APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS SIG PARA EL PROGRAMA FORESTAL RIO MAGDALENA EN EL MUNICIPIO DE SAMANÁ CALDAS

JAVIER LEONARDO MEZA TRUJILLO
JOSÉ DAVID PUERTA PALACIO

UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
MANIZALES
2016

APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS SIG PARA EL PROGRAMA FORESTAL RIO MAGDALENA EN EL MUNICIPIO DE SAMANÁ CALDAS

JAVIER LEONARDO MEZA TRUJILLO
JOSÉ DAVID PUERTA PALACIO

Trabajo de Grado presentado como opción parcial para optar
al título de Especialista en Información Geográfica

UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIES E INGENIERÍA
PROGRAMA ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
MANIZALES
2016

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Nuestras familias, amigos y compañeros, porque sin importar las dificultades y nuestros defectos aportaron incondicionalmente al desarrollo del presente trabajo.

La Federación Nacional de Cafeteros de Colombia por el suministro de los insumos de información, apoyo logístico y tecnológico requerido para el desarrollo del proyecto.

Al Programa forestal KFW – FNC por brindarnos la hermosa e invaluable experiencia de trabajar en nuestro país, en nuestra profesión, con nuestra gente, por el objetivo noble del desarrollo sostenible.

CONTENIDO

Pág.

RESUMEN 1
ABSTRACT 2
INTRODUCCIÓN 3
1. ÁREA PROBLEMÁTICA 4
2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS 6
2.1. HIPÓTESIS 6
2.2. OBJETIVO GENERAL 6
2.3.OBJETIVOS ESPECÍFICOS 6
3. JUSTIFICACION 7
4. MARCO TEÓRICO 9
4.1 GENERALIDADES Y ALCANCE 9
4.2 RESEÑA PROGRAMA FORESTAL KFW-FNC Silvicultura como alternativa económica en la zona marginal de la Región Cafetera 9
4.3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO 13
4.4. SOLUCIONES SIG EN SILVICULTURA A PARTIR DE IMÁGENES SATELITALES DE ALTA RESOLUCIÓN 15
4.5. IMÁGENES SATELITALES IKONOS 17
4.6. ANTECEDENTES 19
5. METODOLOGÍA 24
5.1. TIPO DE TRABAJO 24
5.2. RECURSOS 24
5.3. PROCEDIMIENTO 25
6. RESULTADOS 41
6.1. DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS 41
6.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 50
7. CONCLUSIONES 52
8. RECOMENDACIONES 53
BIBLIOGRAFÍA 54

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura No. 1. Localización del área de influencia del proyecto 13
Figura No. 2. Imagen IKONOS tipo. 16
Figura No. 3. Satélite Ikonos en órbita 17
Figura No. 4.Imagen Ikonos procesada en la banda roja (3) para análisis de vegetación. 19
Figura No. 5. Imagen Ikonos tipo provista para FNC 20
Figura No. 6. Plataforma de ingreso al componente espacial del Sistema de Información cafetera…… 21
Figura No. 7. Metadatos imágenes IKONOS usadas..... 28
Figura No. 8. Continuación metadatos imágenes IKONOS usadas..... 28
Figura No. 9. Árbol de clasificación de información que pre-estructura organización de Geodatabase modelo. 29
Figura No. 10. Estructura base de datos espacial 30
Figura No. 11. Toma de información en campo 31
Figura No. 12. Modelo de visualización de imagen para trabajo en campo..... 32
Figura No. 13. Proceso de creación de campos para la feature class PF 33
Figura No. 14. Procesamiento de archivos dwg de AutoCAD..... 35
Figura No. 15. Proceso en ArcGIS para creación de isoyetas en el área de trabajo del municipio de Samaná Caldas 36
Figura No. 16. Proceso en ArcGIS para creación de isotermas en el área de trabajo del municipio de Samaná Caldas 36
Figura No. 17. Puntos de control..... 38
Figura No. 18. Plataforma de MAXENT 3.3 39
Figura No. 19. Secuencia de procesamiento de imagen a blanco y negro..... 40
Figura No. 20. Base de datos espacial sin imagen IKONOS de fondo. 41
Figura No. 21. Base de datos espacial con imagen IKONOS de fondo..... 42

Figura No. 22. Mapa de lotes intervenidos Programa forestal KFW - FNC en Samaná Caldas 43
Figura No. 23. Mapa de hidrografía Samaná Caldas 43
Figura No. 24. Mapa red vial principal de Samaná Caldas 44
Figura No. 25. Acercamiento lotes intervenidos Programa KFW – FNC 45
Figura No. 26. Mapa de división político administrativa Samaná Caldas 45
Figura No. 27. Mapa de usos del suelo Samaná Caldas 46
Figura No. 28. Mapa de unidades de suelo Samaná Caldas 46
Figura No. 29. Mapa de isoyetas área de trabajo Samaná Caldas 47
Figura No. 30. Mapa de isotermas área de trabajo Samaná Caldas 47
Figura No. 31. Mapa de curvas de nivel del área de trabajo Samaná Caldas 49
Figura No. 32. Mapa de calidad de sitio probable para especie eucalipto 49

LISTA DE CUADROS

Pág.

Cuadro No. 1. Descripción Biofísica y Socioeconómica. 14

Cuadro No. 2. Especificaciones del sensor..... 17

Cuadro No. 3. Matriz evaluación para determinación de requerimientos funcionales prioritarios y/o estratégicos para el programa kfw - FNC 25

Cuadro No. 4. Georreferenciación estaciones y promedio precipitación multianual periodo 2000 – 2011 27

Cuadro No. 5. Promedio temperatura multianual periodo 2000- 2011..... 27

GLOSARIO

Altura comercial: Se trata de la dimensión aprovechable de un árbol con un mínimo de defectos como nudos, ramas, diámetro superior y torceduras.

Altura total: Es la altura que se mide desde el suelo hasta el ápice.

ArcGIS: Sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica.

Balance hídrico: Esta dado por la comparación entre los aportes y las pérdidas de agua en un lugar y periodo determinado analizando un sistema de referencia.

Biodiversidad: Se refiere a la variedad de formas de vida que se desarrollan en un ambiente natural y que está en constante evolución, garantizando el equilibrio de los ecosistemas.

Calidad de sitio: Es la suma de todos los factores ambientales que influyen en la productividad de una unidad de suelo determinado.

Cinta diamétrica: Instrumento para medir diámetros con una escala graduada en intervalos de π (3,1416).

Clinómetro Sunto: Instrumento utilizado para medir alturas, pendientes y ángulos verticales, en su interior lleva un disco graduado con dos escalas: una en grados (a la derecha) y otra en porcentaje.

Cuenca hidrográfica: Superficie de tierra delimitada por una divisoria de aguas y drenada por un único sistema de drenaje natural (Río principal).

DAP: Diámetro a la altura del pecho, medido a 1,30 m de altura desde la base del árbol.

Dron: Vehículo aéreo no tripulado manejados a control remoto o con rutas programadas mediante sistema GPS.

Erosión: Proceso de desgaste que sufre la roca madre que forma el suelo debido a procesos geológicos exógenos.

Factor de forma: Variación de la forma de los troncos en función del diámetro y de la base al ápice del árbol de acuerdo con la especie, edad y condiciones de sitio.

Fitosanidad: Ciencia que se encarga de la prevención y curación de las enfermedades de las plantas ya sea por medios químicos o biológicos.

Flexómetro: Instrumento de medición construido por una delgada cinta metálica flexible y dividida en unidades de medición, máximo 5 metros de longitud.

FNC: Sigla de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, cuyo fin es promover el cultivo de café en Colombia y su exportación a mercados extranjeros.

Geodatabase: Modelo que permite el almacenamiento físico de la información geográfica en sistema de ficheros o colección de tablas en un sistema gestor de base de datos.

Hectárea: Unidad de área igual a 10.000 m2, Se utiliza para la medición de terrenos.

Isoyeta: Línea curva que une los puntos de igual precipitación en una unidad de tiempo considerada y se representa en un mapa.

Isoterma: Línea curva que une los puntos de lugares de la superficie terrestre que presentan igual temperatura media anual en un tiempo considerado y se representa en un plano cartográfico.

KFW: Sigla del banco alemán Kreditanstalt für Wiederaubau (Instituto de Crédito para la reconstrucción) que promueve proyectos de protección del medio ambiente y clima en países en vía de desarrollo.

Layout: Hace referencia al esquema o plantilla utilizado donde se distribuyen elementos y formas dentro de un diseño.

Microcuenca: Área conformada por los afluentes que surten a un río secundario.

Mortalidad: Es un proceso biológico sensible a factores múltiples e interrelacionados.

Pluviosidad: Cantidad de precipitación que cae sobre un punto de la superficie terrestre.

Silvicultura: Enfocada en el aprovechamiento y mantenimiento racional de los bosques, incluye actividades relacionadas con el cultivo, cuidado y explotación.

Subcuenca: Se refiere a la extensión de tierra conformada por un río secundario el cual desagua en un río principal.

Volumen comercial: Es el volumen neto potencialmente útil de madera rolliza.

RESUMEN

En la región andina colombiana, específicamente en la zona cafetera se viene desarrollando desde hace 23 años el programa forestal KFW – FNC. Tiene como objetivo superior el de avanzar hacia un modelo sostenible de agricultura, una de las estrategias es la incorporación de la silvicultura como alternativa económica para pequeños productores, este proceso productivo disminuye paralelamente la presión sobre áreas naturales estratégicas aprovisionando de madera para consumo doméstico y fines comerciales. La implementación y gestión del programa contempla el levantamiento, procesamiento y análisis de volúmenes considerables de datos clasificados en múltiples variables espaciales y alfanuméricas, estas labores desarrolladas con metodología manual y análoga devengan altos porcentajes de consumo del recurso tiempo, situación que disminuye no solamente la precisión y capacidad de gestión asertiva, sino que a relega la asistencia técnica y cobertura efectiva y frecuente de los beneficiarios y cultivos a un segundo plano, es así que con el apoyo logístico y tecnológico de FNC se construye un modelo preliminar de sistema de información geográfica para el programa en la jurisdicción del municipio de Samaná Caldas, este modelo se fundamentó en el uso de imágenes satelitales de alta resolución IKONOS y software licenciado, ambos elementos provistos por FNC. La herramienta desarrollada en ArcGIS 10 generó la capacidad de levantar y digitalizar información espacial propia al programa de forma rápida y precisa, aumento los rendimientos de trabajo en campo en un 100%, desarrollo la modalidad de consultar atributos y propiedades espaciales de un lote en particular sin necesidad de moverse de la oficina y abrió la posibilidad de un sin número de análisis espaciales a través de la combinación de información raster, información temática y herramientas de alta complejidad presentes en software licenciado, un ejemplo de esta situación fue la construcción de mapas de probabilidades de éxito de una especie forestal en particular para diferentes calidades sitio.

PALABRAS CLAVES: SIG, silvicultura, forestal, imágenes alta resolución, FNC

ABSTRACT

In the Colombian Andean region, specifically in the coffee zone, it has been developing for 23 years KFW-FNC forestry program. The overall objective move towards a sustainable model of agriculture, one of the strategies it is the incorporation of forestry as an economic alternative for small producers, this production process simultaneously decreases the pressure on natural areas strategic provisioning of wood for domestic consumption and commercial purposes. Implementation and management of the program involves the collection, processing and analysis of large volumes of classified data at multiple spatial and alphanumeric variables, this work developed methodology manual and analog earn high rates of resource consumption time, situation that not only decreases the accuracy and assertive management, but relegates technical assistance, crops and effective and frequent coverage of beneficiaries into the background, so is the logistical and technological support FNC, a preliminary model of geographic information system for the program in the municipality of Samaná - Caldas is built. This model is based on the use of satellite images of high resolution IKONOS and licensed software, both elements provided by FNC. The tool developed in ArcGIS 10 generated the ability to lift and digitize own space program information quickly and accurately, increasing yields fieldwork 100% development mode query attributes and spatial properties of a batch without having to leave the office and opened the possibility of a number of spatial analysis through the combination of raster data, thematic information and tools of high complexity present in licensed software, an example of this was the construction of maps chances of success of a particular tree species for different qualities site.

KEY WORDS: GIS, forestry, forest, High-resolution images, FNC

INTRODUCCIÓN

Desde hace 23 años la República de Colombia en convenio bilateral con la República Federal de Alemania ejecuta a través de la Federación Nacional de cafeteros de Colombia el Programa Silvicultura como alternativa económica en la zona marginal de la región cafetera (Convenio de cooperación internacional financiado por el banco Alemán KFW). El componente de interés para el presente proyecto es: Silvicultura, el cual busca el establecimiento de sistemas agroforestales y plantaciones forestales homogéneas como opciones comerciales y otras medidas de conservación, en su mayoría de casos en pequeñas y medianas unidades productivas.

El propósito del programa paralelo a las opciones económicas es contribuir a la estabilización del balance hídrico y a la reducción de la erosión en sub-cuencas prioritarias de la cuenca alta y media del Río Magdalena a través del incremento de un uso forestal sostenible y la conservación de la biodiversidad.

Se desarrolla principalmente en el área de influencia cafetera, incluyendo sus zonas marginales altas y bajas, específicamente en 8 departamentos con 3 o 4 municipios cada uno. El área de desempeño y caso particular de la influencia del presente proyecto se encuentra en el municipio de Samaná Caldas.

A nivel nacional el componente silvícola ha logrado el establecimiento de diferentes medidas en 69 193 ha distribuidas para 10614 agricultores, estas cifras nos pueden dar a entender la gran cantidad de información espacial y alfanumérica generada por el programa[1].

Es así que teniendo como base Imágenes satelitales de alta resolución, herramientas geo informáticas gratuitas y datos espaciales y alfanuméricos reales levantados en campo, se desarrollará una herramienta en software licenciado a manera de modelo, la cual deberá suplir los requerimientos funcionales y operativos básicos, propios a la multiplicidad de variables que administra el programa.

[1] FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA-Programa Ambiental KFW. 20 años de desarrollo forestal con pequeños agricultores. 2014, p. 4-9

1. ÁREA PROBLEMÁTICA

En la región andina colombiana se ejerce presión sobre los bosques naturales por la expansión de la frontera agrícola, pecuaria y para obtención de recursos maderables para uso doméstico y comercialización.

En esta medida es estratégicamente determinante la ejecución de programas que busquen la implementación de alternativas económicas sostenibles que generen empleo, que complementen paralelamente a las cadenas productivas tradicionales y que a su vez disminuyan esta presión[2].

El programa forestal KFW –FNC busca a cabalidad el cumplimiento de estos propósitos, no obstante la capacidad de cobertura en asistencia técnica, el cálculo de indicadores técnicos forestales y otras labores operativas y administrativas no avanzan con la eficiencia necesaria en pro del óptimo funcionamiento del programa.

Las labores que se revelan como de mayor dificultad y con menor capacidad en obtención de precisión son la georreferenciación, polinización y cálculo de áreas de los lotes intervenidos por el programa. Las metodologías usadas para este fin son:

- Fotointerpretación, foto identificación y fotogrametría a partir de fotografías aéreas pancromáticas con fechas de toma superiores a 20 años, el método es análogo, se fundamenta en apreciación de detalles físicos, identificación de patrones, conteos tediosos y cálculos manuales, este conjunto de situaciones sugieren un sobregasto de recurso tiempo y paralelamente bajos porcentajes de precisión derivados de distorsión de la imagen y otros factores de error humano, además contempla la contratación de personal con alto experticio en la tarea.

- Otro método es la estimación visual en campo, la sola mención de su nombre indica el nivel de experiencia necesaria, la alta probabilidad de error y la consecuente baja precisión, este método se constituyó como el más extendido aceptado.

- La llegada del equipo de posicionamiento global GPS complementa los métodos anteriormente mencionados, abona en precisión y reducción de

[2] Ibid., p. 28-35

tiempo en la realización de la tarea, sin embargo determina aún, altos desgastes físicos deducidos de los recorridos perimetrales en lotes muchas veces con topografías abruptas e inaccesibilidad.

Complementariamente la cantidad de reforestadores beneficiarios adscritos al Programa, su correspondiente multiplicidad y diversidad de características e información propias a cada uno, sumado a datos e indicadores técnicos forestales, genera una consecuente complejidad de procesamiento y análisis al momento de: planificar labores, consultar datos, medir avances, realizar reportes e informes, desarrollar asistencia técnica, almacenar información y soportes, proyectar metas, entre otras actividades.

2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

2.1. HIPÓTESIS

En el contexto del Programa Forestal KFW – FNC es posible a través de la implementación de un Sistema de Información Geográfica, organizar la información alfanumérica y espacial, para facilitar y agilizar su procesamiento, todo con el fin de bridar mayor rapidez, precisión y capacidad de ejecución, planificación y demás labores administrativas y operativas del mismo.

2.2. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un Sistema de Información Geográfica que administre, analice y relacione segura y eficientemente las variables alfanuméricas y espaciales del programa Forestal Rio Magdalena, en el municipio Samaná Caldas.

2.3.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir con precisión las variables e información necesaria a emplear en el desarrollo del SIG.

- Integrar y/o utilizar imágenes de alta resolución, provenientes de sistemas de teledetección de última generación, sea adquiridas comercialmente u obtenidas en aplicaciones gratuitas contenidas en internet.

- Determinar la ubicación y perímetros de los lotes que hacen parte del programa mediante metodología de interpretación e identificación de imágenes en campo, soportado y/o complementado con datos capturados con receptores de posicionamiento global GPS.

- Estructurar una Geodatabase en software licenciado, en donde se relacione la información alfa numérica y espacial levantada en campo por el programa con la cartografía temática de uso del suelo, suelos, infraestructura física, hidrografía, climatología y división político administrativa.

3. JUSTIFICACION

Se deriva la necesidad de construir un sistema administrativo de información Geográfica aplicado a la realidad y diversidad de labores diarias del servicio de extensión rural en el marco del Programa Forestal KFW-Federación Nacional de Cafeteros de Colombia; este buscará la eficiencia y la elevación de la calidad en cada uno de los procesos, actividades y tareas implícitas al cargo. El uso de un sistema de información Geográfico en el Programa será innovador al momento de dar respuestas con rapidez y exactitud a los beneficiarios, Extensionistas y Coordinador de programa a través de diferentes consultas. Dichas consultas facilitarán a los Funcionarios: planificar labores de campo y capacitaciones, medir avances, realizar reportes e informes, desarrollar asistencia técnica, almacenar información y soportes, proyectar metas a corto, mediano y largo plazo, entre otras.

Como el presente proyecto busca trascender de un ejercicio exclusivamente académico a un espacio de aplicabilidad profesional, el sistema se constituirá en una herramienta estratégica para Ingenieros Forestales, permitirá visualizar espacialmente las áreas y fincas que asiste técnicamente y ubicar las variables recolectadas durante la visita que a su vez corresponden a los atributos de interés e insumo para diversidad de análisis estadísticos y espaciales.

En todo momento el motor principal de este proyecto es el mejoramiento de los indicadores propios al desarrollo de plantaciones forestales y sistemas agroforestales en pequeñas unidades productivas y la calidad en la asistencia técnica a los beneficiarios; factores estos que en definitiva son los que propenden por la consolidación del programa como alternativa real de desarrollo sostenible social, económico y ambiental para la región.

Es de anotar que La Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC) desde hace 2 años se encuentra certificada por la Norma ISO 9000 en procesos de calidad y, por tanto maneja al interior un Sistema de Gestión Integral de la calidad (SGI)[3], este sistema se orienta principalmente a caficultura, pero sabemos que programas complementarios, no deben ser ajenos al SGI, es por esta razón que se está proyectando la sistematización general (alfanumérica y espacial) del programa KFW- FNC en cada unidad administrativa y de asistencia técnica en campo para que todos los actores puedan ser partícipes activos del SGI de la FNC.

[3] Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Sica, tecnología de punta que visibiliza hasta al caficultor más pequeño y la finca más remota. En: AL GRANO. Junio, 2013. No. 28. Disponible en: www.federaciondecafeteros.org/algrano-fnc-es/index.php/comments

Por otro lado y no menos importante, la FNC es el ejecutor del Programa, pero este es financiado con recursos de cooperación internacional provenientes del Banco alemán KFW-BANKENGRUPPE. Atendiendo a esta situación se considera totalmente estratégico demostrar continuamente la seriedad administrativa y avances significativos en los indicadores del programa y poder consecuentemente justificar las inversiones realizadas en Colombia.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 GENERALIDADES Y ALCANCE

El presente recuento teórico reúne los aspectos de mayor relevancia particular en el desarrollo del modelo SIG en cuestión; es decir: Breve descripción de las características y funcionamiento del programa Forestal KFW - FNC, descripción general y biofísica del área de influencia del proyecto y recopilación teórica en torno a las propiedades de aplicativos a partir de imágenes de alta resolución, así como las especificaciones de las imágenes satelitales IKONOS usadas.

Teniendo en cuenta el alcance y objeto del proyecto, se considera que los temas conceptuales y teóricos en sistemas de información geográfica, modelamiento y construcción de geodatabases y demás procedimientos que involucran el uso y manejo del software ArcGIS, sean consultados con la profundidad necesaria en la amplia literatura existente para los temas citados, así mismo, se recomienda dirigirse a manuales y/o tutoriales de consecución masiva en la red.

4.2 RESEÑA PROGRAMA FORESTAL KFW-FNC Silvicultura como alternativa económica en la zona marginal de la Región Cafetera

Desde el año 1993 la Federación Nacional de Cafeteros ejecuta en la zona cafetera de la región andina colombiana un Programa forestal dirigido prioritaria mente a pequeños y medianos productores agropecuarios, este busca en esencia disminuir la presión sobre las áreas naturales estratégicas, los servicios ecosistémicos que proveen estas áreas son de vital importancia para la sostenibilidad de los sistemas productivos que dinamizan las economías locales y regionales.

Este objetivo se está logrando a través de la implementación de incentivos forestales de tipo financiero, los cuales apoyan el establecimiento de pequeñas plantaciones y sistemas agroforestales con especies de árboles maderables de rápido crecimiento, en lotes que reúnan las características y oferta ambiental requerida, de esta manera se cultiva no solamente la madera necesaria para consumo doméstico, sino también madera con fines de comercialización dentro del marco legal actual instituido, adicionalmente se incentiva también el mantenimiento del estado de conservación de áreas con bosques naturales[4].

[4] FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA-Programa Ambiental KFW. 20 años de desarrollo forestal con pequeños agricultores. 2014, p. 4,5; 30-39

4.2.1. Medidas forestales desarrolladas por el programa

Estas medidas representan la implementación física del programa, se llevan a cabo en lotes de terreno adecuados para tal fin en cada una de las fincas que se seleccionan para ser beneficiarias del programa y generan el mapa temático primario, en otras palabras el establecimiento de estas medidas genera los polígonos que delimitan las áreas intervenidas y sus atributos constituyen la información alfanumérica propia de este proyecto, se dividen en 6 y se describen a continuación[5]:

- **Plantación Forestal con Nativas (PFN)**

La medida contempla el establecimiento de un cultivo forestal con especie maderable de rápido crecimiento de origen nativo colombiano, principalmente, Nogal cafetero *Cordia alliodora* y Aliso o también llamado cerezo *Alnus acuminata,* la siembra se realiza en lotes homogéneos en donde únicamente estará presente la especie en cuestión, a un trazo de 3 m por 3 m, es decir con una densidad de siembra de 1111 árboles por hectárea.

- **Plantación Forestal con Introducidas (PFI)**

Esta medida describe las mismas características del numeral anterior exceptuando que las especies forestales maderables utilizadas no son de origen nativo, provienen del diversidad de regiones del planeta, entre las más representativas se cuentan: Pino patula (*Pinus patula)* de origen centroamericano, específicamente México; Eucalipto rosado (*Eucaliptus grandis)* de origen Australiano, estas especies han presentado gran adaptabilidad a las características biofísicas de nuestro territorio, con altas tasas de crecimiento promedio anual, calidad de la madera y muy buenas condiciones de mercado.

- **Sistema Agroforestal (SAF)**

Implica el establecimiento de especies maderables ya sea de origen nativo o introducido en combinación espacial con sistemas productivos agrícolas, el principal cultivo asociado es el café, sin dejar de lado pero en menor proporción

[5] FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Programa Forestal KFW. Información Institucional.

cultivos como el cacao, guanábana, entre otros, presentes en la misma unidad de tierra y con algún interés económico o ecológico[6].

- **Enriquecimiento de Bosques degradados (EBD)**

Considera la siembra de diversas especies nativas en el interior de bosque, se lleva a cabo en las áreas desprovistas de árboles donde el suelo ha perdido su potencial de repoblación natural ocasionado por diversas intervenciones de tipo antrópico o natural que conllevan a la pérdida de la cobertura vegetal.

- **Conservación de Bosques Naturales sin Cerco (CBNSC)**

Esta medida contempla áreas cubiertas de vegetación nativa de carácter protector donde no se ha realizado ningún tipo de intervención y se destina únicamente para conservación. Estas áreas estratégicas favorecen la protección de hábitats permitiendo la regulación del ciclo hidrológico, la conservación del suelo y la generación de oxígeno.

- **Conservación de Bosques Naturales con Cerco (CBNCC)**

Son áreas de vegetación nativa de carácter protector que se han visto disminuidas por procesos de intervención antrópica y que se aíslan con cerco para evitar su desaparición favoreciendo el repoblamiento de especies vegetales propias de la zona.

4.2.2. Funcionamiento del programa

- Comienza con la solicitud de participación por parte de un agricultor perteneciente a la jurisdicción, estas solicitudes se dan gracias a estrategias de promoción, sensibilización y capacitación tanto en campo como en oficina, seguidamente se procede a planificar y realizar visita a finca para diagnosticar las condiciones biofísicas de la unidad productiva, estas condiciones se deben complementar con consultas de mapas de zonificación del territorio, aquí se deben analizar en combinación las siguientes variables: a.s.n.m., pluviosidad, temperatura, suelos, pendiente, accesibilidad e infraestructura vial, etc.

[6] FARFAN VALENCIA, Fernando. Arboles con potencial para ser incorporados en sistemas agroforestales con café. Federación Nacional de cafeteros de Colombia. 2014. p. 11.

- De llegar a presentar calidad de sitio adecuada, se conciertan y definen las áreas de intervención, aquí es necesario delimitar, georreferenciar centroides y calcular el área del lote o lotes de forma preliminar, de la sumatoria de estas áreas depende la producción de material vegetal, allí mismo se define la medida y especie a establecer.

- Se lleva a cabo la consecución y consolidación de la documentación necesaria para el proceso contractual formal. Teniendo ya un grupo de participantes considerable se inicia en vivero la producción del material vegetal requerido, durante este tiempo el agricultor prepara y adecua el terreno.

- A la entrega del material vegetal se asiste técnicamente para el proceso de siembra, ya sembrado es necesario planificar una nueva serie de visitas con recorridos eficientes, esto con el fin de verificar calidad de labores y cotejar en forma definitiva las áreas intervenidas, nuevamente se calculan áreas y delimitan polígonos de los lotes.

- Finalmente se digitalizan los polígonos e ingresan los atributos correspondientes.

- Durante el periodo de desarrollo de la plantación se elaboran visitas semestrales para desarrollar asistencia técnica y llevar a cabo evaluación de múltiples variables, entre las que se destacan mortalidad, crecimiento, fitosanidad, volúmenes maderables, etc., todas con influencia espacial, hasta llegar a la época de aprovechamiento en donde es determinante el cálculo final de volúmenes de aprovechamiento, rutas de extracción eficiente, si es necesario trazado de vías temporales, ubicación de patios de aserrado, etc. Todas labores técnicas demandan análisis espaciales de diferentes complejidades.

- Uno de los requisitos para el registro de la plantación forestal de tipo comercial ante el ICA[7] es un mapa de localización georreferenciado del lote forestal a registrar.

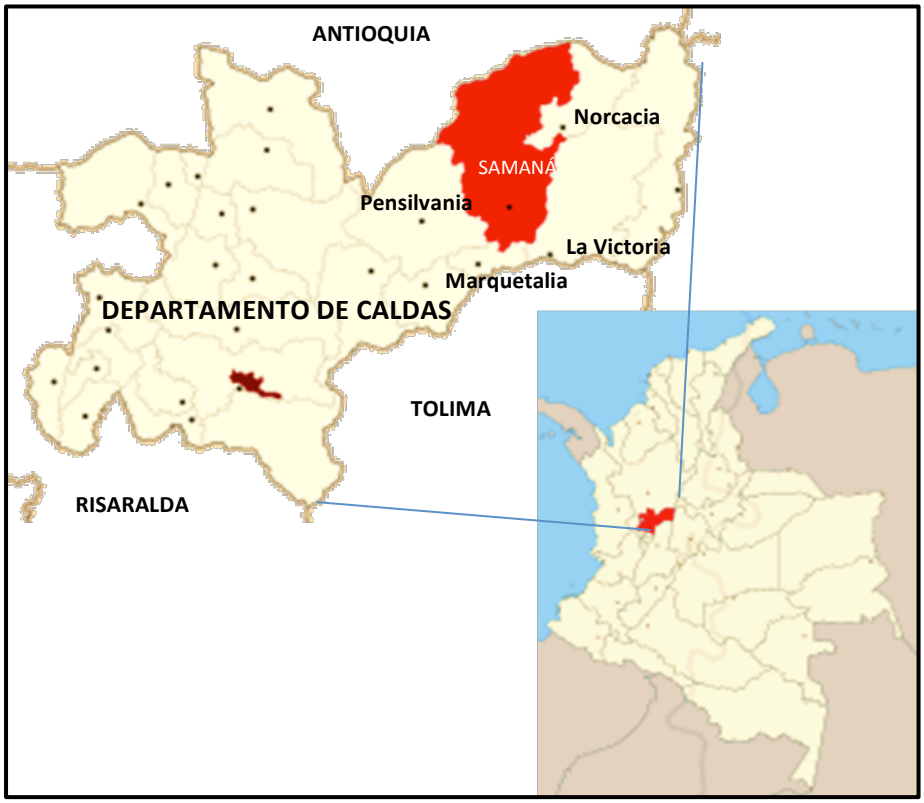
[7] INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. Ente que regula, asiste y controla todos los cultivos en el país.

4.3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO

4.3.1.LOCALIZACIÓN

El municipio de Samaná se encuentra encallado en la vertiente occidental de la cordillera central, hace parte del oriente del departamento de Caldas y situado en la región del Magdalena Medio (ver figura No.1 y Cuadro No.1).

Figura No. 1. Localización del área de influencia del proyecto



Fuente: Los Autores. Tomado de página web oficial Alcaldía Municipal Samaná y Wikipedia.

Desde el municipio de Mariquita Tolima se toma vía pavimentada durante 1 hora hacia el municipio de la Victoria Caldas de ahí se sigue por vía terciaria durante media hora hasta llegar al paraje de cañaveral, en este punto se deja la ruta hacia el municipio de Marquetalia y se toma el cruce hacia el municipio de Samaná, ruta con duración aproximada de 45 minutos sobre vía terciaria.

Cuadro No. 1. Descripción Biofísica y Socioeconómica.

LOCALIZACION	Nororiente del Departamento de Caldas
COORDENADAS GEOGRAFICAS	5°.32' Latitud Norte meridiano de Greenwich 74° 50' Longitud Oeste de meridiano de Greenwich
ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR	1460 m.s.n.m.
CLIMA	El Municipio se encuentra establecido dentro de los pisos térmicos Cálido, Templado y Frío, con temperaturas promedio de 20° Centígrados y precipitaciones que alcanzan los 7500 mm anuales.
LIMITES	**Oriente:** Con el Municipio de Victoria y Norcasia. **Occidente:** Con el Municipio de Pensilvania y El Departamento de Antioquia. **Norte:** Con El Departamento de Antioquia. **Sur:** Con los municipios de Marquetalia y Victoria.
TOPOGRAFÍA	Predominio de líneas escarpadas, con altitudes entre los 500 y 2000 m.s.n.m.
HIDROGRAFÍA	El municipio cuenta con cuencas importantes a nivel regional que sirven de aportantes a proyectos generadores de energía eléctrica como Miel I, y que a su vez tributan sus aguas a la gran cuenca del río Magdalena. Entre ellas se destacan las cuencas de los ríos La Miel, Samaná Sur y Tenerife; con subcuencas como las de los ríos Manso, Moro y Hondo.
ECOSISTEMAS (Fortalezas Biofísicas)	Se presentan ecosistemas estratégicos de gran valor natural y ecológico en donde se destacan la Selva de Florencia y la Laguna de San Diego.
DIVISION POLITICO ADMINISTRATIVA	Cabecera municipal (63 Veredas) Corregimiento de Florencia (48 Veredas) Corregimiento de San Diego (34 Veredas) Corregimiento de Berlín (11 Veredas) Corregimiento de Encimadas (11.Veredas)
POBLACION (Censo 93/DANE – proyección 97). (Carta Estadística de Caldas, 2002)	Población total 1997: 41.400 habitantes Población total 1998: 41.841 habitantes Proyección Población total 2000: 34.826 habitantes (Población de Samaná posterior a la segregación del Corregimiento de Norcasia) Proyección Población total 2005: 36.559 habitantes

VOCACION PRODUCTIVA	Dentro de la vocación agraria se destaca la caficultura como la principal fuente económica del territorio, ocupando el primer lugar en importancia a nivel de cultivos en explotación, teniendo en cuenta su participación dentro del promedio Departamental; seguido por cultivos como la Caña Panelera y Maíz. A nivel pecuario La Ganadería se presenta como la primera opción productiva del municipio, que se concentra en las veredas de Samaná Cabecera y los Corregimientos de Florencia, San Diego y Berlín.

Fuente: Página web oficial Alcaldía Municipal Samaná.

4.4. SOLUCIONES SIG EN SILVICULTURA A PARTIR DE IMÁGENES SATELITALES DE ALTA RESOLUCIÓN

La información ha sido siempre un «activo» importante de los administradores forestales. Desde hace mucho tiempo, conocer las especies arbóreas, la edad de la masa forestal, las características de crecimiento, la calidad del sitio, los tipos de suelo y de terreno, los costos de la explotación forestal y los mercados de los productos son requisitos esenciales para una gestión forestal rentable. Lo que ha cambiado es la tecnología utilizada para obtener, analizar y presentar esa información y, en particular, la rapidez con que todo eso se puede hacer.

La teledetección combinada con sistemas de información geográfica han revolucionado la gestión de recursos forestales, volúmenes considerables de información puede ser analizados con rapidez y precisión[8], generando insumos de alto valor estratégico para la toma de decisiones, planificación de labores, cálculos y mediciones que anteriormente se realizaban tras largas temporadas de trabajo en campo y oficina.

Actualmente la teledetección ha evolucionado hasta llegar a producir imágenes con resolución espacial centimétrica. Algunas de las imágenes de alta resolución más comunes en la actualidad provienen de sensores instalados en satélites, fotografía aérea a partir de aviones, aeromodelos y drones, estos últimos con gran auge en la actualidad.

Se define como resolución espacial al tamaño de la unidad mínima que compone una imagen, esta unidad es el pixel, entre más pequeño el pixel mayor capacidad

[8] FAO: Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. La informática y el sector forestal: Sistemas de información en el sector forestal. En: Unasylva. No. 189. Disponible en: www.fao.org/docrep/w4086s/w4086s04.htm

para identificar detalles u objetos, definir formas y/o delinear objetos en la imagen, no obstante el término alta resolución es relativo a su aplicación. En la mayoría de casos de 1 a 3 m de tamaño de pixel ya se considera alta resolución y su aplicación está recomendada para estudios de vegetación, para levantamiento de pequeñas unidades agrícolas, fitosanidad entre otras.

La alta resolución de estas imágenes (ver Figura No. 2) provee una increíble capacidad para la interpretación en oficina e identificación en campo de detalles del terreno, para ejemplo prácticamente es posible contar árboles de café sembrados a un metro de distancia, consecuentemente para cultivos forestales sembrados a 3m por 3m o 3 por 2m el nivel de precisión y confiabilidad de la información espacial y alfanumérica aumenta sustancialmente, facilitando paralelamente el levantamiento y digitalización de la misma.

Figura No. 2. Imagen IKONOS tipo.

Fuente: Página web Geoespatial[9].

Así mismo, la construcción de información temática actualizada y precisa presenta relativa facilidad con la necesidad mínima de salir de la oficina, esta característica puede estructurar procesos metodológicos que no solamente aumentan como ya se dijo el nivel de confiabilidad y precisión de productos en todo tipo de proyectos, sino que también disminuye ostensiblemente los altos costos y riesgos del trabajo operativo en campo.

[9] IKONOS. Recuperado de: www.geoespatial.com.co/imagenes-de-satelite/ikonos.html

Digitalización de redes viales, hidrografía, uso del suelo, ubicación de infraestructura, determinación de especies vegetales, medición de copas, etc. son posibles de construir y/o calcular solo con un dispositivo de entrada conocido como mouse y profesionales con entrenamiento en interpretación de imágenes.

4.5. IMÁGENES SATELITALES IKONOS

El vocablo proviene del griego y significa imagen, inicialmente fue propiedad de la compañia Geoeye y actualmente es parte de DigitalGlobe. Lanzado el 24 de septiembre de 1999 desde base de la Fuerza aérea norteamericana Vandenberg California EE.UU. y se confirmó como el primer satélite comercial del mundo (ver figura No. 3 y Cuadro No. 2) con un sensor remoto capaz de capturar imágenes de alta resolución con accesibilidad para el público[10].

Figura No. 3. Satélite Ikonos en órbita

Fuente: Página web Spacefellowship

Cuadro No. 2. Especificaciones del sensor

Órbita	98.1 grados, sincronización solar
Velocidad en órbita	7.5 kilómetros por segundo
Velocidad sobre la tierra	6.8 kilómetros por segundo
Número de revoluciones alrededor de la tierra	14.7 cada 24 horas

[10] Lockheed Martin-Built Earth Imaging Satellite Marks 11 years on-orbit (2010). Recuperado de: www.spacefellowship.com/news/art22831

Tiempo de órbita alrededor de la tierra	98 minutos
Altitud	681 kilómetros
Resolución	**Nadir:** 0.82 metros pancromáticos 3.2 metros multiespectrales **26° Off-Nadir** 1.0 metros pancromáticos 4.0 metros multiespectrales
Imagen de Ringlera	11.3 kilómetros en nadir 13.8 kilómetros a 26° off-nadir
Tiempo de cruce por el Ecuador	Nominalmente 10:30 a.m. tiempo solar
Tiempo de regreso	Aproximadamente 3 días a 40° de latitud
Dinámica de alcance	11-bits por pixel
Bandas de imagen	Pancromática, azul, verde, rojo cerca de IR

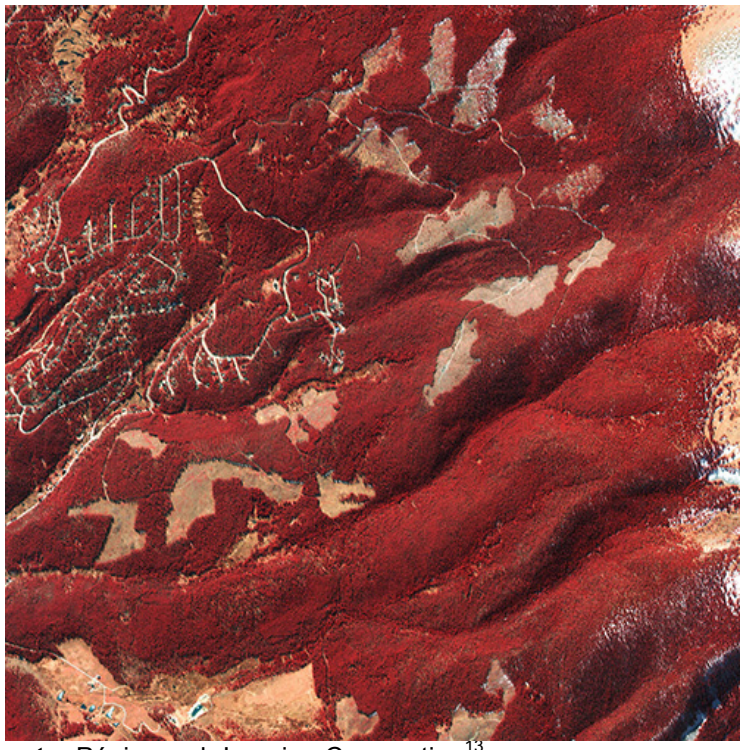
Fuente: Página web imaging corporation[11] .

La figura No. 4 representa como la banda roja del espectro visible es tal vez la más efectiva para discriminar vegetación, incluso llegando a diagnosticar estado fitosanitario e identificar especie[12], esta propiedad combinada con imágenes de alta resolución como las del sensor del satélite IKONOS, provee capacidades de análisis espaciales a nivel detallado.

[11] Especificaciones de imagen y sensores satelitales IKONOS. Recuperado de: www.satimagingcorp.es/gallery-ikonos.html

[12] CHINEA, J.D**.** *Teledetección de bosques tropicales*. In: M.R. Guariguata & G.H. Kattan (eds.). Ecología de bosques neotropicales. Cartago, Costa Rica. Editorial Tecnológica. 2002.

Figura No. 4.Imagen Ikonos procesada en la banda roja (3) para análisis de vegetación.



Fuente: Página web Imaging Corporation[13]

4.6. ANTECEDENTES

El primer SIG similar al modelo que conocemos en la actualidad con superposición de capas fue en 1962 desarrollado en Ottawa (Ontario, Canadá) a cargo del Departamento Federal de Silvicultura y Desarrollo Rural. Este importante trabajo para el sector forestal fue diseñado por Roger Tomlinson, y fue llamado Sistema de información geográfica de Canadá (*Canadian Geographic Information System*, CGIS), el cual permitió almacenar, analizar y manipular datos recogidos para el inventario de Canadá relativos a tipos y usos del suelo, agricultura, espacios de recreo, vida silvestre, aves acuáticas y silvicultura, a escala de 1:50.000 con un factor de clasificación para el análisis de la información; soportaba un sistema nacional de coordenadas que abarcaba todo el continente[14].

[13] Silvicultura. Control remoto de silvicultura. Recuperado de: www.satimagingcorp.com/applications/natural-resources/forestry/forestry_es/

[14] Sistema de información geográfica. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/sistema_de_información_geográfica

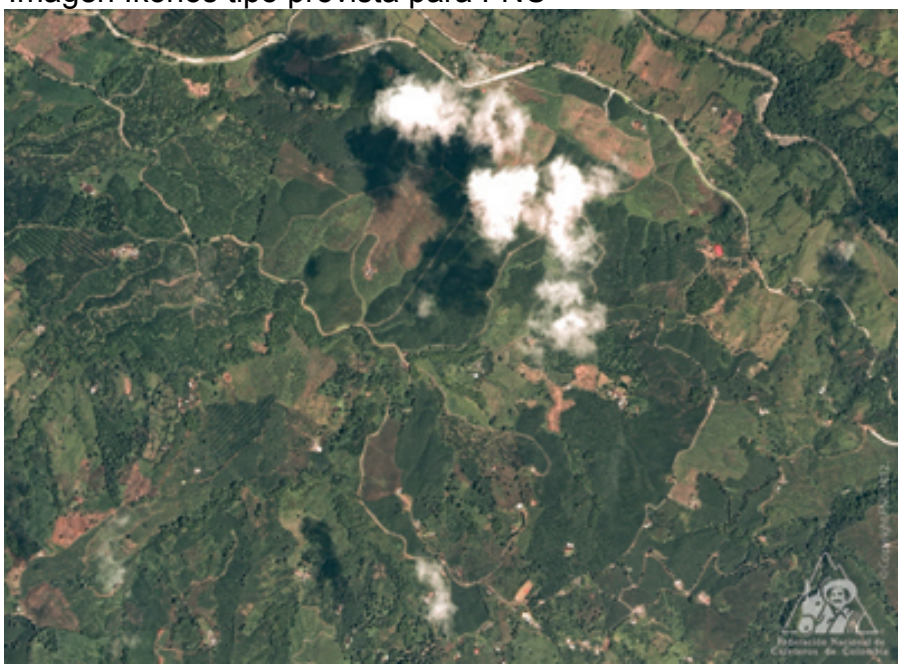
A continuación se presenta una relación de los trabajos SIG realizados en algunos países para la generación de información de una manera eficiente y eficaz.

4.6.1. Sistema de Información Cafetera SIC@ (Colombia)

Es un componente de la infraestructura de datos geo-referenciados de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia y se constituye como la principal fuente de información de tipo estratégico que orienta el diseño, formulación, trazado y seguimiento de las políticas de competitividad de la caficultura en el país.

Su componente espacial está desarrollado en ArcGIS sobre imágenes IKONOS pancromáticas en falso color (ver Figura No. 5), con resolución de 60 cm/pixel, el componente alfanumérico está desarrollado en Oracle y todo el sistema esta soportado en plataforma WEB (ver Figura No.6) con servidores centralizados que permiten actualización en tiempo real para más de 1200 usuarios distribuidos en todo el territorio nacional.

Figura No. 5. Imagen Ikonos tipo provista para FNC



Fuente: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Oficina SIC@.

Figura No. 6. Plataforma de ingreso al componente espacial del Sistema de Información cafetera

Fuente: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Oficina SIC@.

Su metodología de levantamiento y actualización de la información espacial basado en imágenes de alta resolución inspiró el desarrollo del presente trabajo.

4.6.2. Corporación Nacional de Fomento Forestal (Colombia)

La Corporación Nacional para el Desarrollo de Investigación y Fomento Forestal CONIF®[15]desde hace algunos años viene implementando el uso de sensores remotos para la ordenación y la zonificación forestal, de esta manera se ha logrado contar con el primer mapa de áreas aptas para la reforestación de Colombia y se acerca a una cifra de área potencial para este uso. De igual manera, la Corporación ha utilizado los Sistemas de Información Geográfica-SIG y su aplicación para identificar cambios en el uso de las tierras que por tradición han estado cubiertas de bosques, igualmente ha logrado la caracterización de los bosques del país y dar un apoyo para las estrategias de conservación de los

[15] Corporación Nacional para el Desarrollo de Investigación y Fomento Forestal CONIF®.SIG Forestal. En: Cartografía Forestal. Disponible en: http://conif.org/productos/sig-forestal-cartografia/

recursos naturales que se realiza por medio de mecanismos como los servicios ambientales y los mecanismos de desarrollo limpio.

Unos de los trabajos más importantes del área de SIG, realizado por CONIF® en el último año es la verificación de áreas ofertadas para el establecimiento de plantaciones forestales dentro del esquema del Certificado de Incentivo Forestal-CIF, certificando que el área ofrecida no ha estado cubierta por bosques naturales en los años recientes y que no se encuentra dentro de las áreas de reserva o protección o la sobre posición de áreas objeto de incentivos en otros años. Este antecedente se considera relevante, teniendo en cuenta que es el requisito primario para entrar a ser beneficiario del programa Forestal KFW - FNC.

4.6.3. Universidad Autónoma de México

Mediante tesis doctoral, se propuso una metodología Integral para la descripción, análisis y simulación de algunos de los procesos forestales presentes en una región en el estado de México utilizando y aplicando diversas técnicas de análisis y sistemas de información geográfica (SIG). En primer lugar se determinó el cambio de ocupación y uso del suelo ocurrido entre 1993 y 2000; luego se investigaron cuáles son los factores relacionados con los cambios utilizando modelos de regresión lineal múltiple, regresión geográficamente ponderada y regresión logística y por último se propuso una metodología para evaluar la localización de zonas de adecuación óptima para plantaciones forestales comerciales, de restauración y protección y agroforestales, mediante el uso integrado de técnicas de evaluación multicriterio (emc) y SIG. Se muestra como resultado que bosques templados y tropicales sufrieron significativo deterioro en la densidad del arbolado, sustituido por vegetación secundaria de tipo arbustivo; se detectaron superficies forestales que fueron transformadas a otras coberturas no forestales y se presentaron cambios que denotan cierta recuperación y revegetación. Es un método novedoso para explorar y describir las relaciones que tienen variabilidad espacial en el territorio y de esta forma lograr una planificación forestal más sostenible16.

[16] Universidad Autónoma de México. Descripción, Análisis y simulación de procesos forestales en el estado de México mediante tecnologías de la información geográfica. Tesis Doctorado. Disponible en: http://www.uah.es/estudios/postgrado

4.6.4. Universidad Nacional de Entre Ríos (Argentina)

Brizuela, Milera y Mestres, (2002) propusieron utilizar el método de relevantamiento y actualización para el seguimiento de la dinámica de plantaciones forestales que incluyó el uso de imágenes de satélite Landsat 7 ETM+ utilizando datos multiesprectrales y trabajo de campo, esto permitió contar con información actual del área implantada para cada especie teniendo en cuenta que las especies más utilizadas en las reforestaciones comerciales son *Eucalyptus grandis* y en menor medida *Eucalyptus dunni, Pinus elliottii, Pinus taeda y Eucalyptus globulus* con su respectivo seguimiento para evaluar los cambios. En el año 2003 se realiza la primera actualización anual de la provincia de Entre Ríos y la aplicación de la metodología en tiempo real de la superficie implantada con las especies indicadas en seis departamentos de la cuenca entrerriana del Río Uruguay. Se logró localizar con exactitud los lotes forestales y se determinó la superficie por lote, por distrito y por departamento. Se contaba con las capas temáticas vectoriales que corresponden a los lotes forestales detectados en los relevamientos forestales de enero y de agosto de 2002 (Brizuela y Milera, op cit), estas capas vectoriales fueron ajustadas y se actualizó la base de datos correspondiente utilizando ArcView GIS 3.2, el procesamiento de las imágenes de satélite se realizó con ENVI 3.5. Las imágenes fueron georreferenciadas utilizando la cartografía del IGM en el sistema de Proyección Conforme Gauss Krüger, Datúm Posgar 94, Faja 5; se ajustaron los polígonos de lotes detectados y se agregaron los correspondientes a lotes de plantaciones nuevas. Se actualizó la base de datos con los cambios detectados en la ocupación en éstos. Se vectorizaron en pantalla los contornos de las plantaciones forestales, que responden a los patrones visuales de las imágenes, composición color 4-5-3, definidos en 7 clases. Se tuvieron en cuenta las características comunes como forma geométrica, sombra proyectada -en el caso de plantaciones de alto porte- y contexto[17]. Con la metodología propuesta de interpretación visual de imágenes satelitales, apoyada con trabajos de campo, puede realizarse en forma rápida y confiable una actualización de los recursos forestales implantados en una región.

[17] BRIZUELA, MILERA y MESTRES. Plantaciones de Eucaliptos y Pinos en los departamentos del este de Entre Ríos. En: Centro de Investigaciones científicas y de transferencia de tecnología. Entre Ríos, Argentina: Universidad Nacional de Entre Ríos. Disponible en: www.insugeo.org.ar/libros/misc_12/19.htm

5. METODOLOGÍA

5.1. TIPO DE TRABAJO

Se realizó un desarrollo tecnológico representado en una herramienta SIG local, estructurada en una base de datos espacial utilizando el software licenciado ArcGIS de la compañía ESRI. La conceptualización base para el diseño se soporta en la ciencia SIG, el levantamiento de la información espacial y alfanumérica combinó el área de la percepción remota a partir del sensor del satélite IKONOS con las ciencias forestales aplicadas y finalmente el procesamiento y análisis involucró nuevamente ciencias forestales combinadas con la estadística y la informática.

5.2. RECURSOS

5.2.1. Humanos

Ingeniero Forestal SIG (2), Desempeñaron funciones de campo principalmente relacionadas con la toma de información primaria in situ de las fincas y lotes participantes del programa, así como la gestión para la consecución de información secundaria en las entidades correspondientes, en oficina consolidarán los datos propios del programa, cartografía y demás información necesaria para la construcción del SIG, así mismo proveerán la conceptualización del mismo de acuerdo con análisis de necesidades y requerimientos de información y funcionales, finalmente validarán la funcionalidad, eficiencia y calidad del SIG en forma operativa mediante casos reales.

5.2.2. Equipos e información

- **Hardware**: Equipos de cómputo con las especificaciones mínimas para el desarrollo de SIG (cantidad 2), GPS grado recreacional (cantidad 2). Impresora láser color calidad fotográfica,

- **Software:** Es de anotar que esta selección es preliminar y está definida a partir del Software usado y licenciado institucionalmente en la empresa donde nos desempeñamos actualmente. Sistema operativo Windows 7, ArcGIS 10.1. Construcción SIG y procesamiento espacial, Microsoft Excel procesamiento preliminar de datos.

- **Equipos y utensilios:** hipsómetros (2) medición de alturas y pendientes, cintas métricas (2) cintas diamétricas (2), cámara fotográficas (2), Esferos, lápices, formularios,

- **Información:** Imágenes satelitales IKONOS del área de estudio, Plan de Ordenamiento Territorial, información cartográfica secundaria, bases de datos pre-existentes del programa.

5.3. PROCEDIMIENTO

5.3.1. Fase 1. Pre-procesamiento

- **Determinación requerimientos funcionales**. En primera instancia se establecieron los requerimientos funcionales, es decir los alcances que se pretendían lograr con el SIG, de acuerdo con las necesidades y prioridades del programa.

Se construyó una matriz de evaluación Cuadro No. 3 fundamentada en el manual de procedimientos del programa y en nuestra experiencia operativa en la ejecución del mismo, allí se priorizaron y seleccionaron las actividades más comunes y recurrentes que involucran componente espacial y para las cuales la solución SIG determinaba aumento en eficiencia y precisión.

Para las actividades de influencia espacial se asignaron calificaciones alto, medio o bajo en las variables: nivel de precisión requerido y la demanda de tiempo para realizar la actividad con metodología tradicional o análoga.

Se seleccionaron las actividades con calificación alto – alto, alto medio y medio alto, sobre estos requerimientos funcionales se modeló la solución SIG, aparecen seleccionados con sombreado verde claro en el cuadro No. 3.

Cuadro No. 3. Matriz evaluación para determinación de requerimientos funcionales prioritarios y/o estratégicos para el programa kfw - FNC

No	ACTIVIDAD	ESPACIAL	NIVEL DE PRECISIÓN ESPACIAL REQUERIDO	DEMANDA DE TIEMPO (metodología tradicional)
1	Recepción solicitudes de participación	NO	-	-
2	Planificación visitas a finca, diagnóstico calidad de sitio de fincas que solicitan participar (diseño de rutas)	SI	BAJO	BAJO
3	Visita diagnóstica a finca determinación calidad de sitio y	SI	ALTO	MEDIO

	dimensionamiento (área) preliminar de lote a intervenir (a.s.n.m., suelos, pendiente, accesibilidad, climatología)			
4	Consecución documentación requerida	NO	-	-
5	Proceso contractual	NO	-	-
6	Producción material vegetal	NO	-	-
7	Planificación entrega Material vegetal (diseño de rutas)	Si	BAJO	MEDIO
8	Entrega Material vegetal	NO	-	-
9	Establecimiento de medida forestal (agricultor)	NO	-	-
10	Verificación establecimiento	SI	ALTO	ALTO
11	Georreferenciación, determinación área (ha) definitiva	SI	MEDIO	ALTO
12	Poligonización de lotes	SI	ALTO	ALTO
13	Asistencia técnica y seguimiento	NO		-
14	Cálculo de áreas basales, volúmenes comerciales tasa de crecimiento	NO	-	-
15	Generación de mapas georreferenciados individuales requisito registro de plantaciones ante el ICA	SI	ALTO	ALTO
16	Planificación aprovechamiento	SI		

Fuente: Los Autores

- **Determinación requerimientos de información.** Seguidamente se definieron los requerimientos de información, es decir todas aquellas variables alfanuméricas y espaciales necesarias para cumplir con los requerimientos funcionales, fue necesaria la clasificación por tipo de información y fuente de obtención más eficiente y viable, la figura No. 9 representa el proceso realizado.

- **Consecución información alfanumérica secundaria.** Fue determinante el uso de datos reales contenidos en bases de datos institucionales, esta información tenía cláusulas de confidencialidad, situación por la cual se procedió con la gestión y trámite de los permisos administrativos ante los organismos tutores y custodios de la información en cuestión, para el presente caso La Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, El Comité Departamental de Cafeteros de Caldas y La Fundación Ecológica Cafetera, esta última empresa filial del Comité de Caldas. Lo anterior para información propia al programa.

Para la información alfanumérica relativa a la región referente a temperatura y precipitación se consolidaron promedios de datos multianuales periodo 2000 – 2011 teniendo datos de 9 estaciones climatológicas adyacentes a la zona de trabajo (ver Cuadros No. 4 y No. 5). Esta información fue obtenida en los anuarios

meteorológicos producidos por el Centro Nacional de Investigaciones en Café Cenicafé, a continuación se presentan las tablas con los datos consolidados:

Cuadro No. 4. Georreferenciación estaciones y promedio precipitación multianual periodo 2000 – 2011

No	X	Y	a.s.n.m.	ESTACIÓN	TOTAL ANUAL	PROM. MENSUAL
1	75 0 0W	5 19 0N	1395.00	**SANTA HELENA**	4169.85	347.49
2	75 0 0W	5 21 0N	1445.00	**LA GRUTA**	4081.00	340.08
3	75 0 0W	5 22 0N	1352.00	**MEDIO**	7082.73	590.23
4	75 1 0W	5 33 0N	1403.00	**EL TIBURIO**	7758.68	646.56
5	74 58 0W	5 19 0N	1122.00	**LA PASTORITA**	5251.34	437.61
6	74 56 0W	5 20 0N	1054.00	**CUBA**	4829.39	402.45
7	75 4 0W	5 23 0N	1650.00	**VILLARAZ**	4106.38	342.20
8	75 11 0W	5 30 0N	1560.00	**HOGAR JUVENIL**	5787.56	482.30
9	75 6 0W	5 20 0N	1900.00	**GRANJA KENNEDY**	3818.21	318.18

Fuente: Anuarios metereológicos2000 - 2011 Cenicafé FNC®

Cuadro No. 5. Promedio temperatura multianual periodo 2000- 2011

No	X	Y	ALTURA	ESTACIONES	PROMEDIO
1.00	75 0 0W	5 19 0N	1395.00	**SANTA HELENA**	19.83
2.00	75 0 0W	5 21 0N	1445.00	**LA GRUTA**	19.55
3.00	75 0 0W	5 22 0N	1352.00	**MEDIO**	19.69
4.00	75 1 0W	5 33 0N	1403.00	**EL TIBURIO**	19.73
5.00	74 58 0W	5 19 0N	1122.00	**LA PASTORITA**	20.27
6.00	74 56 0W	5 20 0N	1054.00	**CUBA**	20.69
7.00	75 4 0W	5 23 0N	1650.00	**VILLARAZ**	19.26
8.00	75 11 0W	5 30 0N	1560.00	**HOGAR JUVENIL**	19.41
9.00	75 6 0W	5 20 0N	1900.00	**GRANJA KENNEDY**	19.24

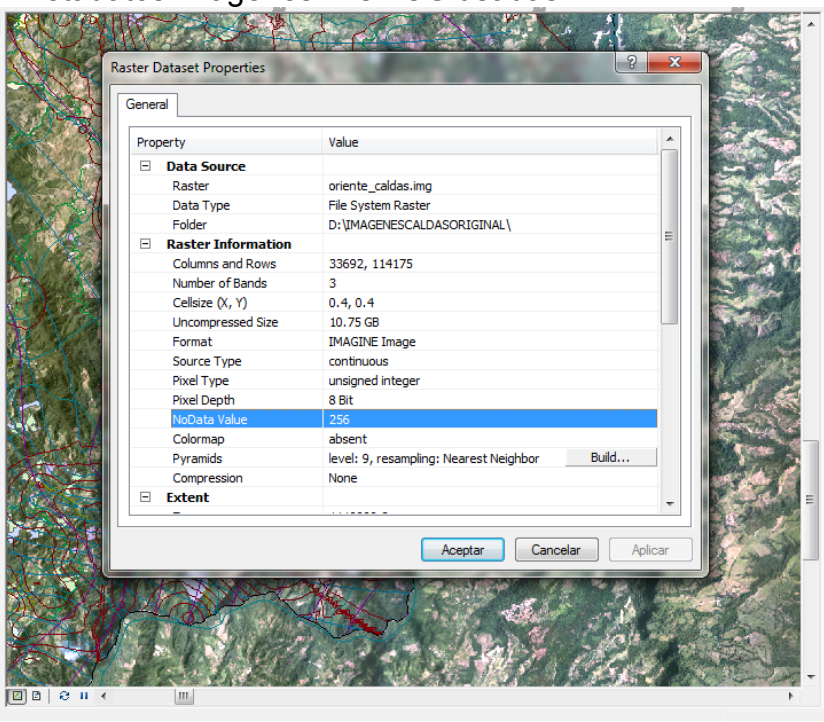
Fuente: Anuarios metereológicos2000 - 2011 Cenicafé FNC®

- **Consecución imágenes IKONOS.** Parte de la información temática espacial producida por el presente trabajo se construyó teniendo como base imágenes de alta resolución provenientes del sensor remoto del satélite IKONOS, es por esto que se gestionó la consecución de dichas imágenes para la zona de estudio ante la Oficinas SIG Nacional (SIC@ Sistema de información Cafetera) de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. En Las figura No 7 y 8 se pueden observar los metadatos de las imágenes en cuestión, se puede apreciar la alta resolución evidenciada en el tamaño de pixel de 0.4 m* 0.4 m.

- **Consecución información temática secundaria.** Se finalizó esta fase con la recopilación exhaustiva de toda la información idónea secundaria tal como Planes de Ordenamiento Territorial, cartografía temática básica, cartografía básica oficial en las instituciones y organismos donde se ubicaba, seguidamente se seleccionó la cartografía más actualizada y/o con mayor posibilidad de

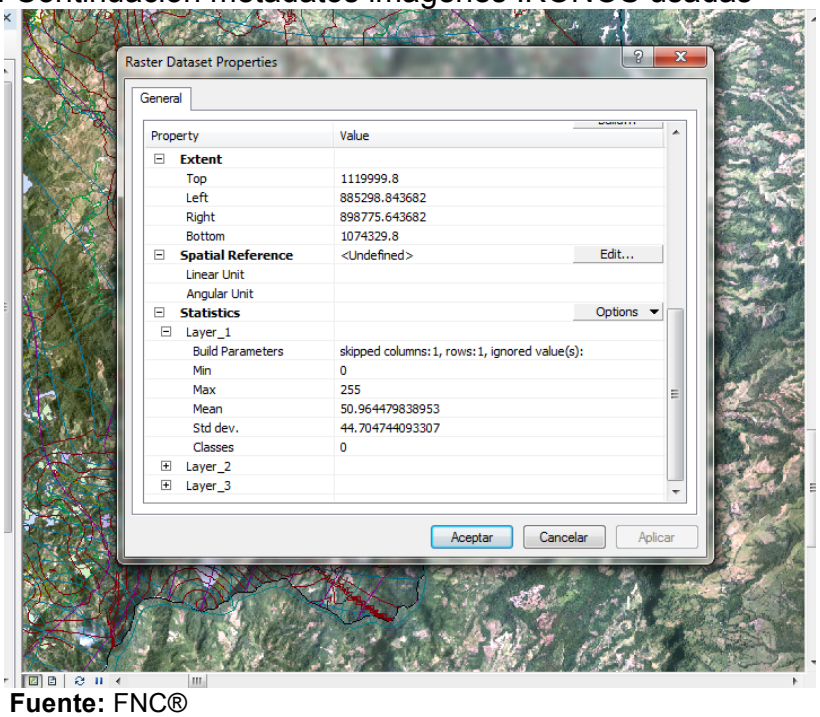
migración y adaptación al presente modelo, básicamente fue la contenida el Plan de Ordenamiento Municipal, esta se encontraba en formato DWG de AutoCAD.

Figura No. 7. Metadatos imágenes IKONOS usadas



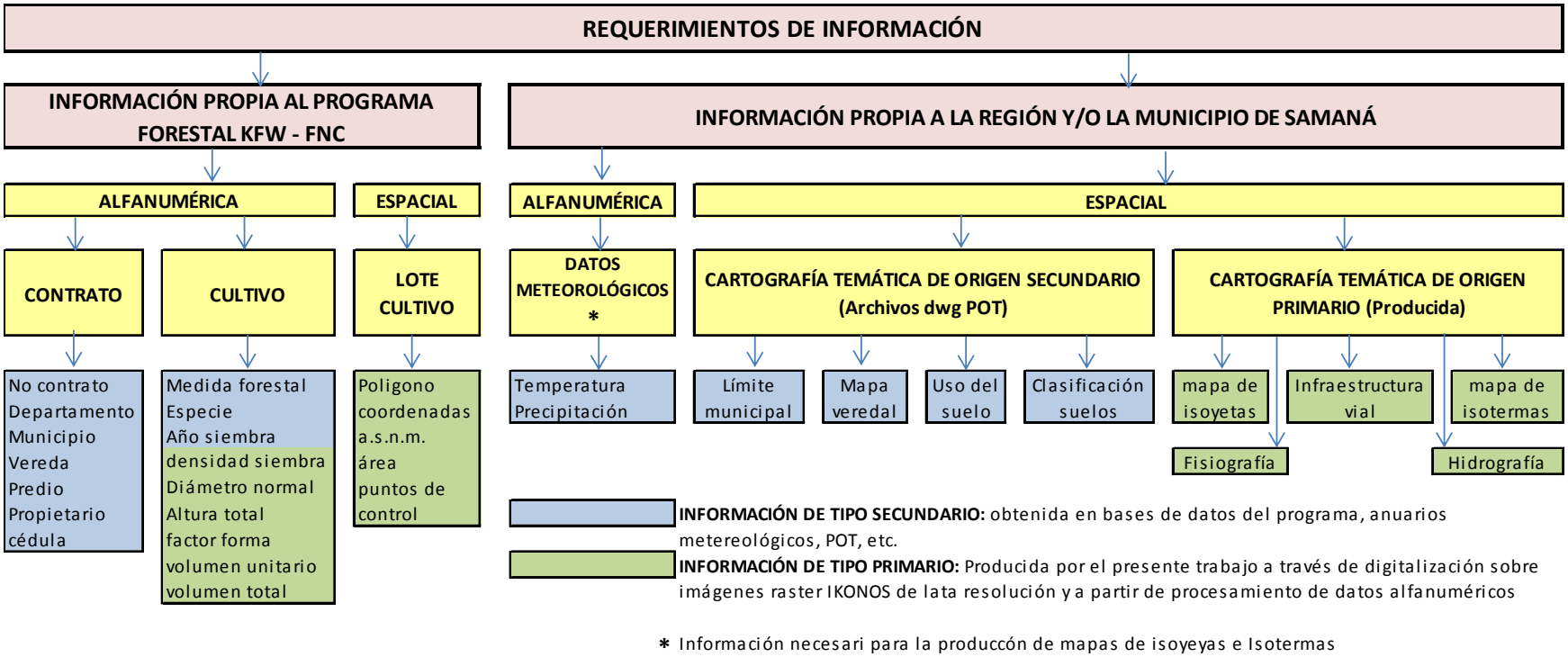
Fuente: FNC®

Figura No. 8. Continuación metadatos imágenes IKONOS usadas



Fuente: FNC®

Figura No. 9. Árbol de clasificación de información que pre-estructura organización de Geodatabase modelo.

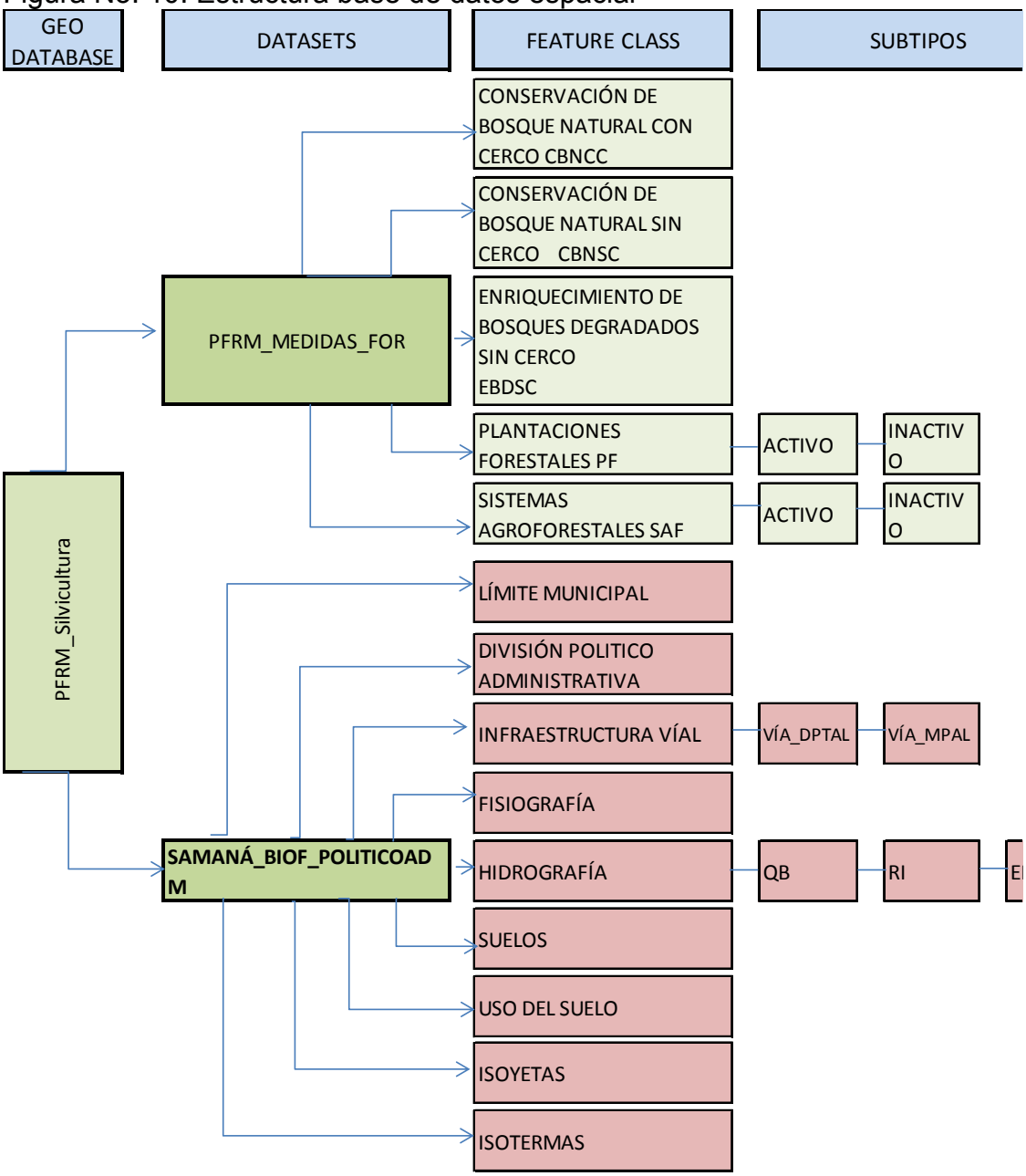


Fuente: Los Autores

5.3.2. Fase 2. Creación y desarrollo estructura base de datos espa GEODATABASE

Teniendo como base los requerimientos funcionales y la organización d información propuesta se creó En ArcGIS 10.3 una base de datos espacial de File Geodatabase con la estructura representada en la figura No 10.

Figura No. 10. Estructura base de datos espacial



Fuente: Los Autores

Se establecieron reglas topológicas de no sobre - posición y configuró la simbología de acuerdo a parámetros de contraste visibilidad entre las diferentes Feature class.

5.3.3. Fase 3. Operativa Campo

- **Montaje imágenes IKONOS y elaboración layouts para toma de información espacial en campo.** Las imágenes del sensor del satélite IKONOS ya se encontraban orto-rectificadas y georreferenciadas, situación por la cual se procedió a adicionarlas en la plataforma de trabajo de ArcGIS versión 10.3, con sistema de proyección Magna sirgas Colombia Bogotá, seguidamente se elaboraron layouts de estas imágenes a escala 1.7000 de las diferentes zonas de trabajo, dichos layouts fueron impresos en equipo laser a color con calidad fotográfica.

- **Levantamiento información espacial primaria propia al programa.** aplicando metodología de foto-identificación y foto-interpretación por detalles en el terreno en recorridos en campo se obtuvieron polígonos dibujados a mano de los perímetros de los lotes forestales (ver figura 12), logrando así la información análoga espacial primaria correspondiente al programa. Para este fin nos apoyamos en equipos de Posicionamiento Global GPS de tipo recreacional con los cuales se tomaron centroides y/o puntos de control con precisión de 2 metros, para el 100% de lotes.

- **Levantamiento información alfanumérica primaria propia al programa.** Durante los mismos recorridos de campo paralelamente se levantó la información primaria alfanumérica (ver figura No.11) para cada uno de los predios donde la información era insuficiente, poco consistente o inexistente. Para este fin se utilizó cinta diamétrica, hipsómetro, decámetro, cámara fotográfica, flexómetro, esfero, formularios.

Figura No. 11. Toma de información en campo

Figura No. 12. Modelo de visualización de imagen para trabajo en campo

Fuente: FNC®

5.3.4. Fase 4. Procesamiento y producción de información temática

Se emplearon cuatro metodologías para cumplir con este fin: digitalización por interpretación de detalles directamente sobre las imágenes, con la cual se construyeron los mapas de infraestructura vial y de hidrografía relevante para el presente trabajo; digitalización por transcripción directa sobre las imágenes de información levantada en campo, a través de esta técnica se logró construir los mapas de polígonos de las diferentes medidas del programas forestal descritas en el numeral 4.2.1 contenido en el capítulo de marco teórico; procesamiento de archivos dwg de AutoCAD, con este procedimiento se migraron y adaptaron los mapas de limite municipal, división político administrativa, uso del suelo y unidades de suelo y finalmente se obtuvieron los mapas de isoyetas, isotermas y Fisiografía a través del uso de la herramienta kriging de ArcToolbox información alfanumérica georreferenciada de estaciones climatológicas y puntos de control con a.s.n.m. obtenidos con GPS.

- **Producción de mapas temáticos a partir de digitalización directa sobre imágenes de alta resolución IKONOS**

Los polígonos de los lotes intervenidos por el programa en sus diferentes medidas fueron digitalizados con la metodología de transcripción por detalles del terreno, directamente sobre la imagen IKONOS, a partir de los dibujos logrados en campo

sobre layouts impresos. Se utilizó en la plataforma ArcGIS 10.3 logrando de esta manera el mapa de polígonos de lotes con medidas forestales establecidas.

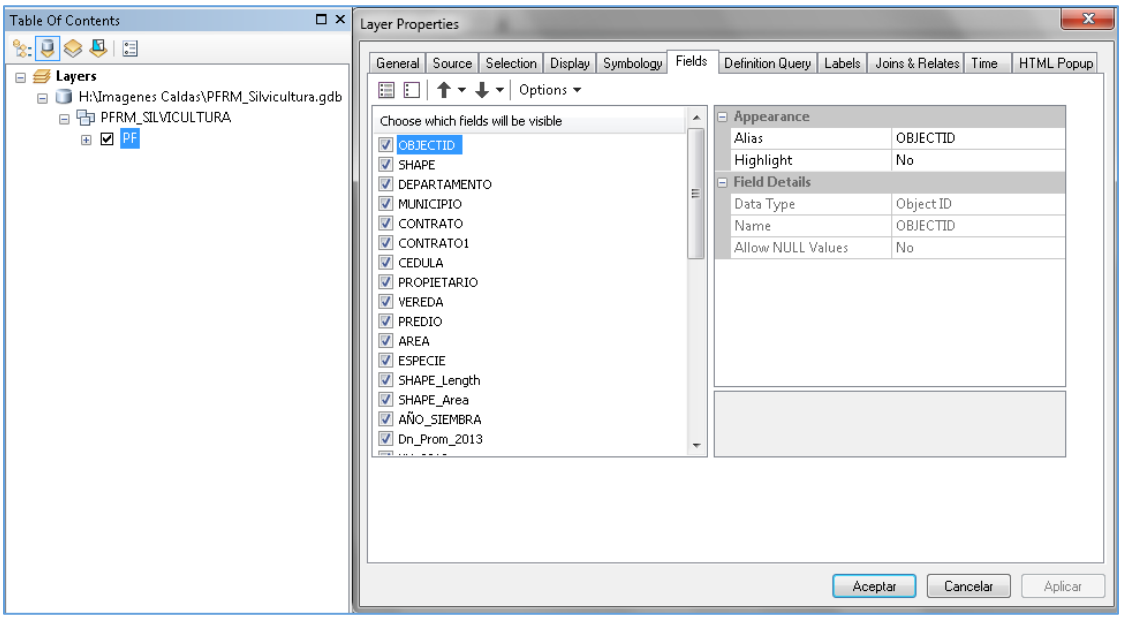
Se digitalizaron un total de 557 polígonos clasificados en las siguientes 5 Feature class: SISTEMAS AGROFORESTALES 481, PLANATACIONES FORESTALES 34, CONSERVACIÓN DE BOSQUE NATURALES CON CERCO 7, CONSERVACIÓN DE BOSQUES NATURALES SIN CERCO 34 Y ENRIQUECIMIENTO DE BOSQUES DEGRADADOS SIN CERCO 1.

- **Ingreso atributos alfanuméricos Programa forestal a cada de Feature class**

- **Creación de campos para feature class**

Se crearon los campos correspondientes para cada feature class (ver figura 13), Departamento, municipio, contrato, documento de identidad, propietario, vereda, predio, área, especie, estado de contrato para todas las feature class y adicionalmente para las Feature class Plantaciones Forestales y Sistema Agroforestal se crearon los campos: Año de siembra, No de árboles, Factor de forma, diámetro normal, altura total para los años 2013, 2014 y 2015, volumen unitario y volumen total.

Figura No. 13. Proceso de creación de campos para la feature class PF



Posteriormente se ingresó la información de atributos para los 557 polígonos creados en las diferentes feature class.

- **Producción de mapas temáticos a partir de digitalización directa sobre imágenes de alta resolución IKONOS**

La hidrografía y la infraestructura vial se digitalizaron directamente sobre la imagen IKONOS, sirviéndonos de la metodología de foto-interpretación, es decir interpretando la respuesta espectral, geometría, textura y patrones específicos de l los elementos del terreno en la imagen, fácilmente se reconocen y diferencian vías pavimentadas, sin pavimento, ríos, quebradas y grandes cuerpos de agua.

Para el mapa de hidrografía se creó el feature class Hidrografía con los subtipos las QB correspondiente a quebradas, RI correspondiente a ríos y EM correspondiente al polígono del embalse la miel, la información digitalizada responde al nivel de incidencia para el programa.

Así mismo para la construcción del mapa de infraestructura vial se creó el Feature class las capas VIA_DPTAL_1 y VIA_MPAL_1 correspondiente a las vías departamentales y vías municipales respectivamente.

- **Procesamiento y adición de información temática preexistente**

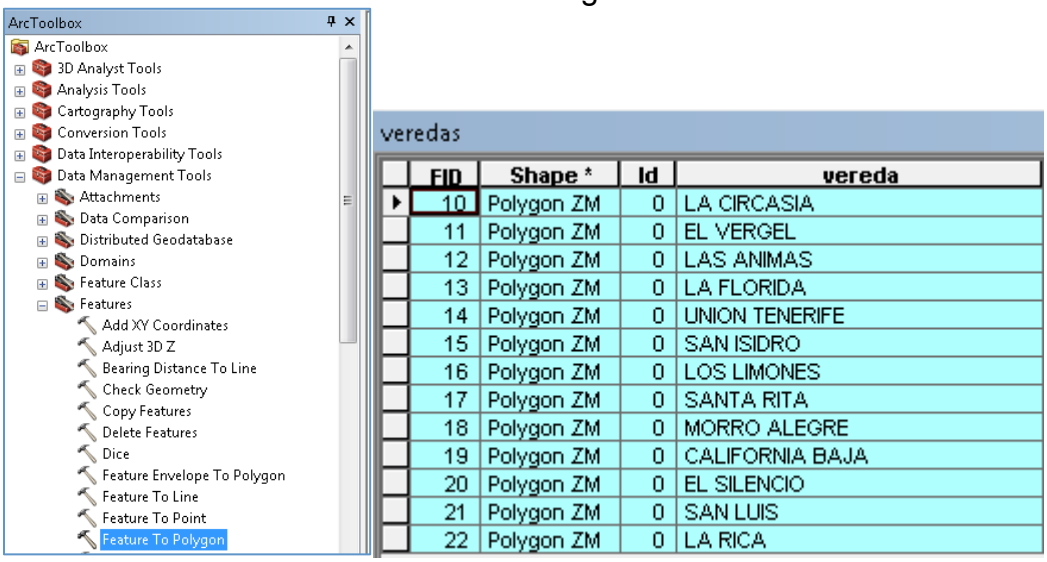
Los cuatro mapas a saber: Límite municipal Samaná, división político administrativa, uso del suelo y unidades de suelos contenidos en el componente de cartografía del Plan de ordenamiento Territorial POT se migraron a la plataforma ArcGIS y se proyectaron en sistema de coordenadas Magna Sirgas Bogotá Colombia.,

Cada mapa mencionado se exportó de los archivos con formato dwg de AutoCAD de tipo poli línea, Por DATA – Export Data se convirtió a formato shape. Luego por ArcToolbox – Data Management Tools- Features –Feature To Polygon se convirtió La poli línea en polígono con su respectivo Sistema de coordenadas.
Para los nuevos shapes se crearon sus respectivos campos relativos a cada uno y se ingresó los atributos para todos los polígonos con información predefinida. La Figura No 14 evidencia parte del proceso.

- **Producción de información temática a partir de datos alfanuméricos y puntos de control**

Teniendo como base la información alfanumérica multianual 2000 – 2011 de 9 estaciones climatológicas georreferenciadas próximas al área de trabajo, para las variables precipitación y temperatura y asociado con herramientas de ArcGIS se procedió a la creación de los mapas de isoyetas e isotermas.

Figura No. 14. Procesamiento de archivos dwg de AutoCAD



FID	Shape *	Id	vereda
10	Polygon ZM	0	LA CIRCASIA
11	Polygon ZM	0	EL VERGEL
12	Polygon ZM	0	LAS ANIMAS
13	Polygon ZM	0	LA FLORIDA
14	Polygon ZM	0	UNION TENERIFE
15	Polygon ZM	0	SAN ISIDRO
16	Polygon ZM	0	LOS LIMONES
17	Polygon ZM	0	SANTA RITA
18	Polygon ZM	0	MORRO ALEGRE
19	Polygon ZM	0	CALIFORNIA BAJA
20	Polygon ZM	0	EL SILENCIO
21	Polygon ZM	0	SAN LUIS
22	Polygon ZM	0	LA RICA

- **Creación mapa de isoyetas**

La tabla con datos en Excel se convirtió en un documento con extensión Dbf (Dbase Table) llamado estaciones, este a su vez cual se convirtió a Formato Shape empleando ArcToolbox – Data Management Tool – Projections and Transformations – Convert Coordinate Notation. De esta manera se obtuvo un archivo shape ESTACIONES_CONV.shp

Una vez se cuenta con el archivo Shape aplicando la herramienta ArcToolbox – 3D Analyst Tool – Raster Interpolation –Kriging, se permite visualizar la distribución de las precipitaciones en el área de Estudio en bandas. Para obtener las Isoyetas se utiliza l ArcToolbox – 3D Analyst Tool – Raster Surface – contour.

Finalmente se añadió el shape límite y se aplicó la herramienta clip para obtener las isoyetas que están dentro del área del municipio. En la figura No. 15 se puede apreciar parte del proceso.

- **Creación mapa de isotermas**

El procedimiento es similar al anterior numeral Se exporto la tabla con la información de temperatura promedio se convirtió a formato shape, seguidamente se le hizo conversión al sistema de coordenadas a decimal. se procedió a aplicar Kriging y Después se procedió a hacer Contor list para definir los valores de contorno para las isotermas, por último se hizo un clip para dejar las isotermas que

se encuentran en el área de trabajo. La Figura No. 16 detalla parte del procedimiento.

Figura No. 15. Proceso en ArcGIS para creación de isoyetas en el área de trabajo del municipio de Samaná Caldas

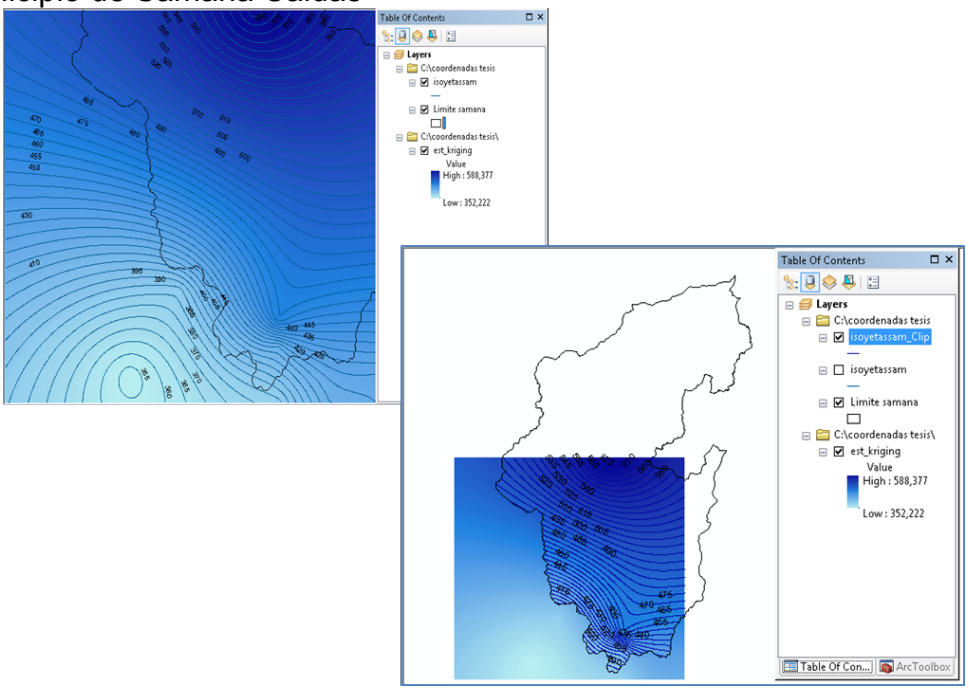
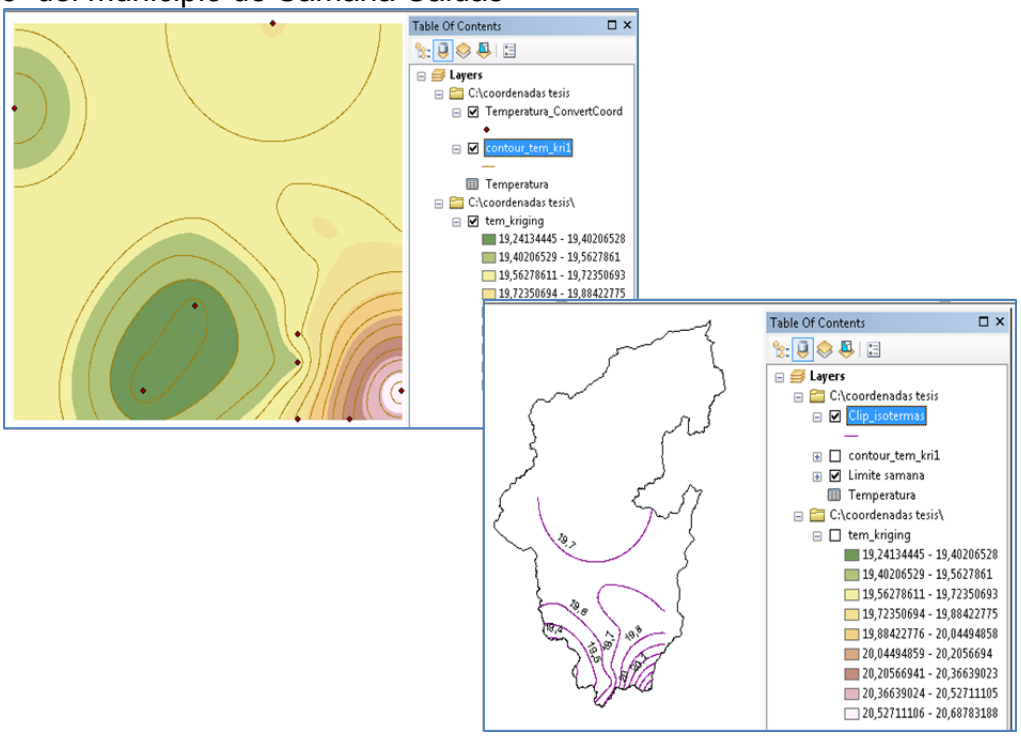


Figura No. 16. Proceso en ArcGIS para creación de isotermas en el área de trabajo del municipio de Samaná Caldas

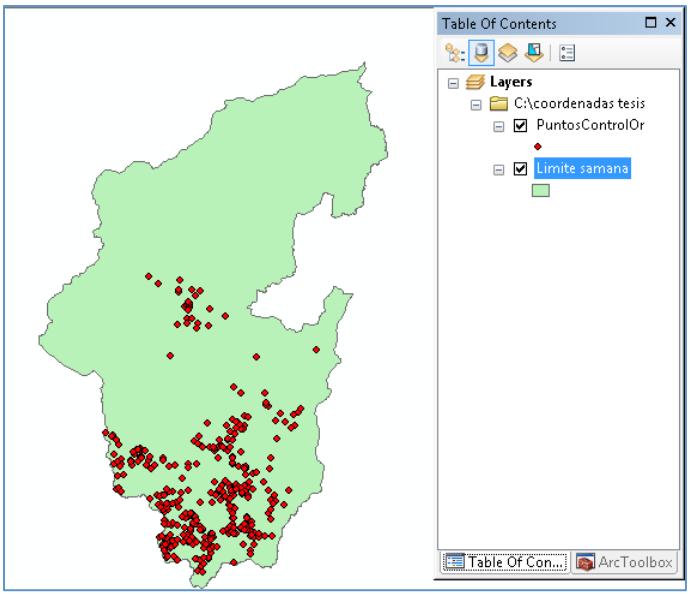


- **Creación mapa general de curvas de nivel**

A partir de las a.s.n.m. contenidas en los puntos de control tomados en campo con dispositivo GPS (ver figura No. 17), se logró un mapa muy general de curvas de nivel, no obstante este mapa provee la información con el nivel detalle necesario para definir pisos térmicos. Variable fundamental para determinar calidades de sitio.

Los Puntos de control fueron migrados en una tabla de Excel, la cual fue convertida en un documento con extensión Dbf (Dbase Table) llamado Punto control Samaná, y convirtió en Formato Shape empleando ArcToolbox – Data Management Tool – Projections and Transformations – Convert Coordinate Notation bajo el nombre Puntos controler Shape.

Figura No. 17. Puntos de control



5.3.4 Fase 5. Generación de productos y análisis espaciales

Se Generó un ejemplo de análisis espacial complejo, con la ayuda de aplicaciones complementarias como la herramienta MAXENT 3.3.3K.

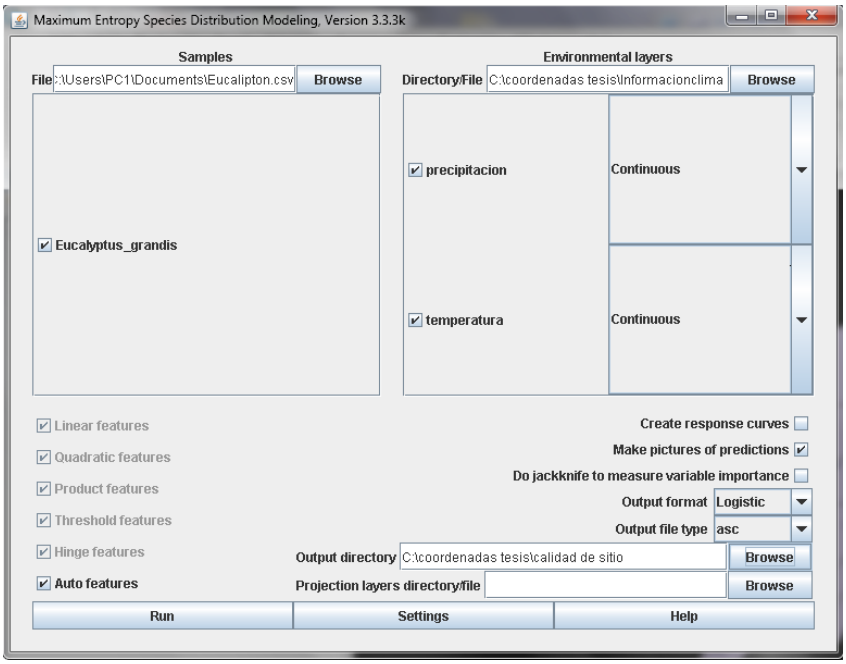
Para la Medida Sistemas Agroforestal se hizo una selección por atributos correspondiente a especie Eucalipto con edad de 7 años, y diámetros mayores a 25 cm de Diámetro Normal tomado a los 1,30 metros de altura. Para determinar las calidades de sitio en las que estas especies tienen mejor crecimiento dimétrico.

Primero se convirtió la variable vectorial a una tabla con extensión dbf. Luego en Excel se abrió y se guardó con extensión .csv (separado por comas). En el cual va la especie a analizar y las coordenadas separadas por comas.

Las variables climáticas correspondientes a los raster precipitación y temperatura. Empleando Arc toolbox – conversión Tools – From Raster – Raster to ASCII extensión .asc, ya que es el formato que admite la herramienta MAXENT 3.3.3K.

Seguidamente Se ejecuta el Programa MAXENT, plataforma visualizada en la Figura No 18:

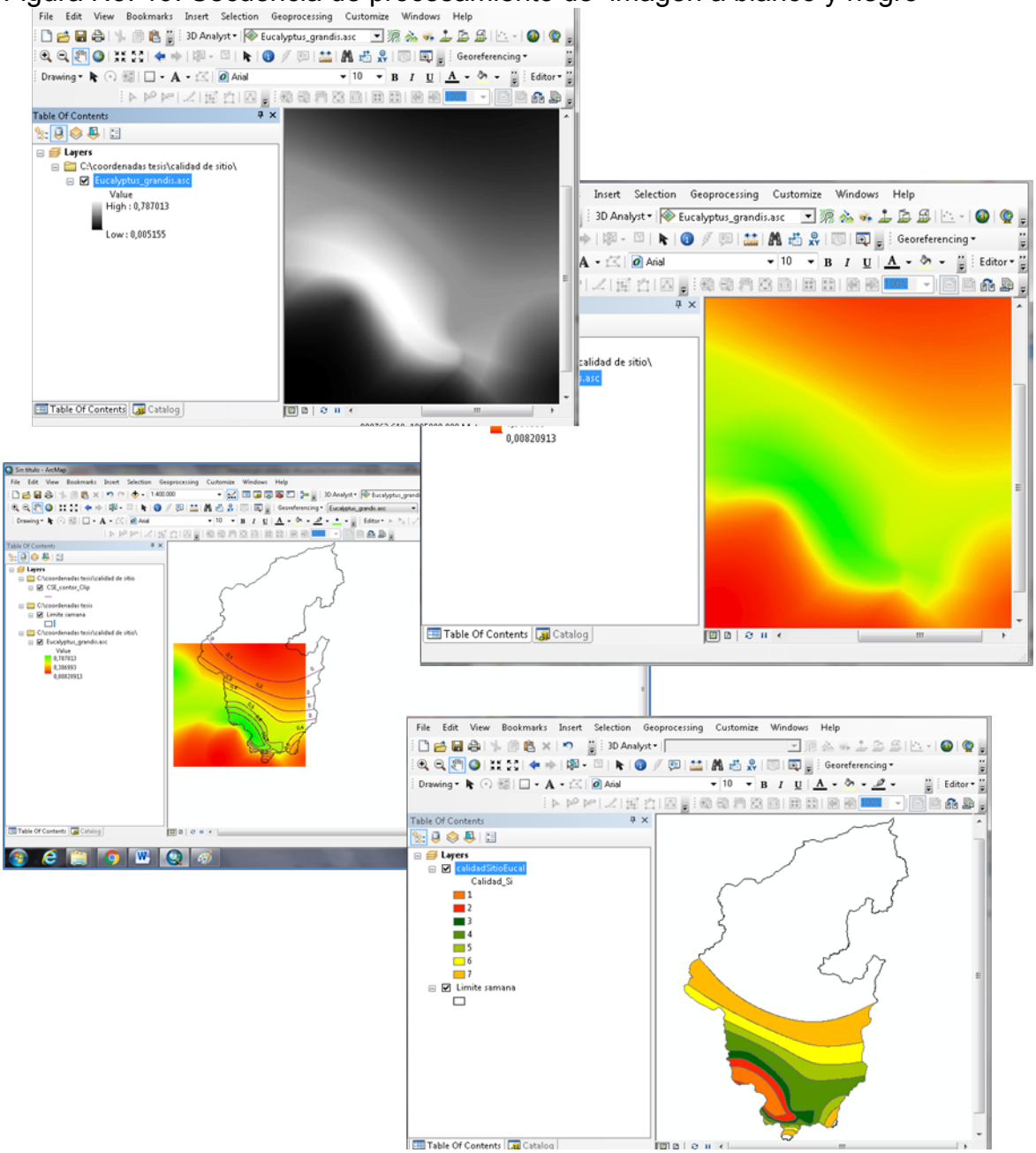
Figura No. 18. Plataforma de MAXENT 3.3



Se obtiene una Imagen en blanco en negro la cual es procesada para llegar al mapa de probabilidades de mejor calidad de sitio para la especie eucalipto. (ver en el capítulo de resultados la secuencia de imágenes obtenidas las cuales desembocan en una mapa de calidad de sitio probable)

En arc map asignó nueva simbología color ramp y se aplicó 3 intervalos de label. Para determinar las fajas de calidad de sitio se dio ArcToolbox – 3D Analyst Tool – Raster Surface – contour se definen las fajas con una probabilidad que va de 0,1 en 0,1 hasta llegar a 0,7. Finalmente se creó el polígono para cada uno de los de las calidades de sitio. La Figura No 19 relata esta secuencia del procedimiento.

Figura No. 19. Secuencia de procesamiento de imagen a blanco y negro



.

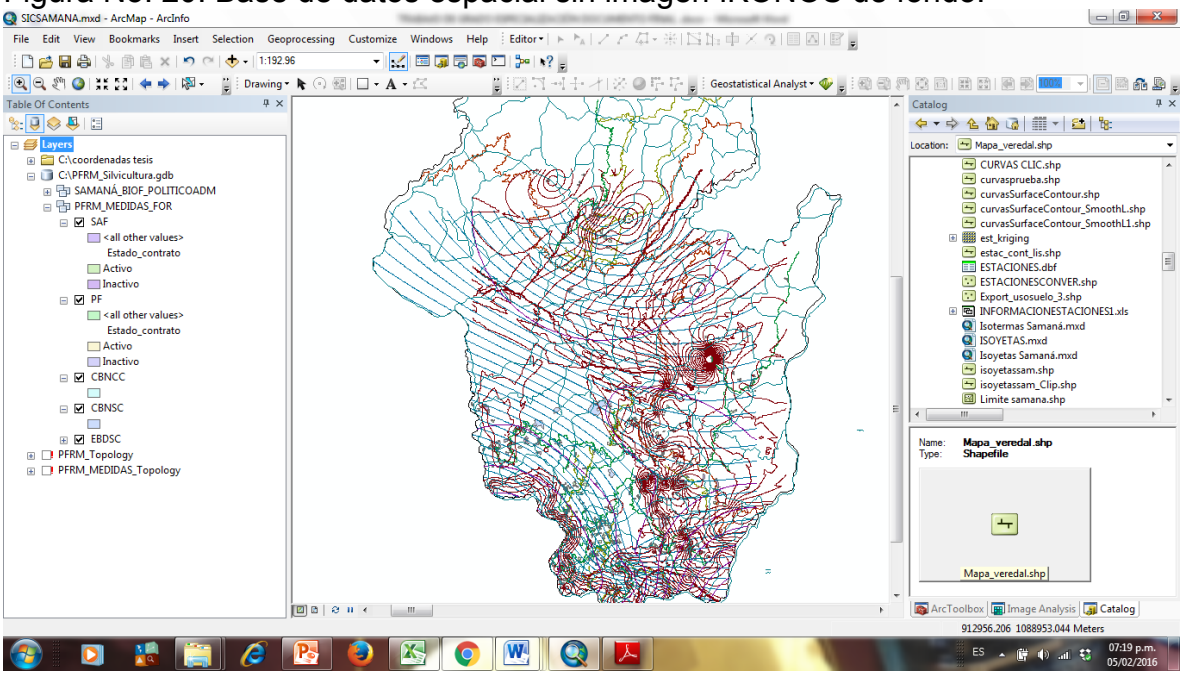
6. RESULTADOS

6.1. DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS

6.1.1. Base de Datos Espacial

La Figura 20 representa la plataforma de trabajo del software ArcGIS con la base de datos espacial PFRM_silvicultura para el municipio de Samaná Caldas, creada según especificaciones propuestas y en funcionamiento, todas los feature class están activos, con simbología configurada para visualizar únicamente los contornos de los polígonos, es decir sin relleno y sin las imágenes IKONOS de fondo.

Figura No. 20. Base de datos espacial sin imagen IKONOS de fondo.

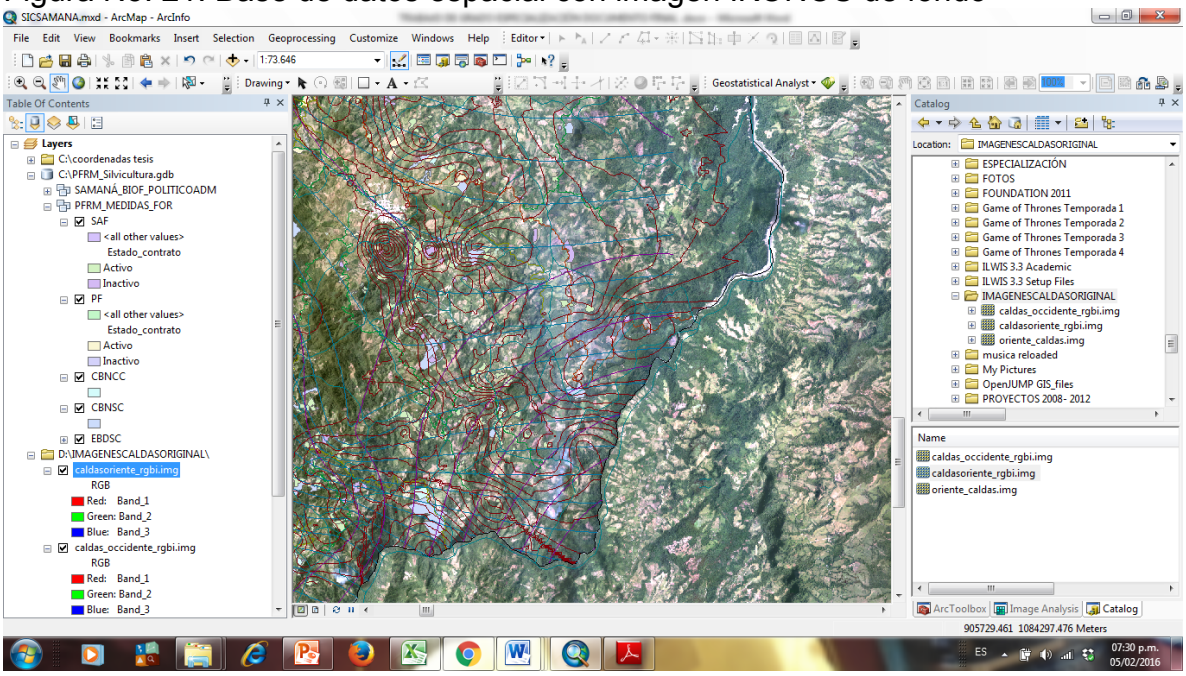


La figura No 21 representa la base de datos espacial con las imágenes IKONOS de alta resolución de fondo haciendo un encuadre en el sector sur oriental del municipio. Es de anotar que varios de los análisis espaciales o procesos no necesitan tener las imágenes montadas en la plataforma de trabajo, lo anterior para aumentar la eficiencia del hardware utilizado.

En esta vista en modo data podemos apreciar la combinación de la información espacial consignada en la file geodatabase, en otras palabras la información vectorial representada en las capas temáticas superpuesta a la información raster

representada por la imágenes IKONOS de alta resolución, esta capacidad de visualización constituye la mayor fortaleza del modelo SIG propuesto por el presente trabajo.

Figura No. 21. Base de datos espacial con imagen IKONOS de fondo



6.1.2. Presentación de Mapas Individuales

Se presentan pantallas de la plataforma con cada una de las capas temáticas creadas en modo de vista layout, es decir son los mapas elaborados, los obtenidos y adaptados desde otros formatos y los procesados a partir de datos alfanuméricos durante el desarrollo del presente trabajo, es de anotar que todos cuentan con la capa límite municipal activa, haciendo parte integral del mapa.

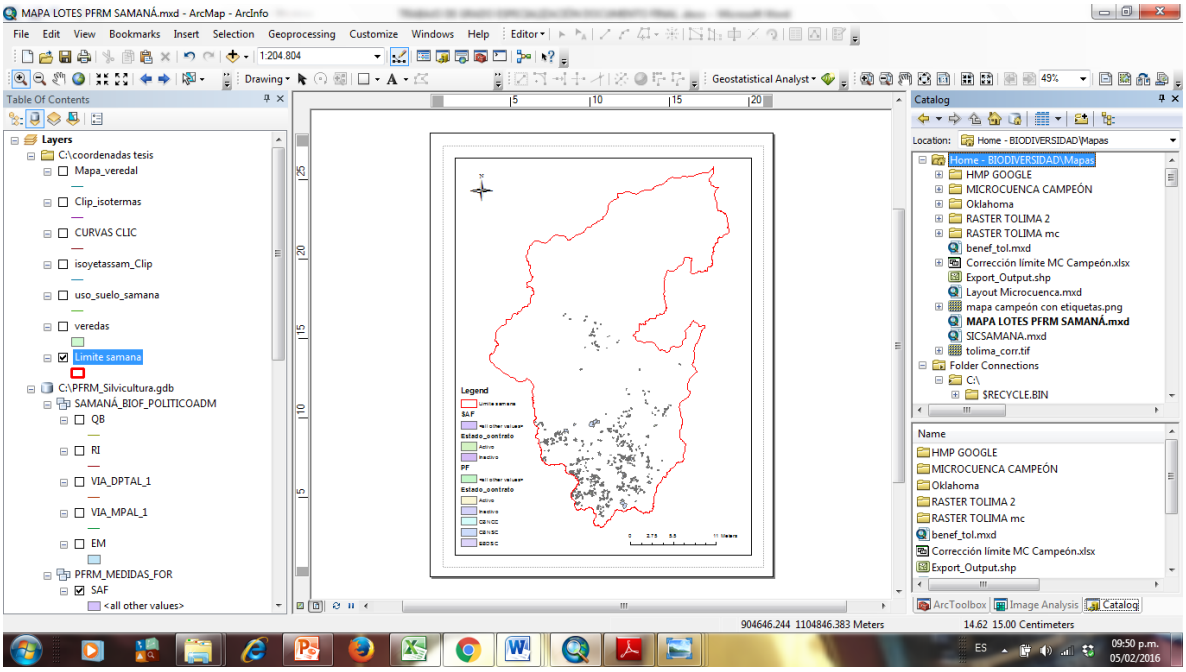
Aunque la modalidad de vista no es usada comúnmente dentro de la operatividad del programa, se realizan los layouts para cada feature class creado únicamente con fines académicos y de presentación del trabajo.

- **Mapas producidos a partir de digitalización directa sobre las imágenes IKONOS**

Los mapas de polígonos de lotes intervenidos por el programa, hidrografía e infraestructura vial construidos a partir de la digitalización directa sobre las imágenes IKONOS se visualizan desde la figura No 22 hasta la figura No. 24. Adicionalmente se presenta en la figura No. 25 una visualización de la tabla de

atributos desplegada para alguno de los feature class contenidos en el mapa de polígonos de lotes intervenidos por el programa.

Figura No. 22. Mapa de lotes intervenidos Programa forestal KFW - FNC en Samaná Caldas



La figura No. 23 presenta la hidrografía más representativa de Samaná, obsérvese el polígono del embalse la miel al occidente del municipio

Figura No. 23. Mapa de hidrografía Samaná Caldas

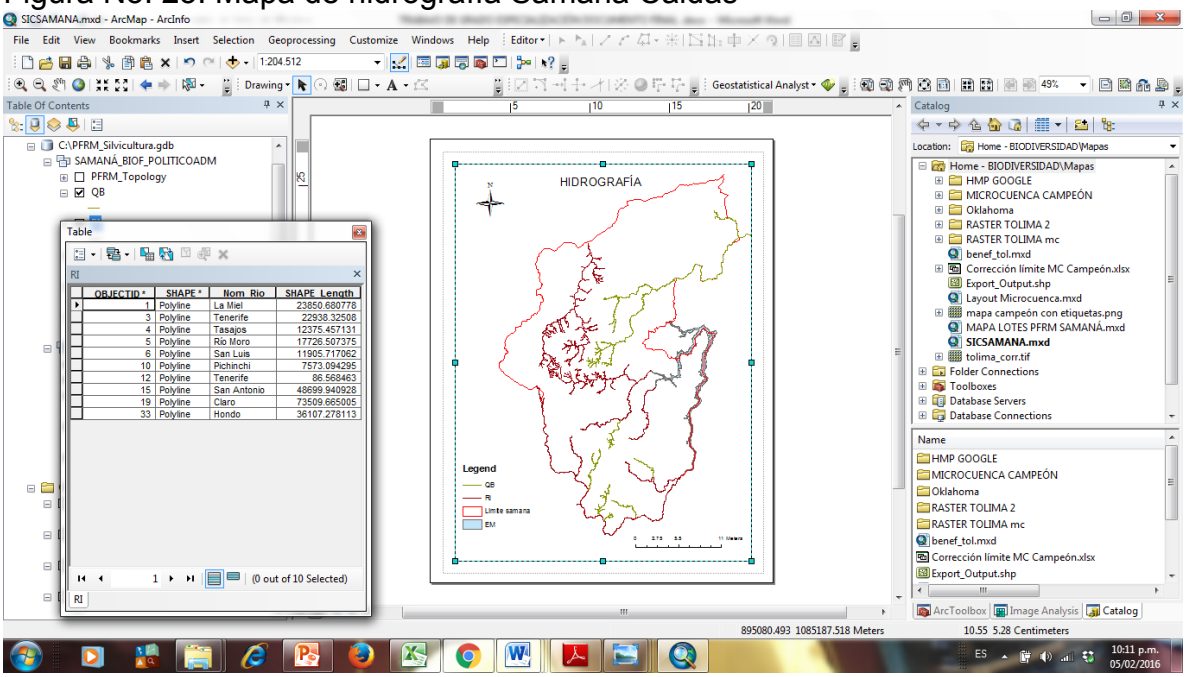
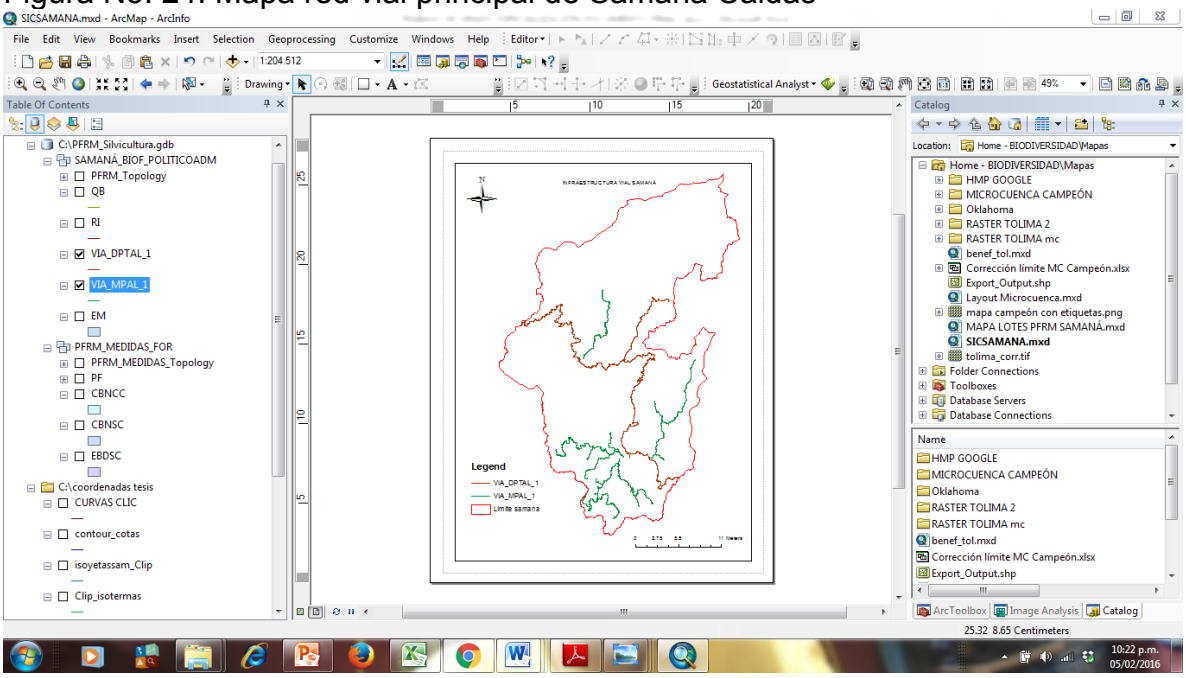
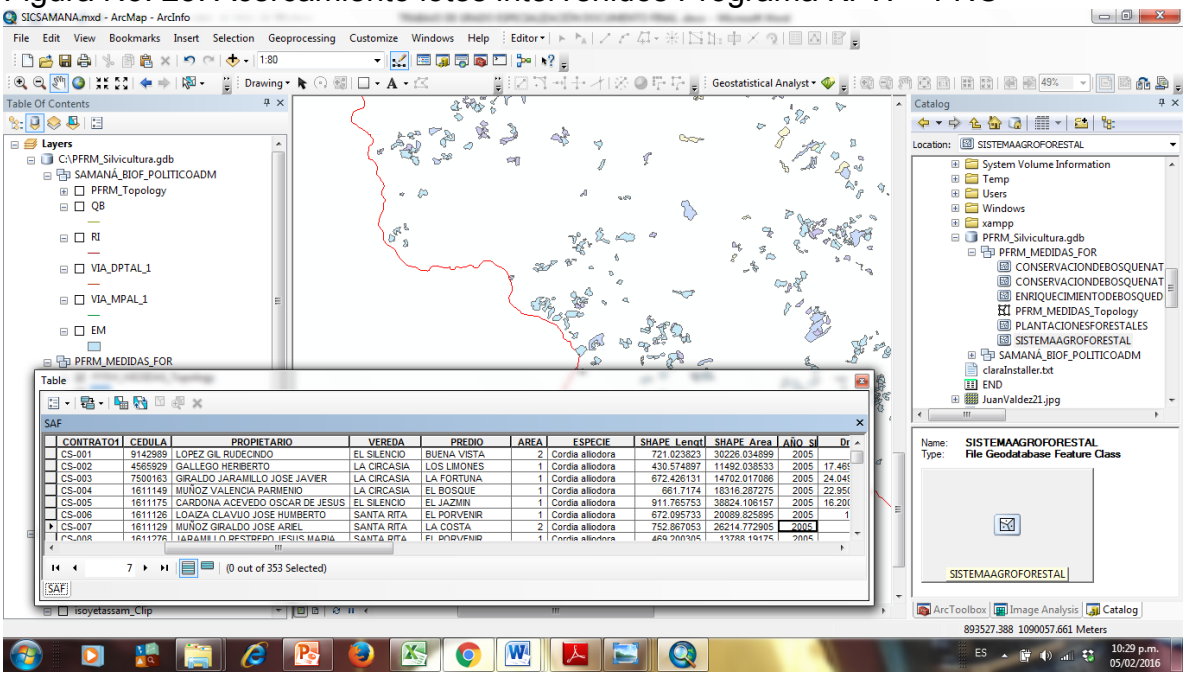


Figura No. 24. Mapa red vial principal de Samaná Caldas



En la figura No 25 se puede observar un acercamiento al sector sur occidental del municipio de Samaná, en este zoom se puede apreciar la simbología utilizada, adicionalmente se despliega la tabla de atributos para la feature class Sistemas agroforestales la cual contiene 353 registros.

Figura No. 25. Acercamiento lotes intervenidos Programa KFW – FNC



- **Mapas producidos a partir de procesamiento de archivos DWG**

Los mapas de división político administrativa, uso del suelo, y unidades de suelo procesados a partir de cartografía temática existente y contenida en el Plan de Ordenamiento Territorial son presentados desde la Figura No 26 hasta la Figura No 28.

Figura No. 26. Mapa de división político administrativa Samaná Caldas

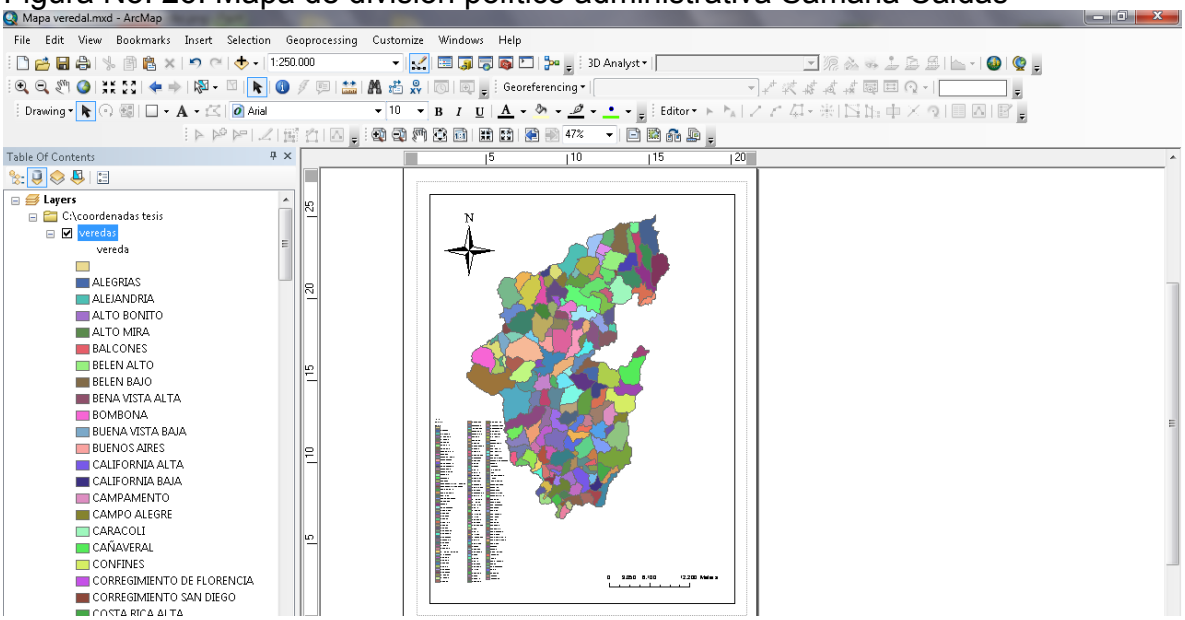


Figura No. 27. Mapa de usos del suelo Samaná Caldas

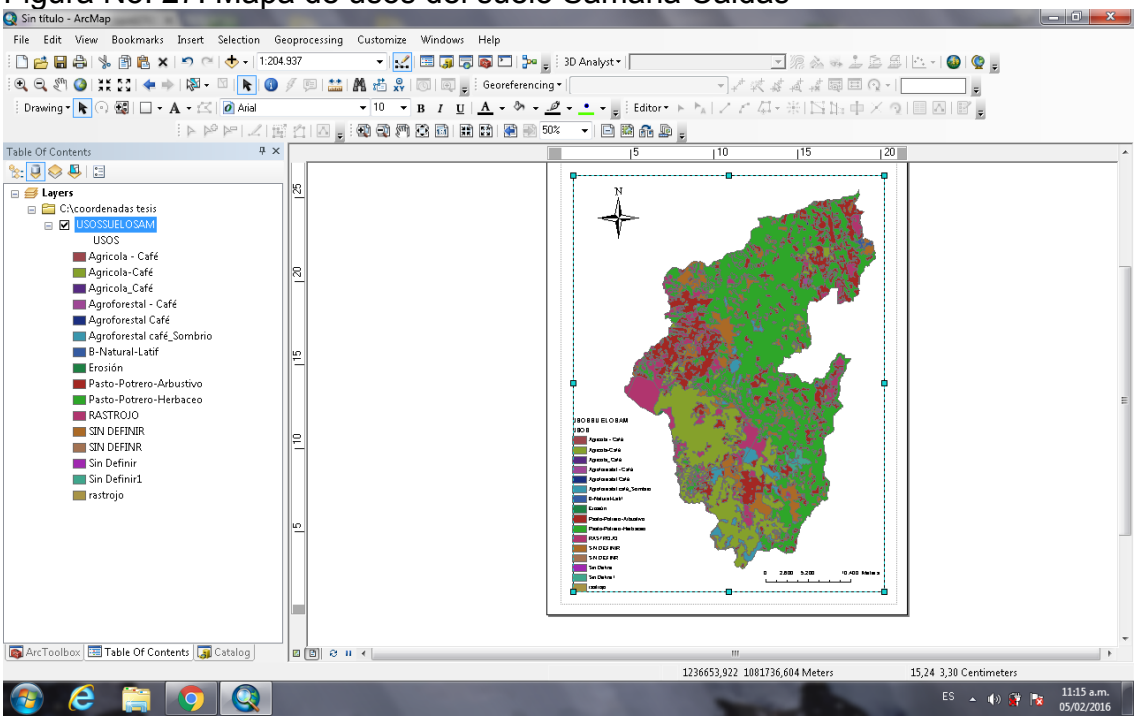
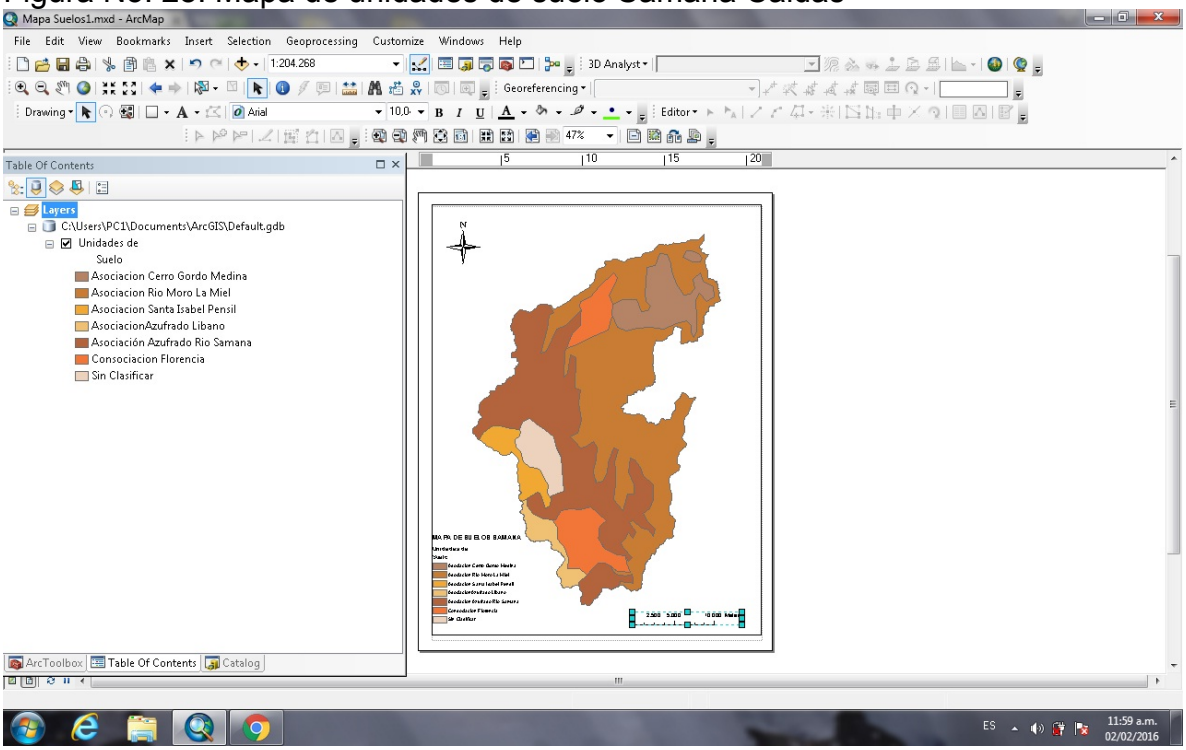


Figura No. 28. Mapa de unidades de suelo Samaná Caldas



- **Mapas producidos a partir de información alfanumérica georreferenciada**

De la figura No. 29 hasta la figura No 30 se presentan los mapas de isoyetas, isotermas y curvas de nivel respectivamente.

Figura No. 29. Mapa de isoyetas área de trabajo Samaná Caldas

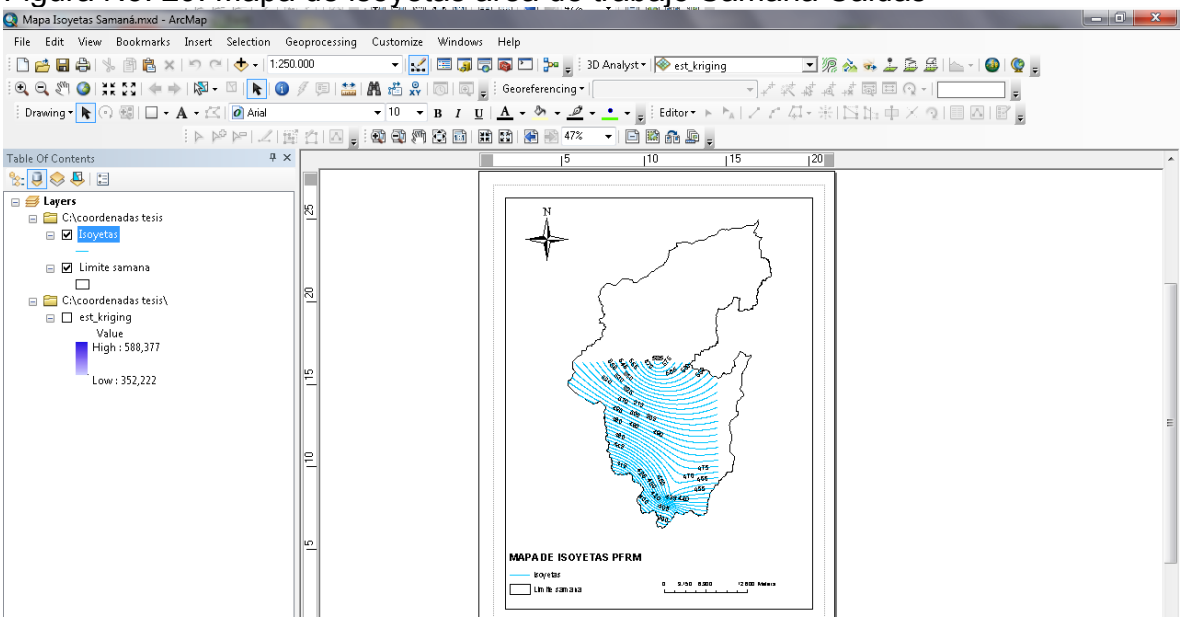
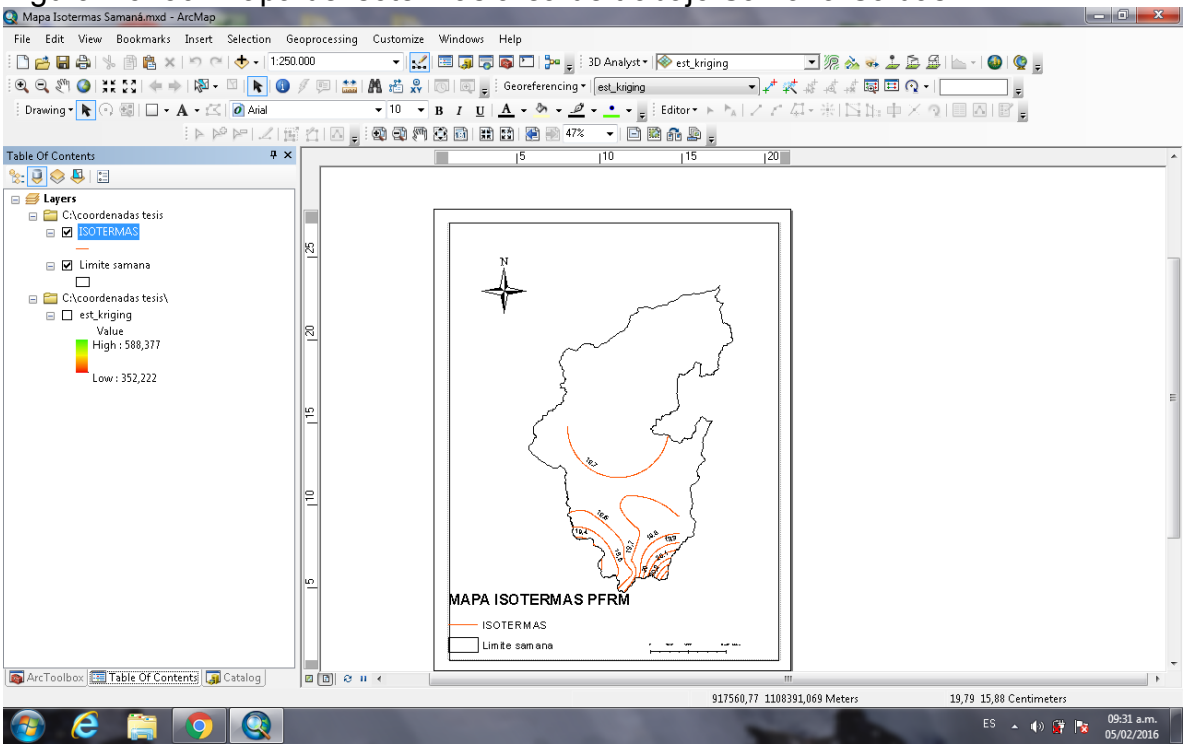


Figura No. 30. Mapa de isotermas área de trabajo Samaná Caldas



El mapa de curvas de nivel se limitó a la información contenida en los puntos de control obtenidos con dispositivo GPS durante el levantamiento de información de campo (ver Figura No 31), no obstante suministra el nivel de detalle adecuado para los requerimientos funcionales propuestos, el cual se define como determinar el piso térmico.

6.1.3. Modelo análisis espacial

La herramienta MAXENT 3.3.3K., complementado con herramientas de ArcGIS producen el mapa de calidad de sitio representado en la Figura No. 32, la calidad con una probabilidad de 0,7, la calidad 2 con una probabilidad de 0,6 y así sucesivamente hasta llegar a la calidad de sitio 7. Donde en la calidad de sitio numero 1 según las variables de clima (temperatura y precipitación) la especie Eucalipto pueden alcanzar los mayores diámetros.

Este es uno de una gran variedad de posibilidades de análisis espaciales capaces de realizar con la información temática espacial e información de atributos contenida en la File Geodatabase PFEM_Silvicultura.

Figura No. 31. Mapa de curvas de nivel del área de trabajo Samaná Caldas

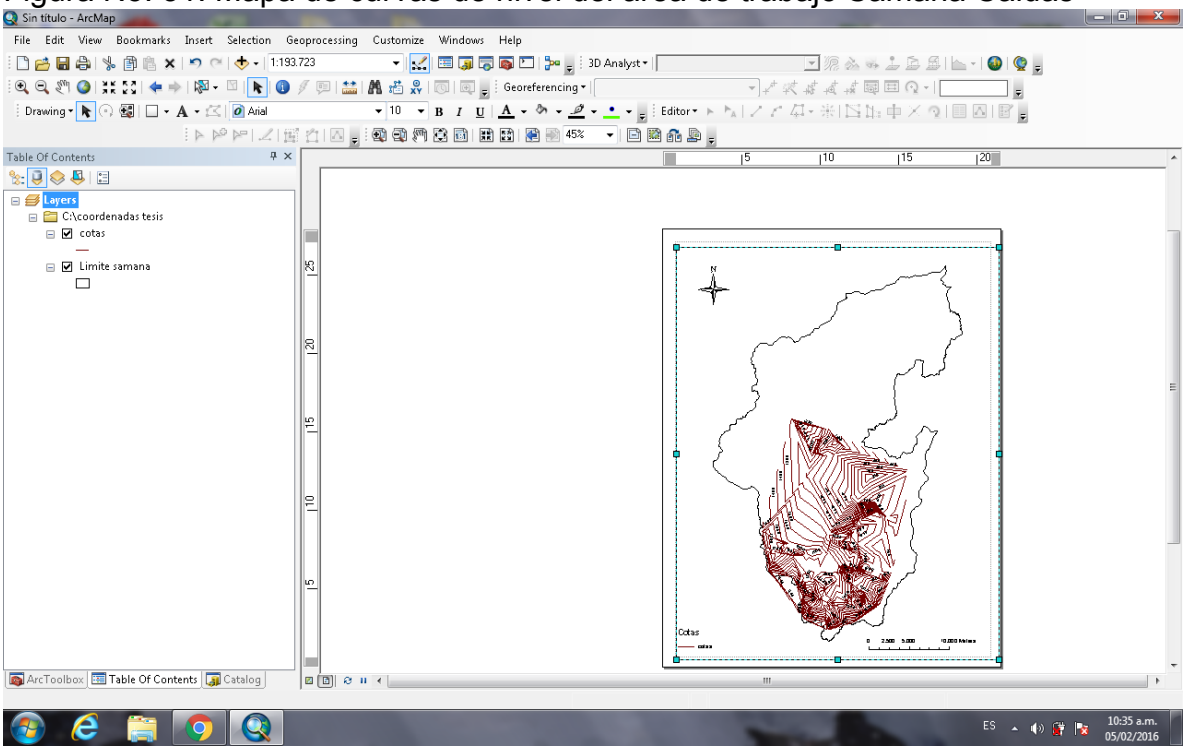
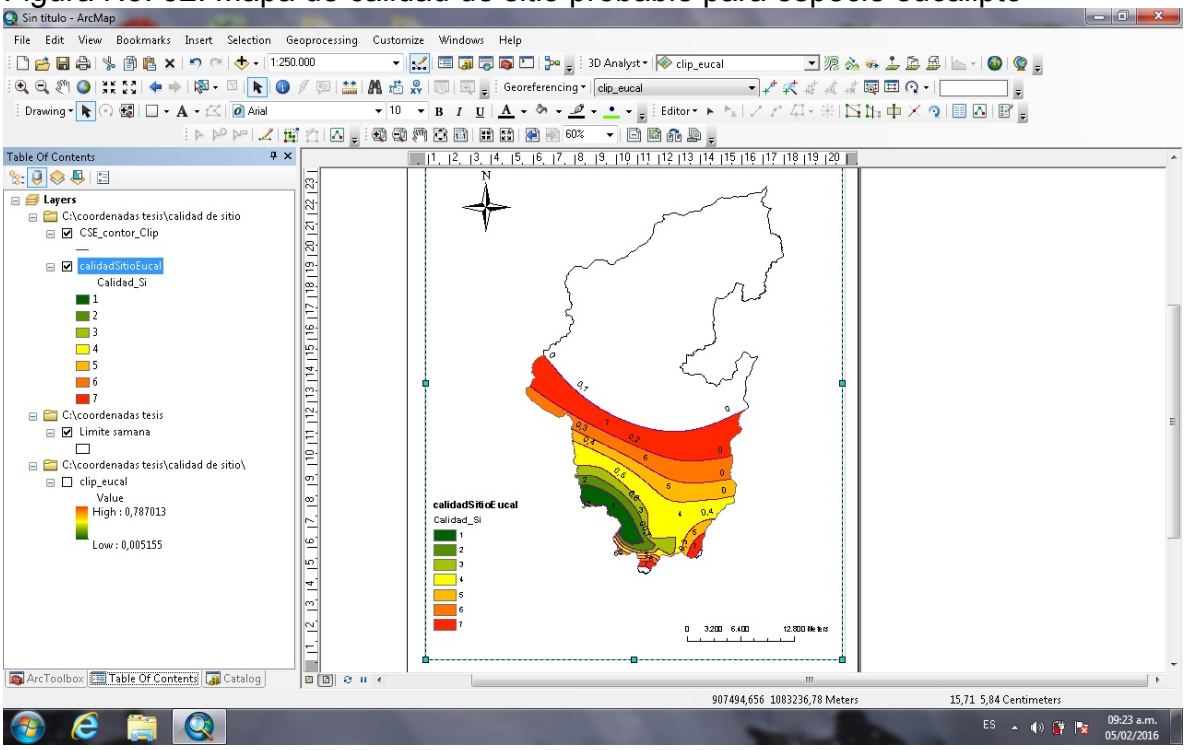


Figura No. 32. Mapa de calidad de sitio probable para especie eucalipto



6.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.2.1. Uso de imágenes de alta resolución.

El producto final en esencia del presente trabajo es la base de datos espacial con las imágenes IKONOS de fondo como capa madre, sobre la plataforma es posible localizar, dibujar preliminarmente y/o estimar áreas con facilidad, rapidez y presición de nuevos lotes factibles de entrar al programa y en combinación con la información temática agregada es posible determinar para ese nuevo lote: unidad de suelo, uso histórico del suelo, piso término, rango altitudinal, régimen de lluvias, proximidad con vías de diferentes órdenes, proximidad con hidrografía, entre otras.

Esta labor es una de las más recurrentes y uno de los mayores determinantes de éxito en la implementación del programa, es decir con todo este insumo informativo de características espaciales podemos determinar calidades de sitio para las diferentes especies forestales con mayor confiabilidad y a un menor costo.

Lo anterior se puede realizar desde la seguridad de la oficina reduciendo ostensiblemente los gastos corporativos y posibilidad de accidentes, no significa que no vuelva a ser necesarias las salidas de campo para realizar diagnósticos, significa que estas visitas se reducirán en número y serán más efectivas y precisas, este argumento se soporta en la documentación previa que brinda el modelo optimizando el uso del tiempo en la visita.

Así mismo se comprobó la eficiencia del modelo, mostrando aumentos hasta del cien por ciento en los rendimientos de georreferenciación y levantamiento de lotes en campo comparado con el uso de la metodología por sistemas de posicionamiento global GPS , así mismo comprobamos que la metodología agiliza la digitalización de la información levantada. Lo anterior se fundamenta en el levantamiento en campo y digitalización de más de 500 lotes intervenidos por el programa forestal para el desarrollo del presente trabajo.

Los cronogramas para levantamiento y digitalización de grandes cantidades de Lotes ya intervenidos se reducen en un cincuenta por ciento aproximadamente y por otro lado aumenta paralelamente la confiabilidad de la información temática.

Las imágenes contribuyeron significativamente a la generación información temática actualizada como infraestructura vial y uso del suelo.

Adicionalmente el modelo está en capacidad de generar datos de distancias, proximidades con el objetivo de planificación de rutas operativas en diferentes actividades como recorridos para asistencia técnica, verificación de labores, entregas de material vegetal, entre otras.

Podemos considerar que las imágenes de estas características son una fuente muy amplia para generación de toda una variedad de información temática detallada, como por ejemplo redes de caminos, casas, puentes, árboles representativos, generación de mapas detallados a escalas grades mayores a 1:5000 incluso llegar a generar levantamientos planimétricos de minifundio con un nivel detalle si bien no con precisión topográfica si lo suficientemente confiable para usos administrativos en pequeñas unidades agropecuarias o como requisito para diferentes trámites institucionales.

En términos generales la integración de imágenes de alta resolución al modelo no solamente se cumplió según lo propuesto en los objetivos, si no que al mismo tiempo se puede considerar como la mayor fortaleza y como el insumo por excelencia que más contribuyó al cumplimiento de los objetivos y requerimientos funcionales planteados en el presente trabajo.

6.2.2. Producción e integración de información temática

La cartografía temática propuesta en los objetivos fue integrada en su totalidad al modelo, los features class correspondientes a división político – administrativa, uso del suelo, unidades de suelo, infraestructura vial principal, hidrografía principal, climatología, fisiografía general fueron creados y adicionados a la estructura de la base de datos espacial.

La metodologías de producción de esta información comprobó la versatilidad del modelo, Facilitando la digitalización y aumento de precisión de información transcrita por detalles o por interpretación, se adaptó coherentemente a otros formatos y compatibilizó con información alfanumérica gerorreferenciada.

Se materializó el uso de variedad de herramientas de ArcGIS,

6.2.3. Análisis espacial

Se cumplió con el propósito de modelar un análisis para la determinación de la calidad de sitio,

7. CONCLUSIONES

- El modelo SIG creado como una base de datos espacial soportada en imágenes satelitales IKONOS cumple con los propósitos determinados como requerimientos funcionales para el presente trabajo.

- El presente trabajo se consolidó como una solución SIG a la necesidad real de un programa corporativo en funcionamiento y no fue solamente un ejercicio académico, utilizó datos reales de bases de datos institucionales aunado a un juicioso, extenso y laboriosos trabajo de levantamiento de información espacial y alfanumérica en campo, complementado con un proceso de digitalización, digitación en oficina.

- La integración de imágenes de alta resolución se constituyó en el mayor componente de éxito del presente trabajo.

- Las soluciones SIG que tienen como insumo o base las imágenes actualizadas de alta resolución proveen gran variedad de utilidades que agilizan la digitalización de información temática y/o delimitación de lotes con alto nivel de detalle llegando incluso a nivel de lote en finca (0,25 ha), sin embargo tienen altos costos en el mercado limitando su uso solo a nivel corporativo.

- La combinación de información raster de alta resolución con cartografía temática biofísica resulta en múltiples posibilidades de análisis espaciales tanto calculados como visuales.

8. RECOMENDACIONES

- De acuerdo a los requerimientos funcionales de la silvicultura con pequeños agricultores es necesario continuar modelando nuevos análisis espaciales que contribuyan a reducir la posibilidad de fracaso de los lotes intervenidos.

- Se debe explorar metodologías de uso de imágenes de alta resolución de tipo gratuito presentes en la web, derivado del alto costo que aún ostentan las imágenes con reconocimiento en el mercado

- Después de creados los mapas más comunes a partir de análisis espaciales complejos que solo es posible de realizar con software licenciado se debe evaluar la viabilidad de migrar las bases a software libre.

- La información alfanumérica correspondiente a elementos espaciales con multiplicidad de atributos debe ser estructurada a manera de bases de datos relacionales.

- El modelo SIG creado seguirá estando vigente y aumentará en utilidad en la medida que continúe siendo actualizado y alimentado con nueva información.

- El modelo debe ser validado con demás compañeros y más pruebas de funcionamiento real.

- Estudiar la posibilidad de mejorar y complementar el presente modelo para convertirlo a un aplicativo nacional multiusuario.

- La cartografía base oficial está desactualizada e incompleta para la gran mayoría de municipios, la cartografía POT para algunos componentes no cumple los estándares de calidad y/o compatibilidad, situación por la cual es necesario producir cartografía temática actualizada y de calidad a partir de la metodología propuesta en el presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

BRIZUELA, MILERA y MESTRES. Plantaciones de Eucaliptos y Pinos en los departamentos del este de Entre Ríos. En: Centro de Investigaciones científicas y de transferencia de tecnología. Entre Ríos, Argentina: Universidad Nacional de Entre Ríos. Disponible en: www.insugeo.org.ar/libros/misc_12/19.htm

CHINEA, J.D**.** *Teledetección de bosques tropicales*. In: M.R. Guariguata & G.H. Kattan (eds.). Ecología de bosques neotropicales. Cartago, Costa Rica. Editorial Tecnológica. 2002.

Especificaciones de imagen y sensores satelitales IKONOS. Recuperado de: www.satimagingcorp.es/gallery-ikonos.html

FARFAN VALENCIA, Fernando. Arboles con potencial para ser incorporados en sistemas agroforestales con café. Federación Nacional de cafeteros de Colombia. 2014. p. 11.

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Centro nacional de estudios en café Cenicafé. Anuarios Metereológicos 2000-2011

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Programa Ambiental KFW. 20 años de desarrollo forestal con pequeños agricultores. 2014, p. 127

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Programa Ambiental KFW. Información Institucional.

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Sica, tecnología de punta que visibiliza hasta al caficultor más pequeño y la finca más remota. En: AL GRANO. Junio, 2013. No. 28. Disponible en: www.federaciondecafeteros.org/algrano-fnc-es/index.php/comments

FAO: Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. La informática y el sector forestal: Sistemas de información en el sector forestal. En: Unasylva. No. 189. Disponible en: www.fao.org/docrep/w4086s/w4086s04.htm

IKONOS. Recuperado de: www.geoespatial.com.co/imagenes-de-satelite/ikonos.html

Lockheed Martin-Built Earth Imaging Satellite Marks 11 years on-orbit (2010). Recuperado de: www.spacefellowship.com/news/art22831

Silvicultura. Control remoto de silvicultura. Recuperado de: www.satimagingcorp.com/applications/natural-resources/forestry/forestry_es/

Sistema de información geográfica. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/sistemadeinformación geográfica

Corporación Nacional para el Desarrollo de Investigación y Fomento Forestal CONIF®.SIG Forestal. En: Cartografía Forestal. Disponible en: http://conif.org/productos/sig-forestal-cartografia/

Universidad Autónoma de México. Descripción, Análisis y simulación de procesos forestales en el estado de México mediante tecnologías de la información geográfica. Tesis Doctorado. Disponible en: http://www.uah.es/estudios/postgrado