La creación del árbol de decisión tuvo por objeto definir restricciones, grados de severidad y límites de los factores que interactúan en la definición de requerimientos de las TUT (anexo D. Árbol de decisión para café y guamo), también, se buscó la creación de subclases con el fin de particularizar el factor que determina la viabilidad de la TUT en evaluación, (Figuras 10 y 11).

⁶⁴ MEJIA, L. Pedología de suelos. CIAF, Unidad de suelos y agricultura. Bogotá, Colombia, 1983. 176 p.

Figura 10. Esquema de árbol de decisión alimentado en ALES para el cultivo de café.

```

ALES
Arbol de decisión para la Aptitud Física del TUT 'cafe_1' 8
temp temperatura 1 1 (optima)
prec precipitacion 1 1 (optima)
dren drenaje 1 1 (bueno)
fert fertilidad 1 1 (alta)
ph ph 1 1 (optimo)
pot contenido de potasio 1 1 (bueno)
nit contenido de nitrogeno 1 1 (optima)
fos contenido de fosforo 1 1 (optimo)
pend pendiente
1 1 (sin pendiente) * 1
2 2 (suave) * 1
3 3 (inclinada) * 1
4 4 (muy inclinada) * 1
5 5 (escarpada) * 1
6 6 (muy escarpada) * 2pend
? [???] ?
F1? F2?? ←,F3Ins. * F5Cortar F10Fin. ↑ ↓ ←

```

Fuente: Esta investigación

Figura 11. Esquema de árbol de decisión alimentado en ALES para el Guamo

```

ALES
Arbol de decisión para la Aptitud Física del TUT 'guamo' 13
alt altitud 1 1 (optima)
temp temperatura 1 1 (optima)
prec precipitacion 1 1 (optima)
ph ph
1 1 (optimo) * 1
2 2 (alto) * 2ph
3 3 (bajo) * 2ph
? [???] ?
F1? F2?? ←,F3Ins. * F5Cortar F10Fin. ↑ ↓ ←

```

Fuente: Esta investigación

3.1.4. Aptitud para el cultivo de café. Una vez realizada la simulación en el sistema experto ALES según la oferta de las unidades de tierra (UT), el modelo arroja los resultados que se observan en la Tabla 4, la cual indica que la vereda zonificada es medianamente apta para el cultivo del café aclarando que cada UT tiene sus respectivas limitantes. Cabe destacar que en estas áreas no se tiene en cuenta el uso y cobertura.

Tabla 4. Matriz generada por ALES para la aptitud de las unidades de suelo de café

Código suelo	Aptitud	Limitante	Hectáreas
T1	Mediana aptitud	fos/pot/pH/dren	313
T2	Mediana aptitud	fos/pot/pH/fert	32
T3	Mediana aptitud	pot/pH	85
T4	Mediana aptitud	pH	420
T5	Mediana aptitud	pH	740
T6	Mediana aptitud	pend/pot/pH	39

Fuente: Esta investigación

Según el uso y cobertura las áreas cultivables seleccionadas fueron: cultivos transitorios, perennes, pastizales y bosques secundarios en estado de rastrojo, descartando bosque nativo primarios, suelos eriales y cuerpos de agua. Según el modelo ALES el 79.13 % correspondiente a 1288.64 has tienen mediana aptitud y el 20.87 % correspondiente a 340 has son no aptas las cuales no son producto de ALES sino de uso y cobertura ya que existen zonas que se deben discriminar como: vías, ríos, asentamientos urbanos, afloramientos rocosos.

Basado en la aptitud media encontrada en el modelo ALES y teniendo en cuenta el uso y cobertura se cuantificaron las limitantes que afectan las unidades de tierra. (Tabla 5)

Tabla 5. Limitantes de aptitud media encontradas en café.

Unidades de Tierra	Limitante	Hectáreas
T1	fos/pot/pH/dren	247.26
T2	fos/pot/pH/fert	25.53
T3	pot/pH	85
T4 y T5	pH	917.31
T6	pend/pot/pH	31,11

Fuente: Esta investigación

Considerando la aptitud media encontrada en el modelo, la principal característica limitante fue el pH en la clase baja “bj”, encontrando un rango que oscila entre 4 – 4.7, corroborando CENICAFE (2007)⁶⁵, que el café se adapta y tiene mejor rendimiento en pH que oscila entre 5 y 6.5.

Sin embargo con los pH determinados en los análisis de suelos se encontró que algunos cafetales si se han adaptado, a lo que Muschler (2000)⁶⁶ afirma que el cafeto crece y se desarrolla mejor en suelos ácidos.

El cafeto según CENICAFE y la FEDERACION DE CAFETEROS (2004)⁶⁷ prefiere una reacción ligeramente acida, ósea, un pH entre 6 y 6,5, pero que se pueden obtener excelente cosechas en suelos más ácidos.

⁶⁵ CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFE – CENICAFE. El clima para los cafetales. (En línea) En: cenicafe, Colombia (Chinchina-Caldas):2004 (consultada: 23 noviembre 2007). Disponible en la dirección electrónica: http://www.cenicafe.org/modules/Publications2/docs/doc_views/viewpdf.php?filedownload=Y2NfdElfZjAyLnBkZg==&its_ok=ok&doc=CartillaCafeteraTomo1-2.pdf

⁶⁶ MUSCHLER, R. Árboles en cafetales. Turrialba, CATIE. 2000. 139p

⁶⁷ FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA-FNC. BOGOTA. COLOMBIA. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ – CENICAFE. Cartilla cafetera Vol. 3. Chinchina, Cenicafe. 2004

Otra de las variables que esta Incidiendo en la aptitud del café es el contenido de potasio, encontrando concentraciones de 0.19, 0.25 y 0.26 meq/100g equivalente a 148.2 Kg/ha, 195 Kg/ha y 202.8 Kg/ha respectivamente, con lo cual estos suelos no cumplen con los requerimientos que necesita el café, a lo que CENICAFÉ (2007)⁶⁸ afirma que el cultivo debe estar mínimo entre 0.30 y 0.40 meq/100 (234 y 312 Kg/ ha) para obtener buenos rendimientos.

La deficiencia de potasio causa que los frutos sean pequeños, poco carnudos disminuyendo la calidad y cantidad de la producción. Valencia (1999)⁶⁹ afirma, que al bajar el nivel de potasio se nota una disminución en la síntesis de almidón y como resultado puede aseverarse que en consecuencia el crecimiento de la planta ocurre más lentamente y las cosechas disminuyen. Además, según Melendez y Molina, manifiestan que la deficiencia de potasio no permite que los estomas se cierren rápidamente y la planta pierde agua, restringe el crecimiento de las raíces particularmente las laterales, prolonga el llenado de grano o fruto y pérdida de hojas.⁷⁰

Para contrarrestar esta limitante se debe subir el contenido de este elemento mediante la incorporación de 172 Kg/ha de K₂O para la unidad de tierra T2, 78.4 Kg/ha de K₂O para la unidad de tierra T1 y 62.66 Kg/ha de K₂O para las unidades de tierra T4 y T6.

Según el sistema experto ALES, el fósforo en las unidades de tierra con código T1 y T2 presentan valores de 3 y 2 ppm respectivamente correspondiente a 6 Kg/ha y

⁶⁸ CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFE – CENICAFE. El suelo para los cafetales. (En línea) En: cenicafe, Colombia (Chinchina-Caldas):2004 (consultada: 23 noviembre 2007). Disponible en la dirección electrónica: http://www.cenicafe.org/modules/Publications2/docs/doc_views/viewpdf.php?filedownload=Y2NfdElfZjAyLnBkZg==&its_ok=ok&doc=CartillaCafeteraTomo1-3.pdf

⁶⁹ VALENCIA, A. Fisiología, nutrición y fertilización del cafeto. Chinchiná, Cenicafé-Agroinsumos del café. 1999. 94p.

⁷⁰ MELENDEZ, G. y MOLINA, E. Características y manejo de fertilizantes que contienen nitrógeno, fósforo y potasio. (En línea). Disponible en Internet: URL: <http://www.cia.ucr.ac.cr/docs/CIA-Fertilizantes.pdf>. 2008

4 Kg/ha, a lo que LA FEDERACIÓN DE CAFETEROS - CENICAFE (2004)⁷¹ y Arcila, Farfán (2007)⁷², afirman que el cafeto tienen buenos rendimientos cuando los suelos presentan contenidos de 6 – 14 ppm (12 y 28 kg/ha) de fósforo.

Para contrarrestar esta limitante se debe subir el contenido de este elemento mediante la incorporación de 68 Kg/ha de P₂O₅ para la unidad de tierra T2, 91 Kg/ha de P₂O₅ para la unidad de tierra T1.

En suelos con pobre drenaje de la vereda la tebaida, el café puede llegar a desarrollar un sistema radicular muy débil debido al exceso de humedad lo que genera ataque de plagas y enfermedades, a lo cual CENICAFÉ (2007)⁷³ e INFOAGRO (2007)⁷⁴ aseveran que el café se adapta mejor cuando se tiene un buen drenaje. Según Mejía (1983)⁷⁵, cuando el drenaje es pobre, los suelos permanecen saturados hasta las capas superficiales, durante una considerable parte del año.

Para que el café se pueda sembrar en suelos pobres en drenaje, es necesario la construcción de zanjas de escorrentía, de tal modo que el agua que se almacena en dichas áreas sea desalojada rápidamente.

⁷¹ FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA-FNC. BOGOTA. COLOMBIA. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ – CENICAFE. Cartilla cafetera Vol. 3. Chinchina, Cenicafe. 2004

⁷² ARCILA, J; FARFAN, F y otros. Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchina, Cenicafe. 2007. 309p.

⁷³ CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFE – CENICAFE. El suelo para los cafetales. (En línea) En: cenicafe, Colombia (Chinchina-Caldas):2004 (consultada: 23 noviembre 2007). Disponible en la dirección electrónica: http://www.cenicafe.org/modules/Publications2/docs/doc_views/viewpdf.php?filedownload=Y2NfdElfZjAyLnBkZg==&its_ok=ok&doc=CartillaCafeteraTomo1-3.pdf

⁷⁴ INFOAGRO. Cultivo del café. (en línea) En: Infoagro: 2004 (consultada: 15 octubre 2007). Disponible en la dirección electrónica: <http://www.infoagro.com/herbaceos/industriales/cafe3.asp>

⁷⁵ MEJIA, L. Pedología de suelos. CIAF, Unidad de suelos y agricultura. Bogotá, Colombia, 1983. 176 p.

En cuanto a la moderada fertilidad encontrada en un tipo de unidad de tierra, esta es una limitante que influye en el rendimiento del cultivo, a lo que CENICAFÉ (2007)⁷⁶ manifiesta que el café se adapta y tiene buenos rendimientos cuando la fertilidad contiene más del 8% de materia orgánica. Del mismo modo, Valencia, Carrillo y Estrada (1990)⁷⁷, afirman que cuando el cafeto se cultiva en suelos de baja fertilidad, la absorción total de nutrientes es menor, el crecimiento no ocurre a una velocidad adecuada y las cosechas disminuyen.

CENICAFE (2007)⁷⁸ afirma, que la gran mayoría de los suelos de la zona cafetera son pendientes, un sistema que favorece su conservación es el trazo de curvas en contorno o a través de la pendiente.

3.1.5. Aptitud para la especie arbórea guamo. Realizada la simulación con el sistema experto según la oferta de las UT el modelo arrojó los resultados que se muestran en la tabla 6 donde indica que las áreas estudiadas presentan buena aptitud para cada unidad de las UT, de igual manera se obtiene las hectáreas de cada UT con lo cual se predice que el total de la vereda es apta para implementar la especie arbórea Guamo. Cabe destacar que los valores de las hectáreas consignados en la tabla, únicamente hace referencia a las áreas de las UT, sin tener en cuenta el uso y cobertura.

⁷⁶ CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFE – CENICAFE. El suelo para los cafetales. (En línea) En: cenicafe, Colombia (Chinchina-Caldas):2004 (consultada: 23 noviembre 2007). Disponible en la dirección electrónica: http://www.cenicafe.org/modules/Publications2/docs/doc_views/viewpdf.php?filedownload=Y2NfdElfZjAyLnBkZg==&its_ok=ok&doc=CartillaCafeteraTomo1-3.pdf

⁷⁷ VALENCIA, G.; CARRILLO, F.; ESTRADA, L. La fertilización en la caficultura moderna colombiana. Suelos ecuatoriales. 1990. p 77-85.

⁷⁸ CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFE – CENICAFE. Trazado, ahoyado y trasplante. (En línea) En: cenicafe, Colombia (Chinchina-Caldas):2004 (consultada: 23 noviembre 2007). Disponible en la dirección electrónica: http://www.cenicafe.org/modules/Publications2/docs/doc_views/viewpdf.php?filedownload=Y2NfdElfZjAyLnBkZg==&its_ok=ok&doc=CartillaCafeteraTomo1-5.pdf

Tabla 6. Matriz generada por ALES para la aptitud de las unidades de suelo de Guamo

Código suelo	Aptitud	Limitante	Hectáreas
T1	Apto		313
T2	Apto		32
T3	Apto		85
T4	Apto		420
T5	Apto		740
T6	Apto		39

Fuente: Esta investigación

Las áreas cultivables seleccionadas fueron: cultivos transitorios, perennes, pastizales y bosques secundarios en estado de rastrojo, descartando bosque nativo primarios, suelos eriales y cuerpos de agua. Según el modelo ALES el 79.13 % correspondiente a 1288.64 has son aptas y el 20.87 % correspondiente a 340 has son no aptas las cuales no son producto de ALES sino de uso y cobertura ya que existen zonas que se deben discriminar como: vías, ríos, asentamientos urbanos, afloramientos rocosos.

La zona es completamente apta para la implementación del guamo, por que presentan condiciones y características favorables para que la especie se desarrolle normalmente, ya que esta planta tolera suelos ácidos puesto que Smytle (1993) citado por winrock (2007)⁷⁹ asegura que el guamo es tolerante ha suelos ácidos con un pH de 4.0 y alta saturación de aluminio y en condiciones de suelos de desierto que han sido incorporados en sistemas de riego.

⁷⁹ LAWRENCE, A. Inga edulis, un árbol para suelos ácidos en el trópico húmedo. (en línea) En: Winrock: 1993 (consultada: 12 noviembre 2007). Disponible en la dirección electrónica: <http://www.winrock.org/fnrm/factnet/factpub/FACTSH/inga.htm>

De igual manera el guamo tolera precipitaciones altas que favorece su desarrollo y controla problemas causados por erosión hídrica, Collazos (1975)⁸⁰ afirma que el guamo se adaptada a condiciones de precipitación entre 1,000 mm y más de 5,000 mm/anual pero no pueden tolerar las sequías cortas, aunque en su área de distribución natural algunas lluvias caen cada mes.

También para determinar la aptitud se tuvo en cuenta la temperatura, la incide en que la especie se adapte a un área determinada, es así como la zona de estudio es propicia para implementar el guamo, porque reúne el nivel óptimo (23°C) para que la especie se desarrolle normalmente. Duke (1983)⁸¹ argumenta que la temperatura media anual es de 21,3 a 27,3 ° C para esta especie, de igual manera Collazos (1975)⁸² el guamo se adapta a temperaturas medias iguales o superiores a 20°C, siempre y cuando no existan heladas.

Por ultimo el factor altitud en la zona es adecuada para implementar la especie mencionada, porque Duke (1983)⁸³ asevera que esta especie es encuentra desde el nivel del mar hasta 2200 m donde no hay heladas.

Teniendo en cuenta la simulación y ejecución del sistema experto tanto en café como en guamo se puede asegurar que los sistemas de evaluación de tierras son alternativas que permiten generar conocimiento y organizar el uso del suelo. Van Diepen (1991)⁸⁴, el cual define la evaluación de tierras como "todo método para explicar o predecir el potencial de uso de la tierra".

⁸⁰ COLLAZOS, C. La composición de los alimentos peruanos. Instituto de Nutrición. Ministerio de Salud. Lima. 1975. 35 p.

⁸¹DUKE. Inga edulis Mart. (En línea) En: Hort: 2005 (consultada: 13 noviembre 2007). Disponible en la dirección electrónica: http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Inga_edulis.html

⁸² COLLAZOS, C. La composición de los alimentos peruanos. Instituto de Nutrición. Ministerio de Salud. Lima. 1975. 35 p.

⁸³DUKE. Inga edulis Mart. (En línea) En: Hort: 2005 (consultada: 13 noviembre 2007). Disponible en la dirección electrónica: http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Inga_edulis.html

⁸⁴ROSSITER, D. Evaluación de tierras. (En línea) En: itc: 2003 (consultada: 20 febrero de 2008). Disponible en la dirección electrónica: http://www.itc.nl/~rossiter/pubs/clcs96_b.htm

Según lo anterior, con estas explicaciones y predicciones se empieza a generar bases confiables para la organización del uso del suelo, con lo cual el sistema ALES permite generar y almacenar los conocimientos empíricos que se pueden utilizar en forma práctica por cualquier tipo de usuario.

Según Rossiter y Van Wambeke (1995), ALES es un programa de computación que permite a los evaluadores de tierras construir sistemas expertos para sus evaluaciones, según el método presentado en el esquema de la FAO, hecho más concreto en ciertos aspectos y mejorado en cuanto a la evaluación microeconómica. Los evaluadores construyen sus propios modelos, que son representaciones de sus ideas sobre la relación tierra vs. uso, tomando en cuenta los objetivos y condiciones locales. ALES no es en sí mismo un sistema experto, ni tampoco posee conocimiento alguno acerca de las tierras y sus usos. Es un 'esquema' dentro del cual los evaluadores pueden expresar sus propios conocimientos locales.⁸⁵

La realización de árboles de decisión contribuye a identificar y minimizar los riesgos de determinadas áreas, que conlleven a implementar mejor las condiciones del cultivo del café y este tenga sus mejores rendimientos. Mosquera, (2005) afirma que el sistema experto ALES permite realizar comparaciones múltiples por medio de árboles de decisión, que finalmente conducen a definir las mejores opciones en un caso determinado.⁸⁶

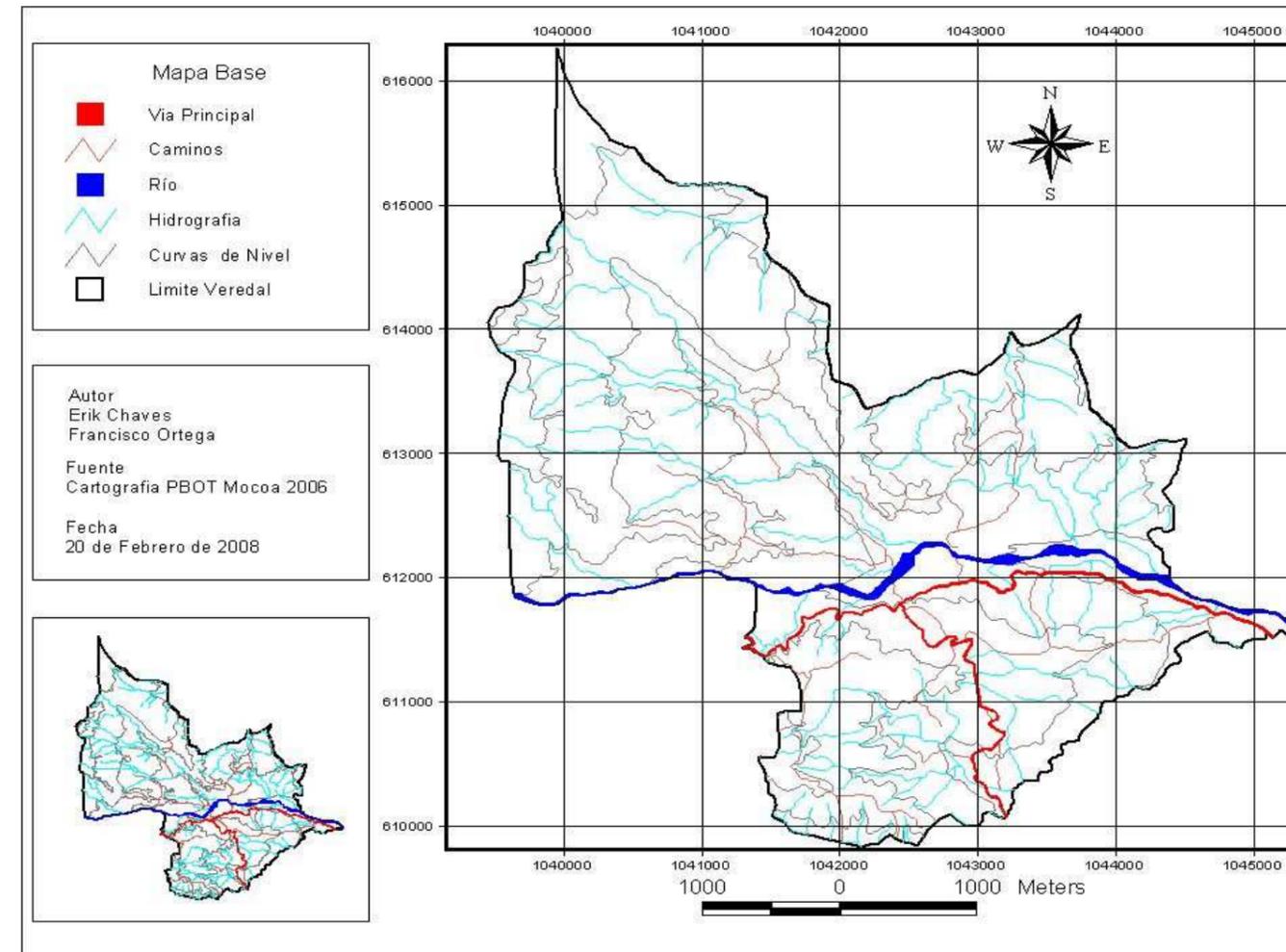
⁸⁵ ROSSITER, D. El Sistema Automatizado para la Evaluación de Tierras (ALES). (En línea) En: itc: 2003 (consultada: 20 febrero de 2008). Disponible en la dirección electrónica: http://www.itc.nl/~rossiter/pubs/clcs96_b.htm

⁸⁶ MOSQUERA, C. Determinación de áreas óptimas para el cultivo de la uchuva *Physalis peruviana*, con baja prevalencia de moscas de las frutas utilizando un Sistema experto y una herramienta SIG. Caso de estudio municipio de Sogamoso. Departamento de Boyacá. Trabajo de Grado para optar al título de Especialista en SIG. Instituto geográfico Agustín Codazzi – IGAC. Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica – CIAF en convenio con la Universidad Distrital Francisco José de caldas. Bogotá, Colombia, 2005. 42p

3.2. VALIDACIÓN DEL MODELO DEL ARREGLO AGROFORESTAL EN LA ZONA DE ESTUDIO BASADO EN LAS HERRAMIENTAS SIG.

De acuerdo a la cartografía de planeación municipal de Mocoa y Corpoamazonia; se realizó corrección topológica y posterior digitalización a los mapas de: predial, curvas de nivel, hidrografía, vías, zonas agroecológicas, limite veredal. Que son base para la proyección y elaboración de los mapas de aptitud tanto para café, guamo y el arreglo en si. Además de obtener el mapa base de la zona (Figura 12).

Figura 12. Mapa base de la vereda La Tebaida



Fuente: Cartografía PBOT Mocoa 2006, CORPOAMAZONIA 2007.

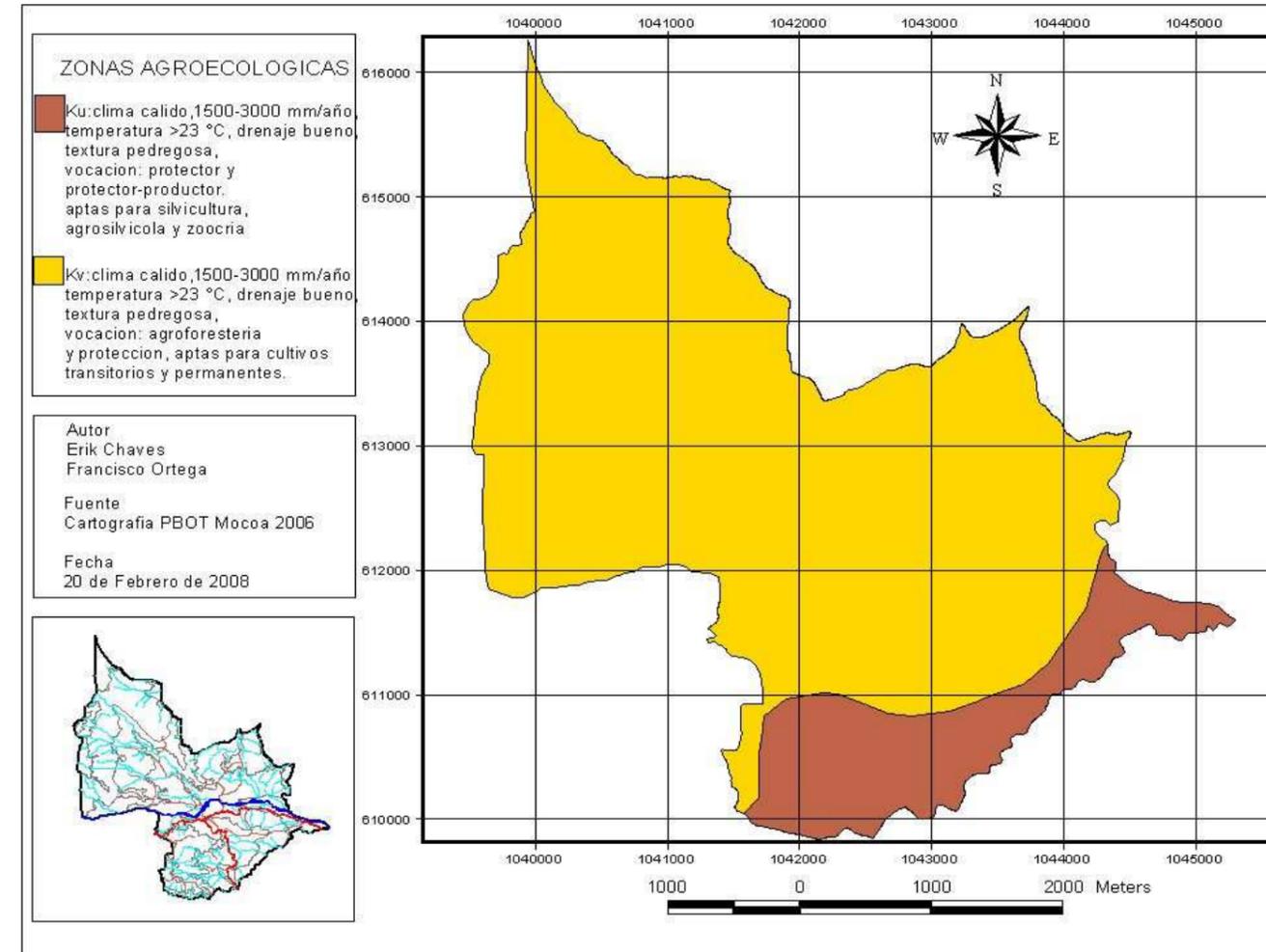
El mapa de zonas agroecológicas fue útil para determinar variables climáticas que presenta la vereda tales como temperatura y precipitación, Ya que para la zonificación de cualquier cultivo estas son variables importantes para determinar la aptitud (Figura 13).

El mapa de curvas a nivel se definió a partir del modelo digital de elevación realizado por la Agencia Espacial Estadounidense (NASA) con la misión SRTM (Shuttle Radar topography Misión) y descargado de la página de Internet de el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), con rango de 50m entre cota y cota, de acuerdo a estas indicaciones se realizo el mapa de pendientes en la herramienta arcview 3.2 con la extensión cartografía de erosión creada por Daniel Farré Huguet (Figura 14). El mapa de pendientes posteriormente fue utilizado como áreas homogéneas para la zonificación de la vereda, encontrando 6 áreas con diferentes grados de pendiente, a los cuales se realizo en campo muestras de suelo para determinar las variables tales como potasio, nitrógeno, fósforo, materia orgánica y ph, que inciden en el desarrollo de la aptitud del café.

Del mismo modo se adquirió una imagen satelital de año 2006 perteneciente a uso y cobertura del municipio de Mocoa facilitada por la Organización de Naciones Unidas Contra la Droga y el Delito (UNODC), en la se estableció con un buffer de 500 mts a partir del límite municipal del Municipio de Mocoa (Departamento Nacional de Estadística, DANE). La información fue entregada en formato TIFF, y en un sistema de Proyección Gauss Krugger, con origen de coordenadas IGAC origen 2, Bogotá.

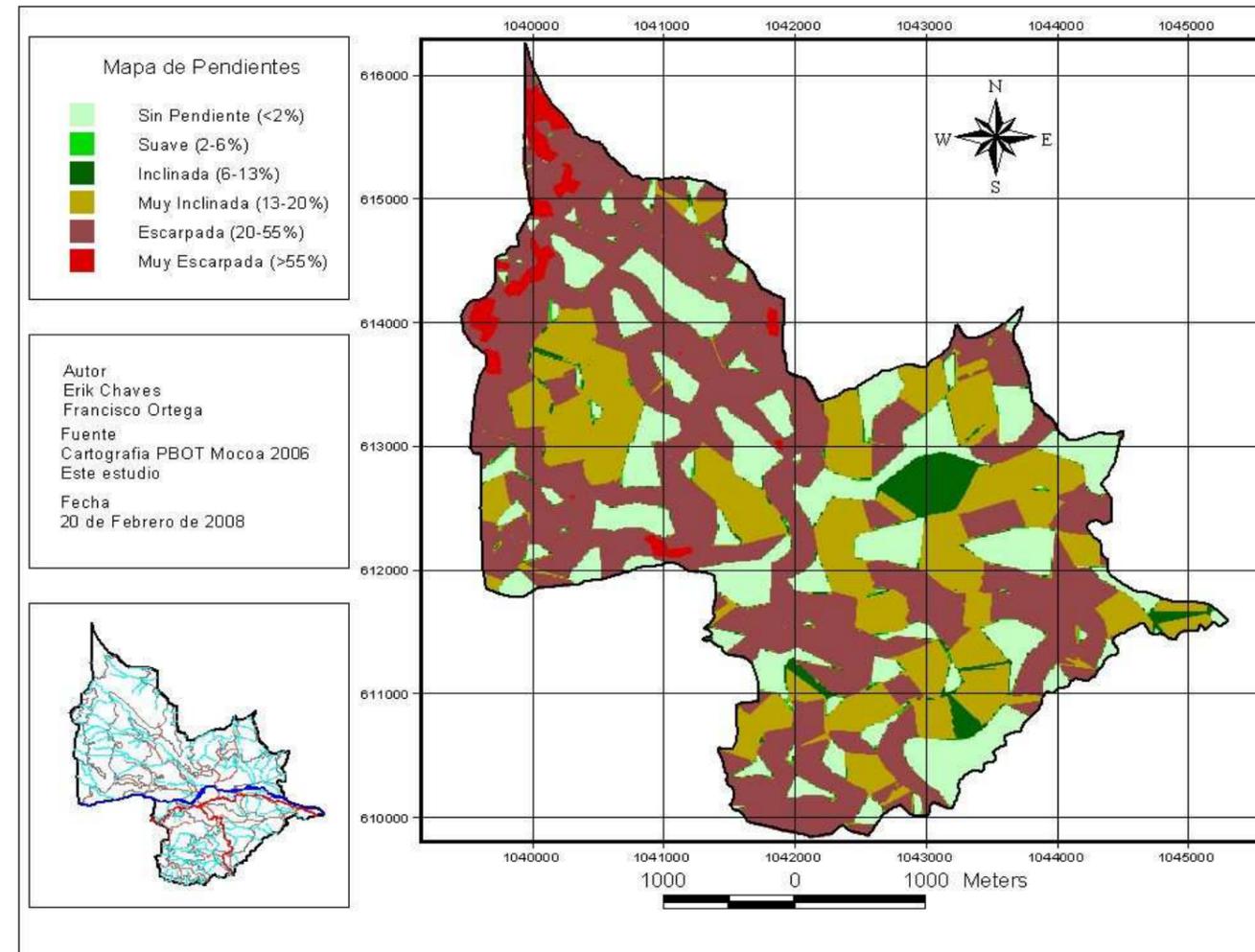
Esta imagen fue procesada en la herramienta Arcview 3.2 para obtener el mapa de uso y cobertura (Figura 15) y su descripción detallada de los códigos de uso y cobertura (Tabla 7). El cual es base importante para determinar la aptitud de las áreas, ya que este mapa permite discriminar zonas no cultivables como: (ríos, vías, asentamientos urbanos, afloramientos rocosos y otros).

Figura 13. Mapa Agroecológico de la Vereda La tebaida

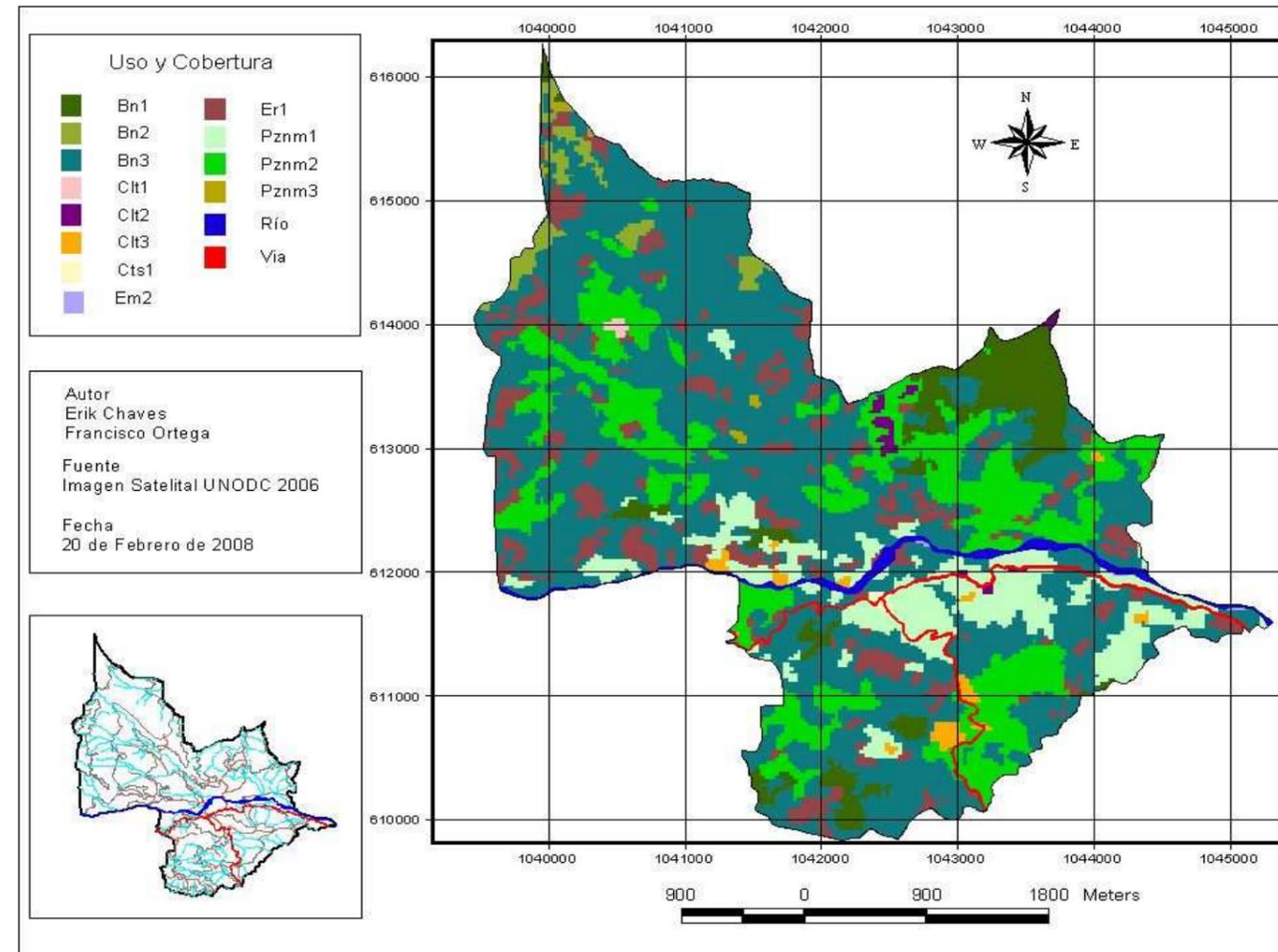


Fuente: Cartografía PBOT Mocoa 2006 y esta investigación.

Figura 14. Mapa de Pendientes



Fuente: Cartografía PBOT Mocoa 2006 y esta investigación.
 Figura 15. Uso y cobertura de la Vereda La Tebaida.



Fuente: Imagen Satelital Land Sat UNODC 2006 y esta investigación

Tabla 7. Leyenda de Uso y Cobertura

Id_cob_uso	Gran Grupo	Grupo	Subgrupo	Característica o especie	Uso
Bn1	Bosque	nativo	primario	Intervenido o muy intervenido	protección y energéticos
Bn2	Bosque	nativo	primario	No intervenido	protección y energéticos
Bn3	Bosque	nativo	secundario	Rastrojo	Productor
Cl1	Cultivo	transitorio	de ladera	maíz, cebolla y otros	Agropecuario
Cl2	Cultivo	transitorio	de ladera	no mecanizados (caña, maíz, plátano y otros)	Agropecuario
Cl3	Cultivo	perenne	de ladera	no mecanizado (café, borojo y otros)	Agropecuario
Cts1	construida	suburbano rural	nucleada	asentamientos suburbanos	residencial agropecuario
Em2	eriales	materiales en superficie	arena, piedra o cascajo	bancos de arena	Minero
Er1	eriales	suelo desnudo	erosionado	afloramiento rocoso	Protección
Pznm1	pastizales	no mejorados	limpios	gramalote, Dallas	Pecuario
Pznm2	pastizales	no mejorados	arbolados	gramalote, dallys, árboles plantados y algunos cultivos	Protección
Pznm3	pastizales	no mejorados	enmalezado	gramalote, dallys, arbustos y helechos	recuperación natural

Fuente: Imagen Satelital Land Sat UNODC 2006 y esta investigación

De acuerdo a las unidades de tierra, se digitalizó la aptitud tanto del café (figura 16) como del guamo, ya que este ultimo presentó homogeneidad de aptitud no se realizó el mapa; los cuales son confrontados con el mapa de uso y cobertura para obtener las áreas cultivables para cada cultivo (figuras 17 y 18), y del mismo modo determinar la aptitud.

Finalmente se obtiene el mapa de aptitud para el arreglo SAF (café-Guamo), confrontando los mapas generados tanto del café como guamo y ver los sitios que se adaptan las 2 especies, y con ello se obtiene el arreglo.

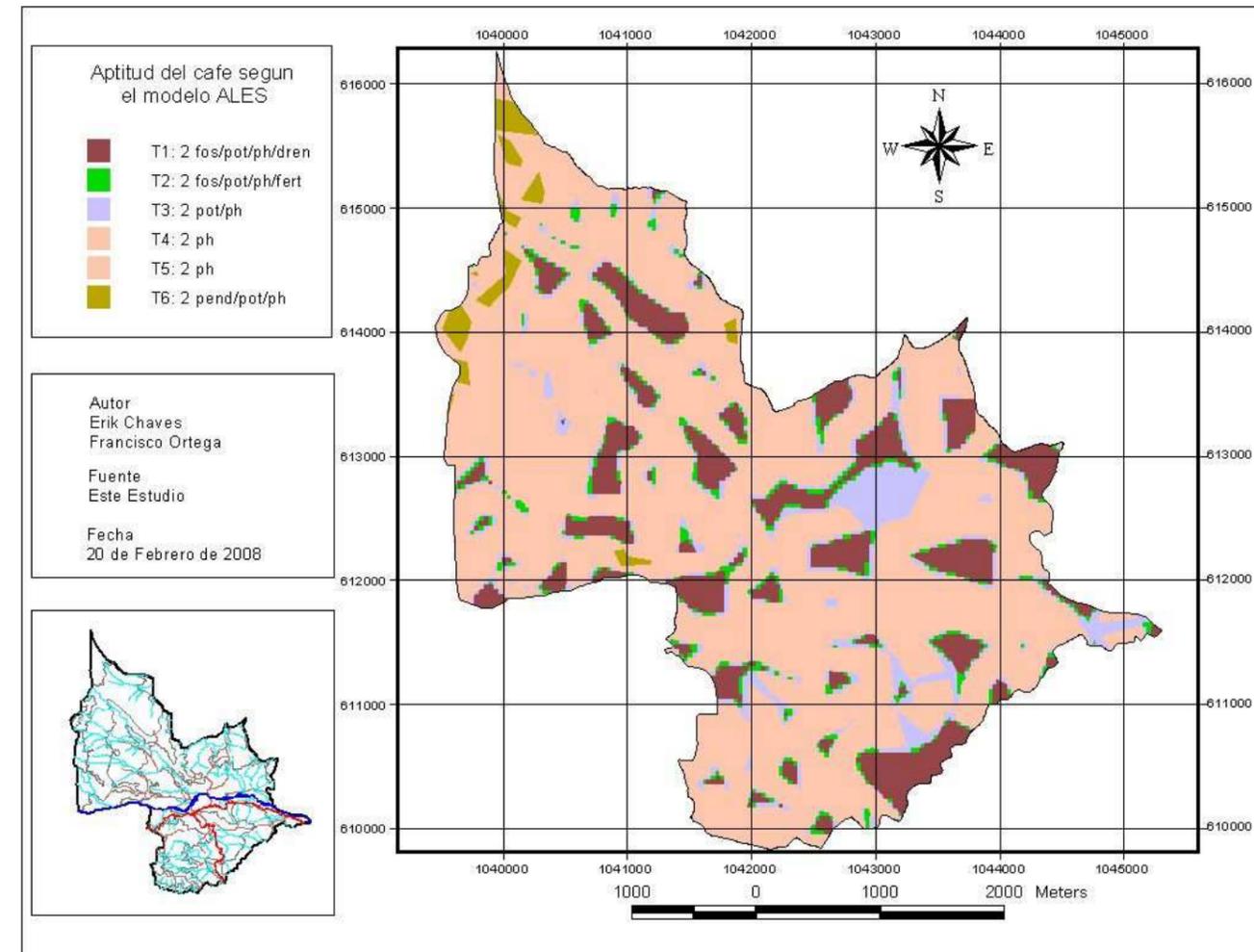
Estos mapas fueron puestos a discusión con los agricultores de la zona los cuales colaboraron el determinar que el modelo presentado fue acorde con su panorama.

Esta validación con los agricultores de la zona se realizó mediante reuniones informales (Figuras 19, 20 y 21), donde se explico el modelo y las variables utilizadas.

En este orden de ideas se presentaron los mapas impresos para darlos a conocer a los caficultores, tanto las aptitudes para café y guamo, y se les pregunto que si las zonas establecidas en el mapa como aptas para el arreglo (café-guamo) son acordes con el panorama de su zona.

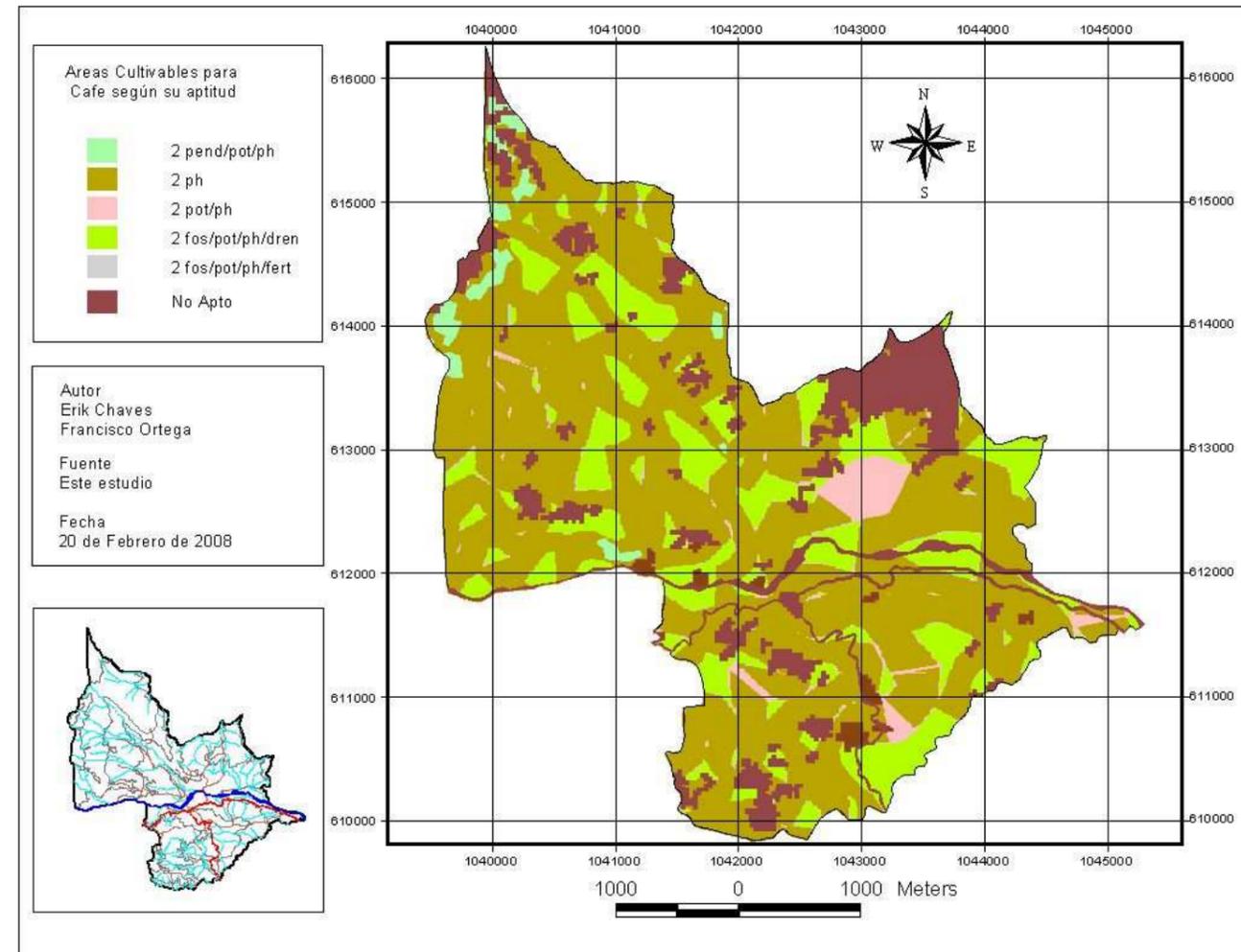
En el primer modelo, se tomaron variables de pH, materia orgánica, altitud, contenido de potasio, sin embargo este fue rechazado al no presentar confiabilidad en la aptitud de la zona, posterior a ello se realizó un segundo modelo utilizando variables de temperatura, precipitación, drenaje, materia orgánica, pH, contenido de potasio y % de pendiente, las cuales fueron sugeridas por la comunidad, el apoyo de técnicos acompañantes y soportado por la revisión bibliográfica. Luego se realizó los árboles de decisión determinando la aptitud de café y guamo, y nuevamente se discutió el modelo, el cual fue aceptado.

Figura 16. Mapa de aptitud del café basado en el sistema experto ALES.



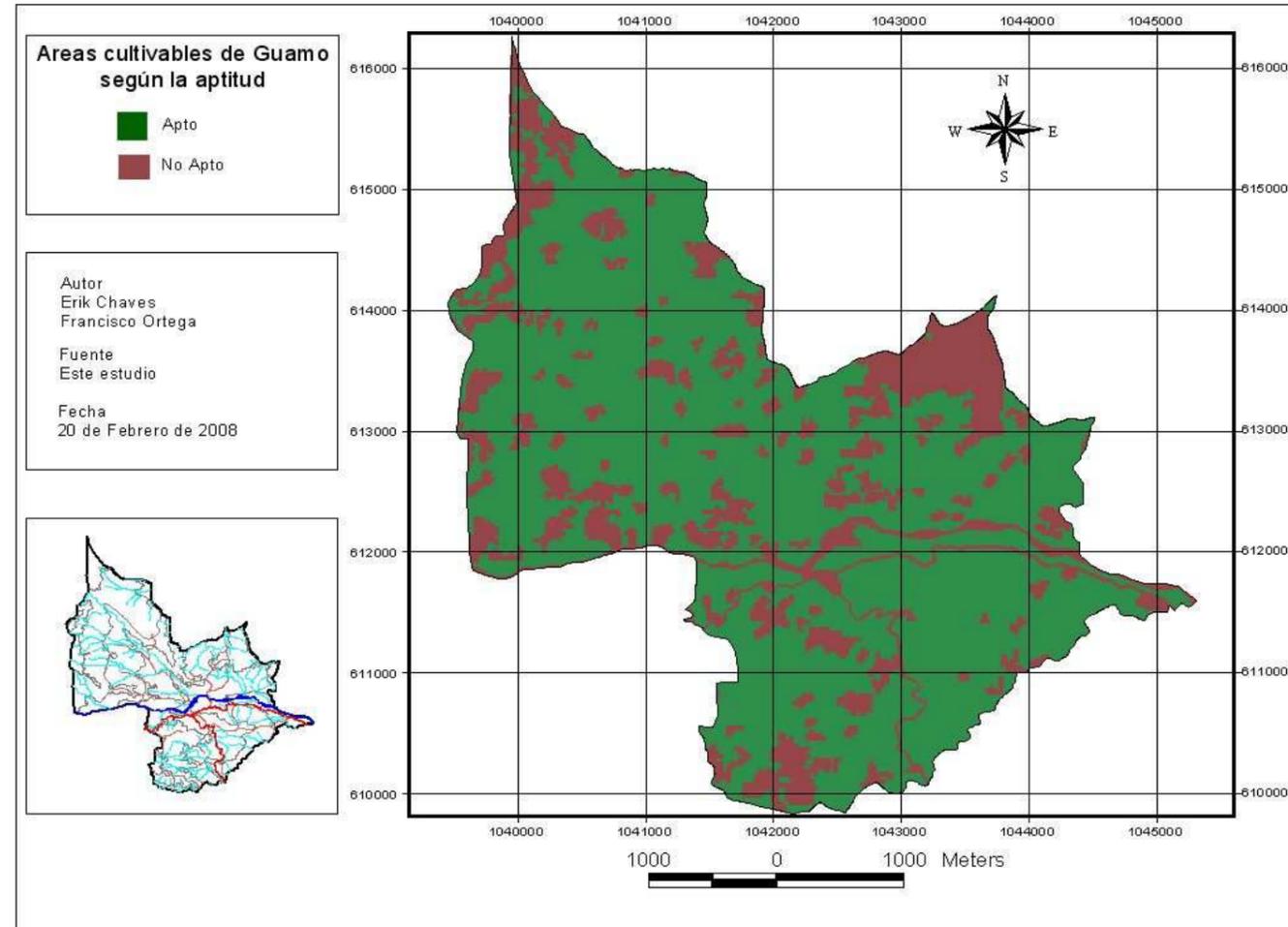
Fuente: Esta Investigación

Figura 17. Mapa de áreas cultivables para café según la aptitud vs. uso y cobertura



Fuente: Esta Investigación

Figura 18. Mapa de áreas cultivables para guano según la aptitud vs. uso y cobertura.



Fuente: Esta Investigación

Figura 19. Validación del primer modelo.



Fuente: Esta Investigación

Figura 20. Validación del modelo aceptado por la comunidad.



Fuente: Esta Investigación



Fuente: Esta Investigación

Figura 21. Validación del modelo en campo.



Fuente: Esta Investigación

3.3. RECOMENDACIÓN DE LAS ÁREAS APTAS A PARTIR DEL MODELO.

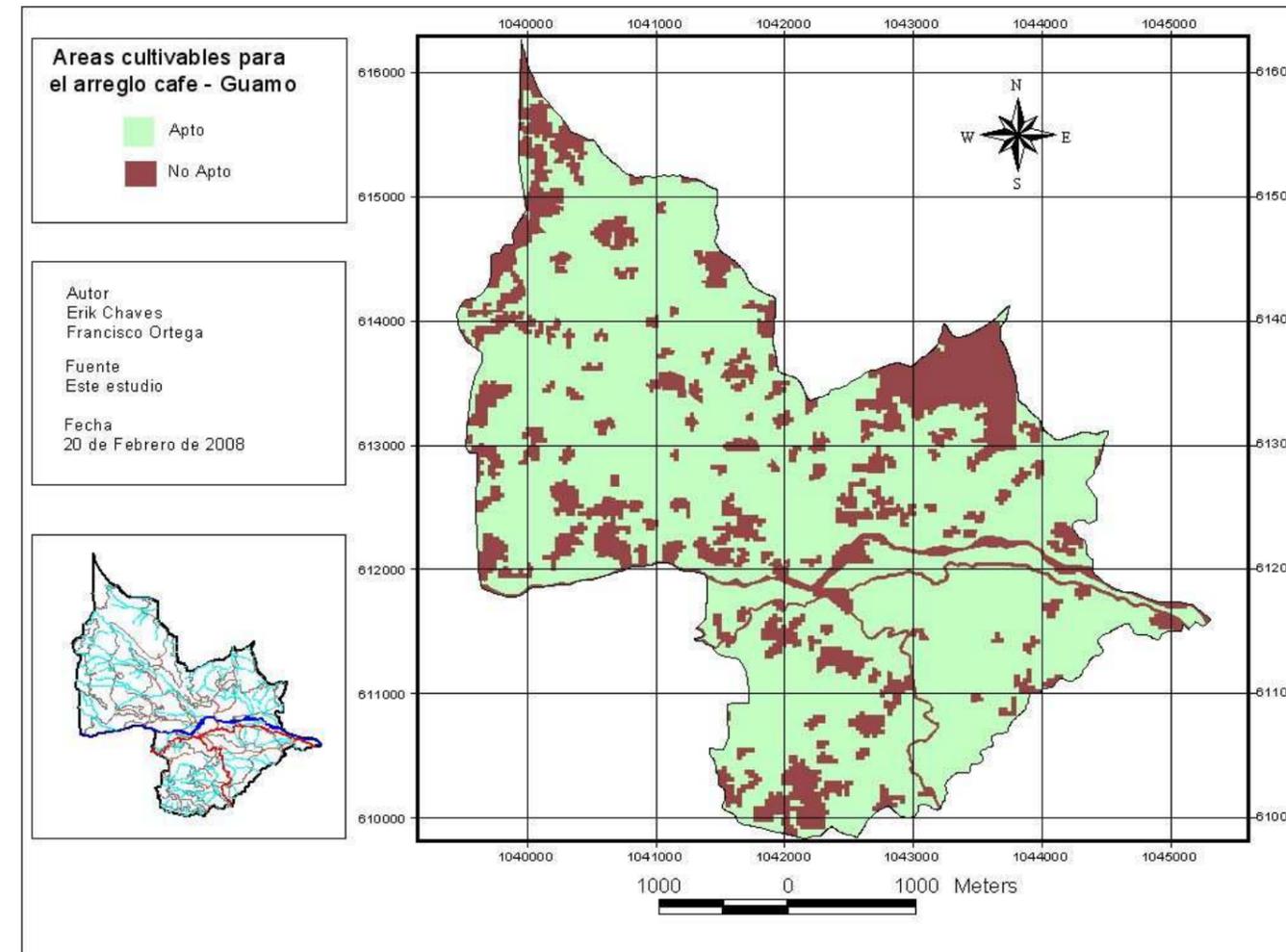
Una vez determinado el modelo final validado junto con la comunidad y el panel de expertos, se procedió a la realización de ajustes de la cartografía respecto a la aptitud de las áreas encontradas para el arreglo (Figura 22). Este mapa permite tener un panorama de la vereda de aquellos sitios probables para la implementación de café-guamo y del mismo modo identificar aquellas áreas no aptas para sembrar este arreglo.

Una vez determinadas las áreas aptas con sus limitantes se puede recomendar como adecuarlas para que sus cultivos, en este caso el arreglo café-guamo, no fracase y tengan rendimientos esperados.

De igual manera en la figura 23, se muestra información más precisa y detallada de la aptitud física del arreglo café-guamo, en el cual se proyectó el mapa predial para que los agricultores conozcan con más exactitud que parte o zonas dentro de su finca son apropiadas para implementar el arreglo.

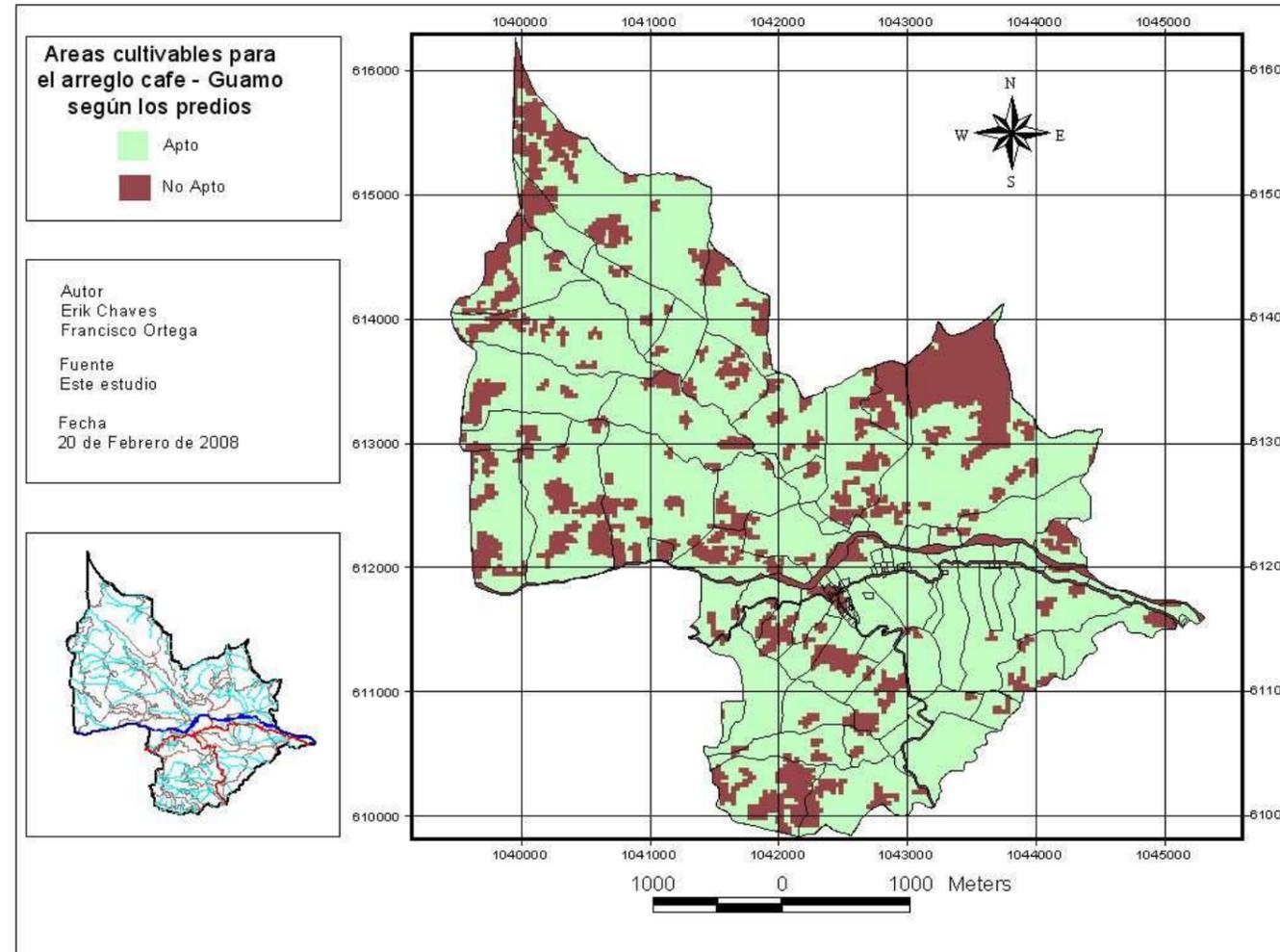
Teniendo en cuenta lo anterior se estableció que de las 1628,64 hectáreas que posee la vereda, 1288,64 hectáreas son aptas para implementar el arreglo SAF y 340 hectáreas no son aptas debido a que las áreas no son cultivables de acuerdo al uso y cobertura determinado con la imagen satelital ya que se discriminaron áreas tales como: cuerpos de agua, suelos eriales, vías, afloramientos rocosos y otros.

Figura 22. Mapa de aptitud para el arreglo café – guamo.



Fuente: Esta Investigación

Figura 23. Mapa de aptitud para el arreglo café – guamo según el predial.



Fuente: Esta Investigación

4. CONCLUSIONES

El arreglo agroforestal café-guamo constituye una alternativa productiva para la zona por su amplio rango de adaptación según el sistema experto Automated Land Evaluation system (ALES), encontrando que el café en la aptitud de clase 2 (aptitud media), representa el 79.13% del área total. Esta clase está limitada por pH bajo (menor a 5), contenido de potasio bajo (menor a 0,30 meq/100g), contenido de fósforo bajo (menor a 6 ppm), materia orgánica moderada (5,6 – 8,4 %), drenaje pobre y pendiente muy escarpada (mayor al 75%). De la misma manera el guamo en la aptitud de clase 1 (Apto), representa el 79,13% del área total ya que las condiciones climáticas y edáficas son las apropiadas para que esta planta tenga un buen desarrollo.

La validación del arreglo agroforestal café-guamo permitió generar dos (2) mapas en los cuales se identifica las áreas aptas y no aptas para el café y el guamo, y al acoplar estos mapas se generó un (1) mapa final con aptitud del arreglo, teniendo en cuenta el concepto de los 10 productores de café y 3 profesionales de la zona para la aceptación del modelo.

Se encontraron 1288.64 hectáreas aptas y 340 hectáreas no aptas para implementar el arreglo café- guamo, las cuales, se plasmaron en mapas a escala 1:40.000, que permiten tener un panorama de los sitios aptos e identificar aquellas áreas no aptas para implementar el arreglo café – guamo.

5. RECOMENDACIONES

Realizar un estudio detallado de suelos con el fin de optimizar cultivos promisorios y tradicionales en la zona e implementar esta investigación en diferentes veredas con el fin de que el modelamiento sea mas preciso y descartando variables que poco se tienen en cuenta para implementar este cultivo.

Retroalimentar la base de datos ya que con el tiempo las variables analizadas pueden sufrir cambios, tales como contenido de potasio, materia orgánica, pH y otros, del mismo modo actualizar los datos de las condiciones climáticas.

Implementar el arreglo en los sitios determinados por el modelo realizado en ALES y visualizado en Arcview, para que la validación del modelo sea más exacta.

Capacitar a la comunidad en el manejo de estas herramientas para que ellos sean los encargados de transferir estas tecnologías en otras zonas.

Efectuar más estudios de la interacción del sistema café y guamo, ya que la información bibliográfica es muy escasa y efectuar nuevos árboles de decisión teniendo en cuenta nuevas variables o reestructurar el árbol de decisión del presente trabajo.

6. BIBLIOGRAFIA

AGROCADENAS. La cadena del café. (En línea) En. Agrocadenas, Colombia (Bogotá): 2005 (consultada: 18 febrero 2004). Disponible en la dirección electrónica: [http://](http://www.agrocadenas.gov.co/cafe/documentos/caracterizacion_cafe.pdf)

www.agrocadenas.gov.co/cafe/documentos/caracterizacion_cafe.pdf

ARCILA, J; FARFAN, F y otros. Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchiná, Cenicafé. 2007. 309p.

AREVALO, E y VALENCIA, M. distribución espacial de las moscas de las frutas en el departamento de Antioquia, un caso de estudio apoyado en SIG. Universidad de San Buenaventura, Facultad de Ingenierías, Medellín, 2004. 77p

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFE – CENICAFE. El clima para los cafetales. (En línea) En: cenicafe, Colombia (Chinchiná-Caldas):2004 (consultada: 23 noviembre 2007). Disponible en la dirección electrónica: http://www.cenicafe.org/modules/Publications2/docs/doc_views/viewpdf.php?filedownload=Y2NfdElfZjAyLnBkZg==&its_ok=ok&doc=CartillaCafeteraTomo1-2.pdf

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFE – CENICAFE. El suelo para los cafetales. (En línea) En: cenicafe, Colombia (Chinchiná-Caldas):2004 (consultada: 23 noviembre 2007). Disponible en la dirección electrónica: http://www.cenicafe.org/modules/Publications2/docs/doc_views/viewpdf.php?filedownload=Y2NfdElfZjAyLnBkZg==&its_ok=ok&doc=CartillaCafeteraTomo1-3.pdf

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFE – CENICAFE. Trazado, ahoyado y trasplante. (En línea) En: cenicafe, Colombia (Chinchiná-Caldas):2004 (consultada: 23 noviembre 2007). Disponible en la dirección electrónica:

http://www.cenicafe.org/modules/Publications2/docs/doc_views/viewpdf.php?filedownload=Y2NfdElfZjAyLnBkZg==&its_ok=ok&doc=CartillaCafeteraTomo1-5.pdf

COLLAZOS, C. La composición de los alimentos peruanos. Instituto de Nutrición. Ministerio de Salud. Lima. 1975. 35 p.

DUKE. Inga edulis Mart. (En línea) En: Hort: 2005 (consultada: 13 noviembre 2007). Disponible en la dirección electrónica: http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Inga_edulis.html

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA-FNC. BOGOTA. COLOMBIA. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ – CENICAFE. Cartilla cafetera Vol. 2. Chinchiná, Cenicafe. 2004

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA-FNC. BOGOTA. COLOMBIA. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ – CENICAFE. Cartilla cafetera Vol. 3. Chinchiná, Cenicafe. 2004

INFOAGRO. Cultivo del café. (en línea) En: Infoagro: 2004 (consultada: 15 octubre 2007). Disponible en la dirección electrónica: <http://www.infoagro.com/herbaceos/industriales/cafe3.asp>

INTERNATIONAL DECADE FOR NATURAL DISASTER REDUCTION (IDNDR). Zonificación. (En línea) En: Wikipedia: 2004 (consultada: 18 febrero 2008). Disponible en la dirección electrónica: <http://es.wikipedia.org/wiki/Zonificaci%C3%B3n>

JARAMILLO, R. Clima andino y café en Colombia. Chinchiná, Cenicafé, 2005. 196p

LEVACHKINE, S. Digitalización Automatizada de Mapas Raster. Vol. 1 No.0 Dirección General de Servicios de Cómputo Académico-UNAM. Ciudad Universitaria, México D.F. 31 de Marzo de 2000.

LAWRENCE, A. Inga edulis, un árbol para suelos ácidos en el trópico húmedo. (en línea) En: Winrock: 1993 (consultada: 12 noviembre 2007). Disponible en la dirección electrónica: <http://www.winrock.org/fnrm/factnet/factpub/FACTSH/inga.htm>

“Mapa.” Microsoft ® encarta ® 2008[CD]. Microsoft Corporation, 2005

MEJIA, L. Pedología de suelos. CIAF, Unidad de suelos y agricultura. Bogotá, Colombia, 1983. 176 p.

MELLENDEZ, G. y MOLINA, E. Características y manejo de fertilizantes que contienen nitrógeno, fósforo y potasio. (En línea). Disponible en Internet: URL: <http://www.cia.ucr.ac.cr/docs/CIA-Fertilizantes.pdf>. 2008

MY LIBRARY. La tecnología de los sistemas de información geográfica en el uso de la tierra. (en línea). En: Accessmylibrary: 2004 (consultada: 25 febrero 2008). Disponible en la dirección electrónica http://www.accessmylibrary.com/coms2/summary_0286-32125365_ITM

MY LIBRARY. Metodología de zonificación agro-ecológica aplicable a los sistemas agroforestales, que permite identificar las zonas de mayor potencial productivo y aporta elementos para mejorar el uso del suelo. (en línea). En: Accessmylibrary: 2004 (consultada: 25 febrero 2008). Disponible en la dirección electrónica http://www.accessmylibrary.com/coms2/summary_0286-32125365_ITM

MONOGRAFIAS. Fotogrametría y fotointerpretación. (En línea) En: Monografías: 2004 (consultada: 18 febrero 2008). Disponible en la dirección electrónica: <http://www.monografias.com/trabajo15/fotogrametria/fotogrametria.shtml>

MOSQUERA, C. Determinación de áreas óptimas para el cultivo de la uchuva *Physalis peruviana*, con baja prevalencia de moscas de las frutas utilizando un Sistema experto y una herramienta SIG. Caso de estudio municipio de Sogamoso. Departamento de Boyacá. Trabajo de Grado para optar al título de Especialista en SIG. Instituto geográfico Agustín Codazzi – IGAC. Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica – CIAF en convenio con la Universidad Distrital Francisco José de caldas. Bogotá, Colombia, 2005. 42p

MUSCHLER, R. Árboles en cafetales. CATIE. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ, 1999. p 43,44 y 55

MUSCHLER, R. Árboles en cafetales. Turrialba, CATIE. 2000. 139p

NITTEL, S. Base de datos y modelos de base de datos. (En línea) En: Wikipedia: 2004 (consultada: 17 febrero 2008). Disponible en la dirección electrónica: http://es.wikipedia.org/wiki/Base_de_datos, 2007

PAEZ, H. y CASTAÑO, C. Aproximación a la definición de criterios para la zonificación y el ordenamiento forestal en Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Colombia, 1994. p 85.

Plan básico de ordenamiento territorial. (PBOT) Mocoa, 2006

ROSSITER, D. El Sistema Automatizado para la Evaluación de Tierras (ALES). (En línea) En: itc: 2003 (consultada: 20 febrero de 2008). Disponible en la dirección electrónica: http://www.itc.nl/~rossiter/pubs/clcs96_b.htm

ROSSITER, D. Evaluación de tierras. (En línea) En: itc: 2003 (consultada: 20 febrero de 2008). Disponible en la dirección electrónica: http://www.itc.nl/~rossiter/pubs/clcs96_b.htm

SADEGHIAN, S. Efecto de fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio sobre las propiedades químicas de suelos cultivados en café. Genicafé. 2003. p 242-257

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN – UMSS. Zonificación agroecológica. (En línea) En: umss: Bolivia: 2003 (consultada: 18 febrero 2008). Disponible en la dirección electrónica: <http://www.umss.edu.bo/epubs/earts/downloads/64.pdf>

VALENCIA, A. Fisiología, nutrición y fertilización del cafeto. Chinchiná, Genicafé-Agroinsumos del café. 1999. 94p.

VALENCIA, G.; CARRILLO, F.; ESTRADA, L. La fertilización en la caficultura moderna colombiana. Suelos ecuatoriales. 1990. p 77-85.

ANEXOS

ANEXO A. Análisis de suelos

ANEXO B:
Caracterización de las unidades de suelo de café (*coffea arabica L*)

UT	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Clima	Cálido	Cálido	Cálido	Cálido	Cálido	Cálido
Temperatura	18 – 24 °C	18 – 24 °C	18 – 24 °C	18 – 24 °C	18 – 24 °C	18 – 24 °C
Precipitación mm/año	1500 -3000	1500 -3000	1500 - 3000	1500 -3000	1500 -3000	1500 -3000
Pendiente	Sin pendiente	Suave	Inclinada	muy Inclinada	Escarpada	Muy Escarpada
	< 2 %	2 – 6%	6 – 13%	13 – 20%	20 – 55%	> 55 %
Fertilidad (%)	alta	moderada	alta	alta	alta	alta
	8,6	7,4	14,1	9.8	13,1	10,8
Potasio (meq/100g)	pobre	pobre	Pobre	Bueno	Bueno	pobre
	0,25	0,19	0,26	0,35	0,39	0,26
Nitrógeno (%)	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Óptimo
	0,36	0,32	0,53	0,4	0,5	0,43
Fósforo (ppm)	Bajo	Bajo	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Óptimo
	3	2	12	7	12	6
pH	bajo	bajo	bajo	bajo	bajo	bajo
	4,5	4,2	4,7	4,5	4,2	4,2
Drenaje	Pobre	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno

Fuente: Esta investigación

Caracterización de las Unidades de Suelo de guamo (*Inga edulis* Mart)

UT	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Clima	Cálido	Cálido	Cálido	Cálido	Cálido	Cálido
Altitud	700 – 1500 msnm					
Temperatura	18 – 24°C					
Precipitación mm/año	1500 -3000	1500 -3000	1500 -3000	1500 -3000	1500 -3000	1500 -3000
Pendiente	Sin pendiente	Suave	Inclinada	Muy inclinada	Escarpada	Muy escarpada
	< 2 %	2 – 6%	6 – 13%	13 – 20%	20 – 55%	> 55 %
pH	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Óptimo	Óptimo
	4,6	4,7	4,7	4,5	4,2	4,1

Fuente: Esta investigación

ANEXO C

Características seleccionadas de Café (*coffea arabica L*)

CARACTERISTICA	DESCRIPCIÓN	CLASES	
temp	temperatura	3	Limite de clase
Clase no.	código	Nombre clase	
1	opt	Optima	16 – 22
2	al	Alta	> 22
3	bo	Baja	< 16
prec	precipitación	3	Limite de clase
Clase no.	código	Nombre clase	
1	ot	Óptimo	1800 – 2800
2	ata	Alta	> 2800
3	bja	Baja	< 1800
dren	Drenaje	3	Limite de clase
Clase no.	código	Nombre clase	
1	bn	Bueno	
2	ec	Excesivo	
3	pb	Pobre	
fert	fertilidad	4	Limite de clase
Clase no.	código	Nombre clase	

1	al	Alta	> 8,4
2	m	Moderada	5,2 – 8,4
3	ba	Baja	3,6 – 5,1
4	mb	Muy baja	<3,6
ph	pH	3	Limite de clase
Clase no.	código	Nombre clase	
1	op	Óptimo	5 – 6,5
CARACTERISTICA	DESCRIPCIÓN	CLASES	
2	bj	Bajo	< 5
3	at	Alto	> 6,5
pos	Potasio	3	Limite de clase
Clase no.	código	Nombre clase	
1	bu	Bueno	0.30 – 0.40
2	ex	Excesivo	> 0.40
3	po	Pobre	< 0.30
nit	Nitrógeno	3	Limite de clase
Clase no.	código	Nombre clase	
1	opt	Óptima	0,30 – 0,60
2	hi	Alto	>0,60
3	do	Bajo	<0,30

fos	Fósforo	3	Limite de clase
Clase no.	código	Nombre clase	
1	otm	Óptimo	6 - 14
2	hig	Alto	> 14
3	baw	Bajo	< 6
pend	pendiente	3	Limite de clase
Clase no.	código	Nombre clase	
1	a	Sin pendiente	< 2%
2	b	Suave	2 – 6 %
3	c	Inclinada	6 – 13 %
4	d	Muy inclinada	13 – 20 %
5	e	Escarpada	20 – 55 %
6	f	Muy escarpada	> 55%

Fuente: Esta investigación

Características seleccionadas de Guamo (*Inga edulis* Mart)

CARACTERISTICA	DESCRIPCIÓN	CLASES	
temp	temperatura	3	Limite de clase
Clase no.	código	Nombre clase	
1	opt	Optima	21 – 27 °C

2	al	Alta	> 27 °C
3	bo	Bajo	< 21 °C
prec	precipitación	3	Limite de clase
Clase no.	código	Nombre clase	
1	ot	Óptimo	1200 – 5000 mm
2	ata	Alta	> 5000 mm
3	bja	Baja	< 1200 mm
alt	altitud	3	Limite de clase
Clase no.	Código	Nombre clase	Limite de clase
1	Om	Optima	700 – 2200 msnm
2	Am	Alta	> 2200 msnm
3	bm	Baja	< 700 msnm
ph	pH	3	Limite de clase
Clase no.	código	Nombre clase	
1	op	Óptimo	4 – 8
2	bj	Bajo	< 4
3	at	Alto	> 8

Fuente: Esta investigación

- 1 (sin pendiente)..... : 2pot
- 2 (suave)..... : =1
- 3 (inclinada)..... : =1
- 4 (muy inclinada)..... : =1
- 5 (escarpada)..... : =1
- 6 (muy escarpada)..... : 2pend/pot
- 2 (alta)..... : =1
- 3 (baja) > pend (pendiente)
 - 1 (sin pendiente)..... : 2fos/pot
 - 2 (suave)..... : =1
 - 3 (inclinada)..... : =1
 - 4 (muy inclinada)..... : =1
 - 5 (escarpada)..... : =1
 - 6 (muy escarpada)..... : 2pend/fos/pot
- 2 (alta)..... : =1
- 3 (baja) > fos (contenido de fosforo)
 - 1 (optimo) > pend (pendiente)
 - 1 (sin pendiente)..... : 2nit/pot
 - 2 (suave)..... : =1
 - 3 (inclinada)..... : =1
 - 4 (muy inclinada)..... : =1
 - 5 (escarpada)..... : =1
 - 6 (muy escarpada)..... : 2pend/nit/pot
 - 2 (alta)..... : =1
 - 3 (baja) > pend (pendiente)
 - 1 (sin pendiente)..... : 2fos/nit/pot
 - 2 (suave)..... : =1
 - 3 (inclinada)..... : =1
 - 4 (muy inclinada)..... : =1
 - 5 (escarpada)..... : =1
 - 6 (muy escarpada)..... : 2pend/fos/nit/pot
- 2 (alto) > pot (contenido de potasio)
 - 1 (bueno) > nit (contenido de nitrogeno)
 - 1 (optima) > fos (contenido de fosforo)
 - 1 (optimo) > pend (pendiente)
 - 1 (sin pendiente)..... : 2ph
 - 2 (suave)..... : =1
 - 3 (inclinada)..... : =1
 - 4 (muy inclinada)..... : =1
 - 5 (escarpada)..... : =1
 - 6 (muy escarpada)..... : 2pend/ph
 - 2 (alta)..... : =1
 - 3 (baja) > pend (pendiente)

Árbol de decisión para el guamo generado por el sistema experto Automated Land Evaluation System - ALES

Subclase Física

- > alt (altitud)
 - 1 (optima) > temp (temperatura)
 - 1 (optima) > prec (precipitacion)
 - 1 (optima) > ph (ph)
 - 1 (optimo)..... : 1
 - 2 (alto)..... : 2ph
 - 3 (bajo)..... : 2ph
 - 2 (alta) > ph (ph)
 - 1 (optimo)..... : 2prec
 - 2 (alto)..... : 2ph/prec
 - 3 (bajo)..... : 2ph/prec
 - 3 (baja) > ph (ph)
 - 1 (optimo)..... : 2prec
 - 2 (alto)..... : 3ph/prec
 - 3 (bajo)..... : 3ph/prec
 - 2 (alta) > prec (precipitacion)
 - 1 (optima) > ph (ph)
 - 1 (optimo)..... : 2temp
 - 2 (alto)..... : 2ph/temp
 - 3 (bajo)..... : 2ph/temp
 - 2 (alta) > ph (ph)
 - 1 (optimo)..... : 2prec/temp
 - 2 (alto)..... : 2ph/prec/temp
 - 3 (bajo)..... : =2
 - 3 (baja) > ph (ph)
 - 1 (optimo)..... : 2prec/temp
 - 2 (alto)..... : 3ph/prec/temp
 - 3 (bajo)..... : =2
 - 3 (baja) > prec (precipitacion)
 - 1 (optima) > ph (ph)
 - 1 (optimo)..... : 3temp
 - 2 (alto)..... : 3ph/temp
 - 3 (bajo)..... : =2
 - 2 (alta) > ph (ph)
 - 1 (optimo)..... : 3prec/temp
 - 2 (alto)..... : 3ph/prec/temp
 - 3 (bajo)..... : =2
 - 3 (baja) > ph (ph)
 - 1 (optimo)..... : 3prec/temp
 - 2 (alto)..... : 4
 - 3 (bajo)..... : 4
 - 2 (alta)..... : 4
 - 3 (baja)..... : =1

Fuente: Esta investigación