

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Posgrados

Desarrollo de un Sistema de Información Geográfica que permita la gestión integral de los cultivos de palma aceitera a través de la aplicación de sistemas de agricultura de precisión

Neptalí Armando Echeverría Llumipanta

Richard Resl, Ph.D.(c), Director de Tesis

Tesis de grado presentada como requisito
para la obtención del título de Magíster en Sistemas de Información Geográfica

Quito, junio de 2015

Universidad San Francisco de Quito

Colegio de Posgrados

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

Desarrollo de un Sistema de Información Geográfica que permita la gestión integral de los cultivos de palma aceitera a través de la aplicación de sistemas de agricultura de precisión

Neptalí Armando Echeverría Llumipanta

Richard Resl, Ph.D.(c)

Director de Tesis

Anton Eitzinger, MSc.

Miembro del Comité de Tesis

Richard Resl, Ph.D.(c)

Director de la Maestría en Sistemas de Información Geográfica

Stella de la Torre, Ph.D.

Decana del Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

Víctor Viteri Breedy, Ph.D.

Decano del Colegio de Posgrados

Quito, junio de 2015

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la Universidad San Francisco de Quito para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

.....

Neptalí Armando Echeverría Llumipanta

C.I.: 1711153302

Quito, junio de 2015

DEDICATORIA

A mi hija, por ser mi fuerza y mi motivación.

A mi esposa, quien es mi complemento y apoyo.

A mi madre y mi padre, por su amor y comprensión.

AGRADECIMIENTO

A mis hermanos, por su aliento, ejemplo y enseñanzas para trabajar por ser una mejor persona día a día.

A mi cuñado y mi sobrino por su apoyo.

A mi Director de Tesis, mi Tutora y todo el equipo académico y administrativo de esta maestría, por su predisposición y apoyo.

RESUMEN

Los datos de producción anual por hectárea de palma aceitera sembrada, revelan que de promedio en Ecuador se posee una producción media estimada en 12.50 toneladas, mientras que en los países competidores comerciales de Ecuador como son Colombia y Malasia, se poseen producciones anuales por hectárea de 25 a 30 toneladas. La gestión de un incremento en la producción, se debe basar en un marco de desarrollo sustentable en el cual se garantice el cumplimiento de objetivos de desarrollo social, económico y de conservación ambiental. En este marco es importante que los procesos agrícolas industriales que por lo general son sistemas agrícolas intensivos garanticen la optimización de los recursos y el cuidado ambiental, siendo esto posible a través de la aplicación de la ciencia y tecnología como es la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica y sistemas de agricultura de precisión.

Las plantaciones industriales de palma aceitera poseen una gran cantidad de variables que inciden en su productividad, que se identifica como variabilidad de campo al relacionar las variables naturales que determinan el desarrollo y productividad de un cultivo y las variables antrópicas que se basan en las prácticas de cultivo específicas, requeridas para el desarrollo del cultivo, las mismas que dependen de las variables naturales o climáticas. Se determinan inconvenientes al gestionar y administrar los cultivos a través de gerencia y al analizar la productividad del cultivo. El presente estudio muestra el desarrollo de un Sistema de Información Geográfica que permite la gestión integral de los cultivos de palma aceitera a través de la aplicación de sistemas de agricultura de precisión.

El Sistema de Información Geográfica se evidenció con la creación de una base de datos geográfica que contiene todas las variables interrelacionadas de la plantación de palma aceitera, incluyendo un conjunto de datos específico para el sistema de agricultura de precisión diseñado e implementado. Para que el Sistema de Información Geográfica sea utilizado como herramienta de gestión por parte de gerencia y coordinaciones, se desarrolló un visor geográfico web. El proyecto se desarrolló utilizando software libre y comercial, con lo que se consiguió un sistema funcional y ágil.

Palabras clave:

Palma, plantación, agricultura, precisión, sistemas, información, geográfica, base, datos, visor, web.

ABSTRACT

The annual average production of oil palm in Ecuador is estimated on 12.50 tons, while in Ecuador commercials competing countries such as Colombia and Malaysia, the production is estimated from 25 to 30 tons. The management of an increase in production should be based on a framework of sustainable development which fulfills the environmental conservation in relation with social and economic development objectives. In this context it is important that industrial agricultural processes, that are usually intensive agricultural systems, ensure optimization of resources and environmental care, this being possible through the application of science and technology as the application of Geographic Information systems and precision farming systems.

Industrial oil palm plantations have a lot of variables that affect productivity, which are identified as variability of field by relating the natural variables that determine the development and productivity of a crop and anthropogenic variables that are based on specific crop practices, required for the development of the crop, the same that depend on natural or climatic variables. Inconvenience to manage and administer crops through management and to analyze crop productivity are determined. The present study shows the development of a Geographic Information System which enables the comprehensive management of oil palm plantations through the application of precision farming systems.

The Geographic Information System was evidenced by the creation of a geographic database containing all interrelated variables of oil palm plantation, including a specific set of data for precision farming system designed and implemented. For the Geographic Information System is used as a management tool for managers and coordinators, a geographical web viewer was developed. The project was developed using open source and commercial software, so a functional and flexible system was achieved.

Key words:

Palm, plantation, agriculture, farming, accuracy, systems, information, geographic, data, base, viewer, web.

TABLA DE CONTENIDOS

| | | |
|-------------------|---------------------------------------|-----------|
| | Resumen..... | 7 |
| | Abstract..... | 8 |
| Capítulo 1 | Introducción..... | 17 |
| 1.1 | Antecedentes..... | 17 |
| 1.2 | Planteamiento del problema..... | 18 |
| 1.3 | Objetivos..... | 19 |
| 1.3.1 | Objetivo general..... | 19 |
| 1.3.2 | Objetivos específicos..... | 19 |
| 1.4 | Hipótesis..... | 20 |
| 1.5 | Preguntas de investigación..... | 20 |
| 1.6 | Contexto y marco teórico..... | 21 |
| 1.6.1 | El propósito del estudio..... | 21 |
| 1.6.2 | El significado del estudio..... | 22 |
| 1.7 | Presunciones del autor..... | 22 |
| 1.8 | Supuestos del estudio..... | 23 |
| Capítulo 2 | Fundamentos teóricos..... | 24 |
| 2.1 | Palma aceitera..... | 24 |
| 2.1.1 | Productos..... | 25 |
| 2.1.2 | Producción..... | 27 |
| 2.1.3 | Condiciones agroecológicas..... | 27 |
| 2.1.4 | Cultivo y manejo..... | 31 |
| 2.1.4.1 | Establecimiento de la plantación..... | 31 |

| | | |
|-------------------|---|-----------|
| 2.1.4.2 | Manejo de la plantación..... | 33 |
| 2.1.4.3 | Cosecha..... | 36 |
| 2.1.5 | Palma aceitera en el Ecuador..... | 37 |
| 2.1.5.1 | Extensión y ubicación geográfica..... | 37 |
| 2.2 | Sistemas de agricultura de precisión..... | 39 |
| 2.2.1 | Objetivos de la agricultura de precisión..... | 39 |
| 2.2.2 | Ciclo o metodología de la agricultura de precisión..... | 40 |
| 2.2.3 | Herramientas de la agricultura de precisión..... | 43 |
| 2.2.4 | Barreras de la agricultura de precisión..... | 43 |
| 72.3 | Sistemas de Información Geográfica..... | 44 |
| 2.3.1 | Componentes de un SIG..... | 45 |
| 2.3.2 | Bases de datos geográficos..... | 46 |
| 2.3.2.1 | Sistemas de manejo de bases de datos..... | 46 |
| 2.3.2.2 | Almacenamiento de información en sistemas de manejo de base de datos..... | 48 |
| 2.3.2.3 | Tipos y funciones de bases de datos geográficos..... | 50 |
| 2.3.2.4 | Diseño de bases de datos geográficos..... | 51 |
| 2.3.2.5 | Estructuración de información geográfica..... | 52 |
| 2.3.2.6 | Edición y mantenimiento de datos..... | 55 |
| 2.3.3 | Análisis espacial..... | 55 |
| 2.3.4 | Sistemas de Información Geográfica en la Web..... | 58 |
| 2.3.5 | Visor geográfico..... | 59 |
| 2.3.5.1 | Servidor de mapas..... | 60 |
| Capítulo 3 | Metodología..... | 62 |
| 3.1 | Metodología seleccionada..... | 62 |

| | | |
|-------------------|--|------------|
| | | 11 |
| 3.2 | Recursos utilizados..... | 63 |
| 3.2.1 | Hardware..... | 64 |
| 3.2.2 | Software..... | 65 |
| 3.3 | Sistema de Información Geográfica..... | 66 |
| 3.3.1 | Establecimiento de requisitos..... | 66 |
| 3.3.2 | Recopilación de información..... | 70 |
| 3.3.3 | Modelo cartográfico..... | 73 |
| 3.3.4 | Levantamiento y estandarización de la información..... | 74 |
| 3.3.5 | Modelo lógico de datos..... | 92 |
| 3.3.6 | Generación de la base de datos geográfica..... | 95 |
| 3.4 | Aplicativo Web..... | 96 |
| 3.4.1 | Integración de los componentes del aplicativo..... | 98 |
| 3.4.2 | Diseño de la interfaz de usuario..... | 104 |
| 3.4.3 | Programación de funcionamiento del visor..... | 110 |
| 3.4.4 | Implementación web..... | 113 |
| 3.5 | Sistema de agricultura de precisión..... | 115 |
| 3.5.1 | Establecimiento de sistemas de agricultura de precisión..... | 116 |
| Capítulo 4 | Resultados y análisis..... | 120 |
| 4.1 | Resultados..... | 120 |
| 4.1.1 | Detalles del análisis..... | 120 |
| 4.1.2 | Base de datos geográfico..... | 121 |
| 4.1.3 | Visor geográfico Web..... | 121 |
| 4.1.4 | Aplicación de agricultura de precisión..... | 122 |
| 4.2 | Importancia del proyecto..... | 123 |

| | | |
|-------------------|---|------------|
| 4.2.1 | Análisis del sistema de agricultura de precisión..... | 123 |
| Capítulo 5 | Conclusiones y recomendaciones..... | 126 |
| 5.1 | Conclusiones..... | 126 |
| 5.2 | Recomendaciones..... | 128 |
| | Bibliografía..... | 130 |

LISTA DE FIGURAS Y DIAGRAMAS

| | | |
|------------|--|-----|
| Diagrama 1 | Ciclo de la agricultura de precisión..... | 40 |
| Diagrama 2 | Jerarquía de clases de geometría..... | 50 |
| Diagrama 3 | Modelo cartográfico del Sistema de Información Geográfica..... | 73 |
| Diagrama 4 | Modelo lógico de la base de datos geográfica..... | 94 |
| | | |
| Figura 1 | Mapa parcelario de la empresa en formato CAD..... | 70 |
| Figura 2 | Datos alfanuméricos de la plantación..... | 72 |
| Figura 3 | Carta topográfica 1:50000 de Shushufindi..... | 75 |
| Figura 4 | Mapa de isotermas del Ecuador a escala 1:250000..... | 76 |
| Figura 5 | Mapa de isoyetas del Ecuador a escala 1:250000..... | 76 |
| Figura 6 | Mapa de aptitud del suelo del Ecuador a escala 1:250000..... | 77 |
| Figura 7 | Datos levantados en campo..... | 79 |
| Figura 8 | Herramienta Feature to polygon..... | 89 |
| Figura 9 | Herramienta Spatial Adjustment..... | 90 |
| Figura 10 | Ejes centrales generados..... | 90 |
| Figura 11 | Información en formato SHP..... | 91 |
| Figura 12 | Base de datos geográfica creada..... | 96 |
| Figura 13 | Confirmación de registro en Boundless..... | 98 |
| Figura 14 | Instalación de la plataforma OpenGeo Suite 4.5..... | 99 |
| Figura 15 | Panel de OpenGeo Suite 4.5..... | 99 |
| Figura 16 | Ingreso a GeoServer..... | 100 |
| Figura 17 | Creación de nuevo espacio de trabajo..... | 101 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| Figura 18 | Nuevo almacén de datos..... | 101 |
| Figura 19 | Edición de la capa..... | 102 |
| Figura 20 | Ingreso de sistema de referencia..... | 103 |
| Figura 21 | Vista preliminar de la información..... | 103 |
| Figura 22 | Todas las capas del Sistema de Información Geográfica cargadas en GeoServer..... | 104 |
| Figura 23 | Descarga del programa Kosmo..... | 105 |
| Figura 24 | Pantalla principal de Kosmo..... | 106 |
| Figura 25 | Ingreso de información..... | 107 |
| Figura 26 | Selección del color de la capa..... | 107 |
| Figura 27 | Selección de etiquetas..... | 108 |
| Figura 28 | Estilo generado en Kosmo..... | 108 |
| Figura 29 | Ingreso del estilo en formato SLD en GeoServer..... | 109 |
| Figura 30 | Estilo previsualizado en GeoServer..... | 110 |
| Figura 31 | Página principal de GeoExplorer..... | 111 |
| Figura 32 | Capas añadidas a GeoExplorer..... | 111 |
| Figura 33 | Selección de elementos del visor..... | 112 |
| Figura 34 | Selección del tamaño del visor web..... | 112 |
| Figura 35 | Visor geográfico..... | 115 |
| Figura 36 | Mapa de niveles de nitrógeno en el suelo de la plantación..... | 117 |
| Figura 37 | Base de datos actualizada con el nuevo Feature Dataset..... | 118 |
| Figura 38 | Mapa de niveles de Nitrógeno publicado en el visor web..... | 119 |

LISTA DE TABLAS Y CUADROS

| | | |
|-----------|--|-----|
| Cuadro 1 | Matriz de decisión para la zonificación de palma aceitera..... | 29 |
| Cuadro 2 | Matriz de grupos..... | 30 |
| Cuadro 3 | Extensión y ubicación de los cultivos de palma aceitera en el Ecuador..... | 38 |
| Cuadro 4 | Cronograma de reuniones con Gerencia..... | 67 |
| Cuadro 5 | Compromisos para el desarrollo de la tesis..... | 69 |
| Cuadro 6 | Requisitos del sistema..... | 69 |
| Cuadro 7 | Parámetros definidos para el sistema..... | 87 |
| Cuadro 8 | Estructura del modelo lógico de la base de datos geográfica..... | 92 |
| Cuadro 9 | Mapas que se generarán con la información obtenida..... | 116 |
| Cuadro 10 | Análisis cuantitativo de la base de datos geográfica..... | 121 |
| Cuadro 11 | Análisis cualitativo de la base de datos geográfica..... | 121 |
| Tabla 1 | Registro de datos de las villas..... | 80 |
| Tabla 2 | Registro de datos de combustible..... | 80 |
| Tabla 3 | Registro de datos de la compostera..... | 80 |
| Tabla 4 | Registro de datos de maquinaria..... | 80 |
| Tabla 5 | Registro de datos de reserva forestal..... | 81 |
| Tabla 6 | Registro de datos de oficinas..... | 81 |
| Tabla 7 | Registro de datos de parcelas..... | 82 |
| Tabla 8 | Registro de datos de pozos sépticos..... | 83 |
| Tabla 9 | Registro de datos de tramos de vía..... | 83 |
| Tabla 10 | Registro de datos de muestra de suelos..... | 84 |

| | | |
|----------|---|----|
| Tabla 11 | Registro de datos de mulerías..... | 85 |
| Tabla 12 | Registro de datos de trampas de plagas..... | 85 |
| Tabla 13 | Registro de datos de vivero..... | 86 |
| Tabla 14 | Registro de datos de bodega..... | 86 |
| Tabla 15 | Registro de datos de residuos..... | 86 |
| Tabla 16 | Registro de datos de muestras de agua..... | 87 |

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

A través del Acuerdo Interministerial 389 del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, Ministerio del Ambiente y Ministerio Coordinador de la Producción, Empleo y Competitividad (AM389, 2013) se han definido más de 330,000.00 Ha aptas para el cultivo de palma aceitera, que son mayores a las actuales 285,000.00 Ha aproximadas existentes (ANCUPA, 2013), pero al analizar la productividad del cultivo, se establece que en Ecuador el inconveniente no es la extensión del cultivo, sino la productividad y optimización del mismo. El promedio de producción anual de fruta de palma por hectárea es de 12.50 toneladas, cuando en otros países palmicultores como Colombia y Malasia se tienen producciones anuales por hectárea de alrededor de 25.00 toneladas (ANCUPA, 2010). Por tal motivo se deben implementar medidas para mejorar la productividad de los cultivos de palma aceitera en el país y no únicamente buscar incrementar su extensión.

Por este motivo es que las empresas agroindustriales que poseen alrededor del 70% de la extensión de palma del país, han analizado diferentes metodologías para incrementar la producción de los cultivos y han determinado que la falta de tecnificación y aplicación de buenas prácticas agrícolas y de control están limitando nuestra producción como país.

Una de las medidas que han sido consideradas ha sido el desarrollo de un Sistema de Información Geográfica que permita la gestión integral de los cultivos

de palma aceitera a través de la aplicación de sistemas de agricultura de precisión. Esta será una herramienta de control integral del cultivo de palma con todas las interacciones existentes, lo cual lo convertirá en una herramienta de toma de decisiones por parte de la gerencia.

1.2 Planteamiento del problema

En Ecuador hasta el año 2014 existían aproximadamente 285,000.00 Ha de palma aceitera en el país, de las cuales el 70% corresponden a grandes empresas o grupos industriales con extensiones de cultivos de palma aceitera que sobrepasan las 5,000.00 Ha. Debido a la gran cantidad de variables existentes que inciden en la productividad del cultivo se generan inconvenientes al gestionar y administrar los cultivos que se refleja en pérdida de dinero y producción para las empresas. Actualmente no existen Sistemas de Información Geográfica que permitan la gestión integral de los cultivos de palma aceitera a través de la aplicación de sistemas de agricultura de precisión. Por estos motivos es importante desarrollar un Sistema de Información Geográfica que permita la gestión integral de los cultivos de palma aceitera a través de la aplicación de sistemas de agricultura de precisión.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar un Sistema de Información Geográfica que permita la gestión integral de los cultivos de palma aceitera a través de la aplicación de sistemas de agricultura de precisión.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Recopilar y levantar toda la información geoespacial y alfanumérica que forme parte del sistema de agricultura de precisión para un cultivo de palma aceitera a través de las variables naturales y antrópicas.
2. Diseñar una base de datos geográfica en relación a toda la información recopilada.
3. Retroalimentar la base de datos geográfica en un Sistema de Información Geográfica para la gestión integral del cultivo de palma aceitera.
4. Diseñar el sistema de agricultura de precisión para un cultivo de palma aceitera.
5. Obtener productos del Sistema de Información Geográfica de importancia para la gestión de Gerencia.

1.4 Hipótesis

Mientras no se desarrolle un Sistema de Información Geográfica que permita la gestión integral de los cultivos de palma aceitera a través de la aplicación de sistemas de agricultura de precisión, las empresas tendrán inconvenientes en gestionar todas las variables que se integran en el desarrollo de los cultivos, ocasionando pérdidas de dinero y producción.

La aplicación de un Sistema de Información Geográfica permitirá la gestión integral de los cultivos de palma aceitera a través de la aplicación de sistemas de agricultura de precisión, identificando cambios específicos a aplicar en función al manejo actual.

1.5 Preguntas de investigación

¿Cuáles son las relaciones entre las variables naturales y antrópicas para el desarrollo de un cultivo de palma aceitera?

¿Qué variables inciden en mayor proporción en el manejo adecuado de recursos e incremento de productividad de un cultivo de palma aceitera?

¿Cómo un Sistema de Información Geográfica puede ayudar a Gerencia para gestionar de forma integral un cultivo de palma aceitera?

¿De qué manera se relaciona un sistema de agricultura de precisión con un Sistema de Información Geográfica?

1.6 Contexto y marco teórico

1.6.1 El propósito del estudio

Debido a la gran cantidad de variables existentes que inciden en la productividad del cultivo que se identifican como variabilidad de campo que relacionan las variables naturales que determinan el desarrollo y productividad de un cultivo y las variables antrópicas que se basan en las prácticas de cultivo propias requeridas para el desarrollo del cultivo, las mismas que dependen de las variables naturales o climáticas. Se determinan inconvenientes al gestionar y administrar los cultivos a través de gerencia y al analizar la productividad del cultivo, se establece que en Ecuador el inconveniente no es la extensión del cultivo, sino la productividad y optimización del mismo. El promedio de producción anual de fruta de palma por hectárea es de 12.50 toneladas de fruta, cuando en otros países palmicultores como Colombia y Malasia se tienen producciones anuales por hectárea de alrededor de 25.00 toneladas. Por estos motivos es sumamente importante desarrollar un Sistema de Información Geográfica que permita la gestión integral de los cultivos de palma aceitera a través de la aplicación de sistemas de agricultura de precisión.

Durante el desarrollo de esta tesis se trabajó con la información base existente sobre los siguientes temas:

1. Palma aceitera
2. Sistemas de agricultura de precisión
3. Sistemas de Información Geográfica

1.6.2 El significado del estudio

Este estudio es importante para todo el país y sobre todo para las empresas agroindustriales de palma en el Ecuador, debido a que el promedio de producción anual de fruta de palma por hectárea es de 12.50 toneladas, cuando en otros países palmicultores como Colombia y Malasia se tienen producciones anuales por hectárea de alrededor de 25.00 toneladas. Por tal motivo se deben implementar medidas para mejorar la productividad de los cultivos de palma aceitera en el país y no únicamente buscar incrementar su extensión como son los sistemas de información geográfica.

1.7 Presunciones del autor

Para el desarrollo de este estudio, se inició con siguientes presunciones:

1. Los datos agroindustriales se encuentran a disposición.
2. Las aplicaciones de sistemas de agricultura de precisión son viables tecnológica y técnicamente para los cultivos de palma aceitera.
3. El software a utilizar está disponible en sus versiones más recientes y estables.
4. La información técnica necesaria es de alto valor científico y se encuentra disponible.

1.8 Supuestos del estudio

Para cumplir con los objetivos establecidos en el plan de tesis se supuso:

1. Los principales problemas en la toma de decisiones por parte de gerencia, se debe a que no se incorporó el componente espacial en los análisis.
2. Las tecnologías de código abierto permiten la creación de sistemas de información geográfica.

CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Palma aceitera

La palma aceitera (*Elaeis guineensis*) es un árbol tropical perenne que se cultiva específicamente para la producción de aceite vegetal derivado, su cultivo se realiza en las tierras bajas tropicales, estando su origen en el oeste y centro de África (Verheye, 2012). Debido a las condiciones agroecológicas similares que se encuentran en toda la zona tórrida del planeta, los cultivos de palma aceitera se han extendido en todas estas áreas del planeta, en los diferentes continentes como son América, Asia y Oceanía.

Los frutos que se encuentran dentro del raquis y que conforman el racimo de fruta de palma aceitera, están conformados por:

- Mesocarpio
 - Piel o cáscara
 - Fibra
- Semilla
 - Cuesco
 - Almendra

Los tipos de palma aceitera se clasifican por la estructura de la semilla del fruto, lo cual determina su valor comercial, existen los siguientes tipos:

- Macrocaria

- Este tipo de palma no posee ningún valor comercial por su bajo o casi nulo contenido de aceite al estar conformada casi en su totalidad por la semilla que a su vez en un 90% es cuesco.
- Dura
 - Posee un 55% de cuesco, por tal motivo no es comercialmente atractiva por la poca cantidad de aceite que posee.
- Pisífera
 - No posee su semilla definida (no existe cuesco), por tal motivo se dificulta la obtención de aceite de este tipo de palma.
- Tenera
 - Posee del 1 al 30% de cuesco y es el tipo de palma con mayor valor comercial.

2.1.1 Productos

El producto obtenido del cultivo de palma aceitera los racimos de fruta fresca de palma que después de ser procesada en una Extractora de Fruta de Palma se obtienen diferentes productos derivados. El principal producto derivado es el aceite crudo de palma que se concentra en los racimos de fruta fresca con un contenido del 20 al 22% del peso total de los racimos (Verheye, 2012).

Otros productos derivados de los racimos de fruta fresca de palma aceitera son (ANCUPA, 2007):

- Aceite de palmiste
 - Del 2 a 3% del peso total del racimo

- Raquis
 - Del 20 al 22% del peso total del racimo
- Fibra
 - Del 20 al 21% del peso total del racimo
- Cuesco o cascarilla
 - Del 6 al 7% del peso total del racimo
- Torta de palmiste
 - Del 2 a 3% del peso total del racimo
- Agua
 - Del 29 al 30% del peso total del racimo

Los datos específicos de la palma aceitera son (MAGAP, 2013):

- Nombre vulgar:
 - Palma africana, palma de aceite, palma aceitera
- Nombre científico:
 - *Elaeis guineensis Jacq*
- Familia:
 - Palmaceae
- Origen:
 - África
- Tipo biológico:
 - Árbol
- Ciclo vegetativo:
 - Perenne
- Altura:

- 20 metros (a los 25 años)

2.1.2 Producción

Los productos derivados de los racimos de fruta cosechados de los cultivos de palma aceitera son los más económicos, versátiles y populares a nivel mundial.

El aceite derivado de la palma aceitera es de 5 a 10 veces más productivo por hectárea que otros aceites obtenidos de otras plantas oleaginosas (WWF, 2012). Es por estos motivos que las plantaciones de palma aceitera se han incrementado a nivel mundial.

La palma aceitera es cultivada aproximadamente en 15 millones de hectáreas alrededor del mundo (UNEP, 2011). Los análisis han determinado que durante el año 2012, se incrementaron en un 36% la demanda mundial del aceite crudo de palma con respecto al año 2010 y para el año 2020 se incrementará en un 65% (Mielke, 2011). De esta manera las plantaciones de palma aceitera se han convertido en el monocultivo más grande del mundo.

2.1.3 Condiciones agroecológicas

Como me mencionó en numerales anteriores, los cultivos de palma aceitera se desarrollan en condiciones agroecológicas de los bosques tropicales de la zona tórrida del planeta.

Como toda especie vegetal, el crecimiento y producción de la palma aceite se basa en la incidencia de factores agrícolas y ecológicos. Por tal motivo se pueden establecer dos zonas aptitud agroecológica para el cultivo de palma aceitera con sus subdivisiones específicas (Naranjo, 2013):

- Apta
 - Óptima
 - Moderada
 - Marginal
- No apta

Los factores que se han considerado para establecer las zonas agroecológicamente aptas para los cultivos de palma aceitera son (MAE, 2013):

- Pendiente
- Profundidad
- Textura
- Pedregosidad
- pH del suelo
- Salinidad
- Toxicidad
- Nivel de fertilidad
- Drenaje
- Precipitación
- Temperatura
- Altitud

En base a estos parámetros, se determinaron los rangos límites para las variables agroecológicas:

Cuadro 1. Matriz de decisión para la zonificación de palma aceitera (MAGAP, 2013)

| FACTOR | VARIABLE | ZONIFICACIÓN | | | |
|--------|------------------|--------------------------------------|------------------------|------------------------------|--|
| | | APTA | | | NO APTA |
| | | ÓPTIMA | MODERADA | MARGINAL | |
| Suelo | Pendiente | 0 a 12% | 12 a 25% | 25 a 50% | >50% |
| | Textura | Grupo 1 | Grupo 2 | Grupo 3 | Grupo 4 |
| | Profundidad | Profundo / Moderadamente Profundo | Poco profundo | | Superficial |
| | Pedregosidad | Sin / Pocas | Frecuentes | | Abundante / Pedregoso / Rocoso |
| | Drenaje | Bueno / Moderado | | Mal drenado / Excesivo | |
| | Nivel freático | Profundo | Moderadamente profundo | Poco profundo | Superficial |
| | pH | Ligeramente ácido / Neutro | Ácido | Moderadamente alcalino | Muy ácido |
| | Toxicidad | Sin o nula /Ligera | | Media | Alta |
| | Materia Orgánica | Muy Alto / Alto | Medio | Bajo / Muy bajo | |
| | Salinidad | Sin / Ligera | | | Muy alta / |

| | | | | | |
|-------|---------------|--------------------|------------|---------|--------------|
| | | | | | Alta / Media |
| | Fertilidad | Alta / Mediana | | Baja | Muy baja |
| Clima | Precipitación | Grupo 1 | Grupo 2 | Grupo 3 | Grupo 4 |
| | Temperatura | Grupo 1 | Grupo 2 | Grupo 3 | Grupo 4 |
| | Altitud | 0 a 600 m.s.n.m | Cualquiera | | |

Cuadro 2. Matriz de grupos (MAGAP, 2013)

| Variables | Grupo 1 | Grupo 2 | Grupo 3 | Grupo 4 |
|------------------|--|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| Aptitud | Óptima | Moderada | Marginal | No apta |
| Textura | Franco, limoso, franco limoso, franco arcilloso, franco arcilloso arenoso, franco arcilloso limoso, arcilloso, arcillo arenoso, arcilloso limoso | Franco arenoso | Arcilloso | Arenosa, arenoso franco |
| Precipitación | 1500 – 3000 mm | 1250 – 1500 mm 3000 – 3500 mm | 1000 – 1250 mm 3500 – 4000 mm | 0 – 1000 mm > 4000 mm |
| Temperatura | 24 – 26 °C | 22 – 23 °C | 21 – 22 °C | 0 – 21 °C |

Es importante indicar que en el Cuadro 1, los niveles de menor aptitud, heredan los límites de mayor aptitud, es decir una variable cuya aptitud óptima incluye un límite, la aptitud moderada hereda ese límite más lo indicado en su propio límite como aptitud moderada. Por ejemplo en la variable Pedregosidad, los límites de la

aptitud óptima son Sin y Pocas; pero los límites de la aptitud moderada son Sin, Pocas y Frecuentes; en el cuadro 1 únicamente se indica en la aptitud moderada el incremento del límite Frecuentes y en la aptitud marginal no se coloca nada porque no existe un incremento del límite y continúa siendo Sin, Pocas y Frecuentes.

2.1.4 Cultivo y manejo

El análisis del cultivo y manejo de las plantaciones de palma aceitera se subdivide en tres componentes:

1. Establecimiento de la plantación
2. Manejo de la plantación
3. Cosecha

2.1.4.1 Establecimiento de la plantación

El establecimiento de la plantación de palma está formada por (IICA, 2006):

1. Semillero
 - a. Para germinar, las semillas de palma aceitera deben pasar por un periodo de sesenta a ochenta días.
 - b. Las semillas en el germinador reciben las condiciones de temperatura (40 °C) y humedad adecuada (22%).
 - c. En el semillero se puede perder de un 15 a 20% de semillas que mueren o son anormales.

2. Vivero

- a. Una vez que las semillas han germinado, se las lleva al pre-vivero en las cuales se las coloca dentro de un sustrato con los fertilizantes adecuados.
- b. Previo al trasplante al vivero se seleccionan las mejores plántulas, eliminando las mal formadas.
- c. Durante un periodo de 12 a 14 meses las plántulas crecen en los viveros, con un sistema de riego que aplique un promedio de 8 mm/día de agua a cada planta.
- d. Durante los 3 primeros meses se debe reducir la cantidad de luminosidad solar directa en un máximo del 60%.
- e. Durante la fase de vivero las plántulas son susceptibles ante plagas y enfermedades, por tal motivo se deben realizar controles fitosanitarios continuos.

3. Adecuación del terreno y siembra:

- a. Primero se debe establecer el área donde se desarrollará la plantación de palma aceitera en base a un estudio de factibilidad social, económica y ambiental de esta manera se establecerán los lotes o parcelas.
- b. En segundo lugar se debe preparar el terreno, para lo cual se deben realizar trabajos de nivelación, desbroce y siembra de una leguminosa de protección de la erosión y fijación de nitrógeno en el suelo. Es importante establecer un sistema de drenaje para las zonas de depresión.

- c. Como tercer punto se deben iniciar la siembra de las hileras de palma orientadas de preferencia de norte a sur para facilitar la insolación, la densidad óptima por hectárea es de 143 palmas que deben estar sembradas aplicando el criterio de los tres bolillos, en la cual entre dos palmas de una misma hilera deben existir 9 metros de separación y a su vez estas palmas deben estar a 9 metros de separación de la palma de la siguiente hilera, formando un triángulo equilátero. Por tal motivo, entre hileras existe una distancia de 7.80 metros.
- d. Finalmente se deben definir los caminos que serán los límites de cada parcela o lote.

2.1.4.2 Manejo de la plantación

El manejo de la plantación de palma aceitera está conformado por (IICA, 2006):

1. Labores culturales
 - a. Se debe realizar un control de malezas a través de mecanismos mecánicos y químicos, se recomiendan dos ciclos de control anuales.
 - b. Durante el segundo año es importante realizar una resiembra para reponer las palmas muertas que pueden llegar a un 3%.
 - c. Antes de la cosecha se deben realizar podas de sanidad para eliminar racimos malformados, hojas secas y hojas bajas.

- d. Es importante realizar la recolección del fruto caído para evitar el nacimiento de plántulas, esta actividad es conocida como coyoleo.

2. Fertilización

- a. Se deben diseñar programas de fertilización en base a análisis químicos del suelo, análisis foliares, rendimiento y edad de la plantación.
- b. Los análisis foliares se realizan en las hojas 9 y 17 y se poseen niveles críticos de nutrientes, cualquier valor por debajo de estos porcentajes se consideran deficiencias:

- i. Hoja 9

- 1. Nitrógeno: 2.70
 - 2. Fósforo: 0.16
 - 3. Potasio: 1.25
 - 4. Calcio: 0.50
 - 5. Magnesio: 0.23

- ii. Hoja 17

- 1. Nitrógeno: 2.50
 - 2. Fósforo: 0.15
 - 3. Potasio: 1.00
 - 4. Calcio: 0.60
 - 5. Magnesio: 0.24

- c. Los fertilizantes se aplican en círculos alrededor de las palmas y el radio del círculo se incrementa 0.50 cada año.

3. Control de plagas

a. Se recomienda establecer un Manejo Integrado de Plagas (MIP) que se basa en:

- i. Sistemas de monitoreo
- ii. Controles biológicos
- iii. Manejo controlado de agroquímicos
 1. Aplicación puntual
 - a. Inyección sistémica en el tronco
 - b. Tratamiento a través de las raíces
 2. Mínima toxicidad
 3. Uso de equipo de protección personal

b. Las principales plagas de la palma aceitera son del Orden:

- i. Himenóptero (ácaros)
- ii. Ortóptero (saltamontes)
- iii. Homóptero (polillas)
- iv. Coleópteros (escarabajos)
- v. Lepidópteros (mariposas)
 1. Defoliadores
 2. Barrenadores

4. Control de enfermedades

a. Las principales enfermedades que afectan a las plantaciones de palma aceitera son:

- i. Fusariosis
- ii. Ganoderma
- iii. Anillo rojo
- iv. Marchitez sorpresiva

- v. Pudrición de cogollo
 - vi. Pudrición de flecha
 - vii. Anillo clorótico
 - viii. Mancha anular
- b. Para controlar las enfermedades y focos de enfermedades
- i. Controles fitosanitarios
 - ii. Erradicación de vectores
 - iii. Erradicación de palmas enfermas

2.1.4.3 Cosecha

La cosecha se realiza cuando los frutos de los racimos adquieren un color rojo anaranjado y empiezan a desprenderse. Esta etapa se denomina óptimo grado de madurez, en la cual la acidez tiene el mínimo grado posible (1.2 a 1.5%) (Technoserve, 2009). Los intervalos de cosechas oscilan entre 10 y 15 días, esta labor representa los mayores costos operativos en una plantación.

Para cosechar los racimos, se los debe cortar de la palma, para lo cual se utilizan diversas herramientas afiladas; una vez que se tiene los racimos, se los coloca dentro del transporte que dependiendo de la plantación puede ser de tracción motorizada o animal. La cosecha se realiza hilera por hilera para que una vez que se ha llenado el transporte se acumulan los racimos en tendales o centros de acopio temporales ubicados en las vías de cada lote o parcela para ser recolectados por un camión.

Una vez que los camiones se encuentran totalmente cargados, estos se dirigen a centros de acopio o directamente a las Extractoras de aceite crudo de palma, donde son pesados a su ingreso y salida para determinar la cantidad de racimos cosechados. Con estos datos se pueden obtener indicadores de la eficiencia de la finca.

2.1.5 Palma aceitera en el Ecuador

La palma aceitera se introdujo en Ecuador en 1952 a través del Lee Hines, propietario de la compañía UFCO en Honduras. Las primeras semillas traídas por Lee Hines fueron sembradas por los hermanos Roscoe y Leal Scott en 1953 en una plantación de palma aceitera con una extensión inferior a 40 hectáreas ubicada en el cantón La Concordia, provincia de Santo Domingo (FLACSO, 1984). Con esta plantación empírica se determinó que las condiciones agroecológicas de la zona cumplían con los requerimientos de la palma aceitera, por tal motivo este sector se convirtió en el foco de expansión de los cultivos de palma aceitera en el país.

2.1.5.1 Extensión y ubicación geográfica

En el año 2005, se llevó a cabo el censo palmero en el Ecuador a cargo del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG, actual MAGAP), la Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Aceitera (ANCUPA) y la Fundación de Fomento de Exportaciones de Aceite de Palma y sus Derivados de Origen

Nacional (FEDAPAL). A través de este censo con la ayuda de herramientas de representación geográfica (CAD con manejo de georeferenciación), se determinó e identificó la extensión y ubicación de los cultivos de palma aceitera en el Ecuador, el Cuadro 3 indica los resultados de extensión y ubicación geográfica de las plantaciones de palma aceitera en el Ecuador determinada en el censo palmero 2005:

Cuadro 3. Extensión y ubicación de los cultivos de palma aceitera en el Ecuador (MAG, 2005).

| Provincia | Extensión (ha) |
|------------------|-----------------------|
| Bolívar | 191.20 |
| Cotopaxi | 1,525.10 |
| Esmeraldas | 79,719.02 |
| Guayas | 3,409.80 |
| Los Ríos | 31,977.28 |
| Manabí | 1,607.50 |
| Orellana | 5,068.74 |
| Pichincha | 34,201.27 |
| Sucumbíos | 10,118.57 |
| La Concordia* | 28,476.15 |
| Las Golondrinas* | 4,070.38 |
| Manga del Cura* | 6,920.30 |
| Total | 207,285.31 |

2.2 Sistemas de agricultura de precisión

La agricultura de precisión se puede definir como el conjunto de metodologías y tecnologías que permiten administrar una finca, predio o terreno a una escala espacial y temporal adecuada y en relación a su variabilidad natural (Pérez, 2011), la relación de la información espacial, temporal y variabilidad natural se puede definir como variabilidad de campo. La variabilidad de campo en la cual se basa el desarrollo de un sistema de agricultura de precisión, permite interrelacionar las variables naturales y antrópicas que determinan el desarrollo y productividad de un cultivo; las variables antrópicas, se basan en las prácticas de cultivo propias requeridas para el desarrollo del cultivo, las mismas que dependen de las variables naturales o climáticas.

2.2.1 Objetivos de la agricultura de precisión

Los sistemas de agricultura de precisión tienen como objetivos (García y Flego, 2012):

- Reducir costos:
 - Insumos
 - Talento humano
- Mayor rendimiento:
 - Insumos
 - Talento humano
 - Productos
- Incrementar la eficiencia:

- Mayor margen
- Mayor calidad:
 - Mejor producto
- Mantener la sostenibilidad:
 - Menor impacto social
 - Menor impacto ambiental
 - Mayor ganancia

2.2.2 Ciclo o metodología de la agricultura de precisión

El ciclo metodológico para implementar un sistema de agricultura de precisión se puede establecer de la siguiente manera (I+D+i, 2011):



Diagrama 1: Ciclo de la agricultura de precisión

El ciclo que se indica en el Diagrama 1, se describe de la siguiente manera:

1. Recolección e ingreso de la información

A. Se deben obtener información técnica específica que describa todas las variables naturales y antrópicas que interactúen o sean parte del cultivo.

B. Una vez que se validen los datos obtenidos de las variables, se procederá a ingresarlos a través del Sistema de Información Geográfica.

2. Análisis, procesamiento e interpretación de la información

A. A través del Sistema de Información Geográfica, se procederá a procesar los datos generando diferentes mapas o coberturas específicas de las parcelas o lotes del cultivo.

B. Estos mapas o coberturas deberán ser analizados de dos maneras:

i. Individualmente

ii. Colectivamente

1. Álgebra de mapas

C. A través del análisis de la información obtenida y generada, se procederá a establecer parámetros específicos de manejo local específico diferenciado para cada una de las variables levantadas inicialmente, estos parámetros deberán hacerse operativos a través de la creación de procedimientos.

3. Manejo local específico diferenciado

- A. Una vez que se posean los procedimientos de manejo local específico diferenciado, se procederá a su aplicación a través de la aplicación tecnológica de dosis variable.
- B. Se deberá realizar un acompañamiento continuo para verificar el cumplimiento de los procedimientos establecidos.
- C. Se debe levantar como retroalimentación toda la información obtenida durante el manejo local específico diferenciado.

4. Recolección e ingreso de la información

- A. Una vez aplicado el manejo local específico diferenciado, será importante levantar nuevamente la información inicial de las variables naturales y antrópicas.
- B. Es de esperar que las variables naturales no varíen por fuera de los rangos predictivos, pero las variables antrópicas si habrán variado por el establecimiento de los procedimientos de manejo local específico diferenciado.
- C. También se deberán ingresar los datos de retroalimentación de la aplicación del manejo local específico diferenciado.
- D. Es importante indicar que durante la ejecución del manejo local específico diferenciado, se podría determinar que algunas variables fueron omitidas, mal calculadas o no debían ser incluidas durante la recolección e ingreso de información inicial, en este caso se deben tomar los correctivos adecuados.
- E. Todo el sistema se basa en la mejora continua.

El presente proyecto de tesis abordó los puntos 1 y 2 del ciclo metodológico de la agricultura de precisión. El punto 3 y 4 son dependientes de la decisión de Gerencia para aplicar los procedimientos de manejo local diferenciado establecidos en el punto 2, análisis, procesamiento e interpretación de la información.

2.2.3 Herramientas de la agricultura de precisión

Para poder llevar a cabo el ciclo metodológico de los sistemas de agricultura de precisión, se requiere del uso y aplicación de herramientas tecnológicas adecuadas y específicas que se integran en cada parte del ciclo establecido, las principales herramientas aplicadas son (I+D+i, 2012):

1. Sistemas de navegación global satelital (GNSS)
2. Sistemas de información geográfica (SIG)
3. Teledetección o percepción remota
4. Sensores de monitoreo
5. Monitores de rendimiento
6. Equipos agrícolas

2.2.4 Barreras de la agricultura de precisión

A pesar que los sistemas de agricultura de precisión permiten incrementar la eficiencia en un cultivo, existen barreras o limitaciones por las cuales los sistemas

de agricultura de precisión no son aplicados a gran escala, las principales barreras son (García y Flego, 2012):

- Conocimiento específico y tecnificado sobre agricultura de precisión.
- Inversión inicial para la adquisición de hardware y software específico.
- No aplicabilidad de todas las herramientas por características propias del entorno y de los cultivos.

2.3 Sistemas de Información Geográfica

Los Sistemas de Información Geográfica poseen diferentes conceptos o definiciones dependiendo de los técnicos y los usos que se les den, la concepción básica de un Sistema de Información Geográfica es un sistema basado en computadoras que permite la interrelación y manejo de información geográfica, a través de su (Huisman, 2008):

- Captura y preparación
- Manejo, incluyendo almacenaje y almacenamiento
- Manipulación y análisis
- Presentación

La definición expuesta incluye sin decirlo ciertos componentes que conforman a un Sistema de Información Geográfica y que la definen como son los datos, el software, el hardware, los procesos, las metodologías y las personas que permiten la integración y análisis de la información geoespacial.

2.3.1 Componentes de un SIG

Los sistemas de información geográfica son sistemas complejos conformados por diversos elementos interrelacionados. Para facilitar la comprensión de la estructura de un Sistema de Información Geográfica se puede hacerlo a través del establecimiento de subsistemas fundamentales (Olaya, 2011):

- Subsistema de datos
 - Levantamiento de información que representa a la realidad.
- Subsistema de visualización y creación cartográfica
 - Representación de información geoespacial.
- Subsistema de análisis
 - Métodos y procesos para el análisis de la información geoespacial

Como se indicó en el numeral anterior, los Sistemas de Información Geográficos están integrados por:

- Datos:
 - Son el requerimiento primordial de los Sistemas de Información Geográfica, pueden ser geográficos o alfanuméricos.
- Software:
 - Son las herramientas informáticas desarrolladas para ejecutar las interrelaciones de datos.
- Hardware:
 - Es el equipo necesario para montar el software específico.
- Métodos:

- Son los procedimientos y metodologías a través de las cuales se maneja la información geográfica.
- Personas:
 - Son los usuarios de los Sistemas de Información Geográfica

2.3.2 Bases de datos geográficos

Los Sistemas de Información Geográficos se han diseñado en función de las bases de datos geográficos que se convierten después de las personas en su principal componente.

Las bases de datos se pueden comprender como series integradas de datos específicos por tal motivo las bases de datos geográficos son bases de datos de información geoespacial (Longley *et al*, 2005).

2.3.2.1 Sistemas de manejo de bases de datos

Las bases de datos pueden ser almacenadas de forma física o en programas especializados conocidos como Sistemas de manejo de bases de datos (DBMS), que están diseñados para organizar de forma eficiente y efectivo el almacenamiento y acceso a la información.

Los sistemas de manejo de bases de datos proporcionan importantes capacidades como (Longley *et al*, 2005):

- Modelo de datos:

- Son mecanismos utilizados para representar objetos del mundo real de forma digital.
- Capacidad de carga de datos:
 - Se proporcionan herramientas para las carga de datos en la base de datos.
- Índices:
 - Son estructuras de datos utilizadas para disminuir el tiempo de búsqueda.
- Lenguaje de búsqueda:
 - Permite el uso del lenguaje de búsqueda SQL.
- Seguridad:
 - Proporciona acceso controlado a la información.
- Actualización controlada:
 - Las actualizaciones de la base de datos son controladas a través de un responsable del manejo de la información.
- Recuperación y copia de seguridad:
 - Toda la información está protegido ante daños o actualizaciones incorrectas.
- Herramientas de administración de bases de datos:
 - Un grupo de herramientas y la interfaz de usuario está destinada para definir la estructura, crear índices, mejorar el rendimiento, recuperar información y asignar accesos a los usuarios.
- Aplicaciones:
 - Los DBMS están equipados con estándares, herramientas de propósito general para crear, usar y mantener las bases de datos.

- Interfaces de programación de aplicaciones:
 - Algunas de las aplicaciones requieren personalización para su gestión adecuada.

Existen tres tipos de DBMS que están disponibles de acuerdo al uso y manipulación de los datos:

- DBMS relacional:
 - Consiste en un conjunto de tablas de dos dimensiones que almacenan atributos.
- DBMS de objetos:
 - Permiten almacenar objetos completos directamente en la base de datos
- DBMS de objetos y relacional
 - Manejan tanto los datos descriptivos y el objeto que son gestionados y administrados de forma integral.

2.3.2.2 Almacenamiento de información en sistemas de manejo de bases de datos

La clase de entidad o clase de objetos es un conjunto organizado de datos de un tema en particular. Estos son almacenados en tablas estándar de base de datos.

La tabla es un conjunto bidimensional de filas y columnas. Cada fila contiene a los objetos y cada columna contiene atributos específicos, los datos ingresados en las intersecciones de las filas y columnas se conocen como valores; las tablas de

las bases de datos geográficas, posee una columna específica de la presencia de la geometría (Longley *et al*, 2005).

Las tablas se interrelacionan utilizando valores comunes conocidos como llaves, existen 5 principios para el manejo adecuado de las tablas:

1. Únicamente debe existir un valor en la intersección de filas y columnas.
2. Todos los valores en una columna deben ser del mismo objeto.
3. Cada fila debe ser única.
4. No existe ninguna importancia en la secuencia de columnas.
5. No existe ninguna importancia en la secuencia de filas.

2.3.2.3 Tipos y funciones de bases de datos geográficos

La clase de geometría es la raíz de los tipos de datos geográficos que pueden ser representados y procesados en una base de datos, estos deben estar asociados a una referencia espacial, el Diagrama 2 permite observar las relaciones entre geometrías (Longley *et al*, 2005):

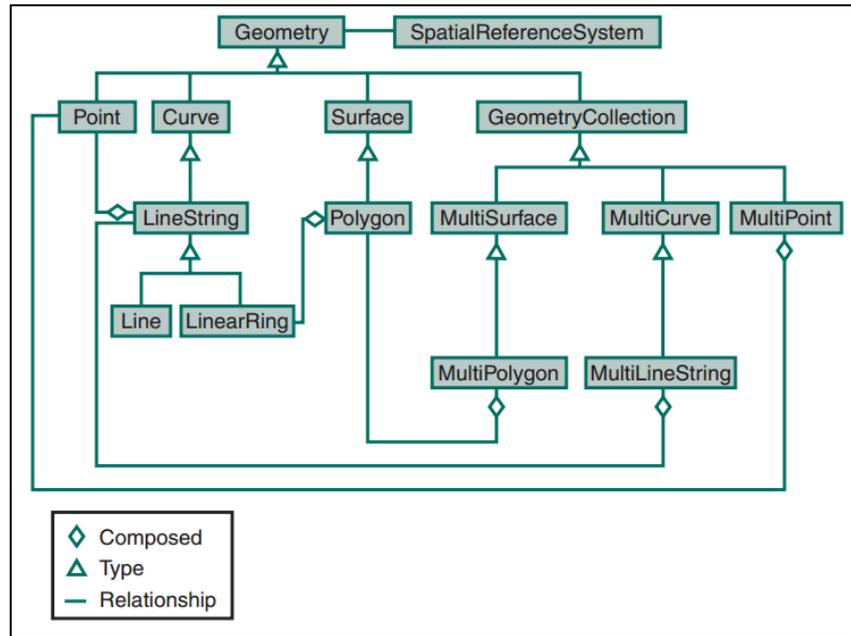


Diagrama 2: Jerarquía de clases de geometría

(Fuente: Geographical Information Systems and Science)

De acuerdo a los estándares ISO/OGC existen 9 métodos para establecer las relaciones entre los objetos geométricos:

1. Iguales
2. Disjuntos
3. Intersecados
4. Tocan
5. Cruzan
6. Dentro
7. Contiene
8. Superposición
9. Relacionan

Existen 7 métodos que sostiene el análisis espacial entre las geometrías que son:

1. Distancia
2. Buffer
3. Casco convexo
4. Intersección
5. Unión
6. Diferencia
7. Diferencia de símbolos

2.3.2.4 Diseño de bases de datos geográficos

El diseño de la base de datos involucra tres fases prioritarias (Longley *et al*, 2005):

1. Conceptual
2. Lógica
3. Física

Estas fases se relacionan a través de seis pasos:

1. Modelo Conceptual
 1. Modelar la vista de usuario
 - i. Se deben identificar las funciones organizacionales.
 - ii. Se debe determinar los datos requeridos y su organización en grupos para facilitar su administración.
 2. Definir los objetos y relaciones

- i. Se deben especificar las clases de objetos.
 - ii. Se deben describir las relaciones entre los tipos de objetos.
3. Seleccionar la representación geográfica
- i. Se deben seleccionar los tipos de representación geométricas.

2. Modelo Lógico

4. Emparejar los tipos de base de datos geográficos
- i. Se debe hacer coincidir los tipos de objetos que serán utilizados con los tipos de datos específicos aplicables al SIG.
5. Organizar la estructura de la base de datos geográficos
- i. Se deben definir las asociaciones topológicas, especificar las reglas, relaciones y asignar el sistema de coordenadas.

3. Modelo Físico

6. Definir el esquema de la base de datos
- i. Se debe crear utilizando el software de definición de lenguaje de datos del DBMS.

2.3.2.5 Estructuración de información geográfica

Cuando la información se ha almacenado en la base de datos geográfica de acuerdo al esquema definido en el modelo de información geográfica, se debe estructurar y organizar para permitir una búsqueda, análisis y mapeo eficiente, para lo cual existen dos técnicas estructurales aplicables a las bases de datos geográficos (Longley *et al*, 2005):

1. Creación de topología

- a. Se puede crear entre conjuntos de datos vectoriales a través de técnicas interactivas o de lotes.
- b. Existen dos modelos para el almacenamiento y la administración de topología:
 - i. Modelo normalizado:
 1. Cada objeto es descompuesto en sus raíces topológicas individuales para almacenarlo en la base de datos y después re ensamblarlo cuando se plantea la consulta.
 - ii. Modelo físico:
 1. Las raíces topológicas no se almacenan en la base de datos y la geometría completa es almacenada junto a cada objeto. Las relaciones topológicas son calculadas sobre la marcha cuando sean requeridas.

2. Indexación

- a. Sirven para disminuir el tiempo de las búsquedas, de igual manera que el índice de un libro.
- b. Los índices son listas derivadas de la información en una tabla que representan la información de objetos para mejorar la búsqueda.
- c. Por lo general si el conjunto de datos es mayor, la indexación es más efectiva.
- d. Debido a problemas de creación y manejo de los índices por el tiempo y tamaño de disco que ocupan, se han desarrollado varios tipos de índices para manejar información geográfica y no

geográfica. Existen tres métodos de indexación que se utilizan en los Sistemas de Información Geográfica:

i. Índice de cuadrícula (Grid index)

1. Se interpreta como una cuadrícula colocada sobre una capa de objetos geográficos.
2. Primero se busca a través de la grilla la geometría del objetivo, después se buscan los atributos y finalmente se obtiene un procesamiento geométrico.
3. El rendimiento de este índice está relacionado entre el tamaño de la cuadrícula, el tamaño y densidad del objeto.
4. Los índices de cuadrícula son fáciles de crear, pueden manejar un rango amplio de tipos de objetos y ofrecen un buen rendimiento.

ii. Quadrees

1. Es un nombre genérico de diferentes tipos de índices que se construyen al dividir de forma recursiva el espacio en cuadrantes basado en la densidad de datos.
2. Son estructuras de datos utilizadas para indexar y comprimir capas de las bases de datos geográficos.

iii. R-trees

1. Se utiliza una aproximación rectangular a la ubicación del objeto llamado rectángulo delimitador mínimo (MBR).

2. El rectángulo delimitador inferior es utiliza para reducir el número de objetos que necesitan ser revisados para satisfacer una búsqueda.
3. Es un método popular para indexar información geográfica por su flexibilidad y excelente rendimiento.

2.3.2.6 Edición y mantenimiento de datos

La edición de una base de datos es cualquier cambio en la geometría y/o atributos de uno o más objetos o cualquier cambio en el esquema de la base de datos. El mecanismo para la gestión de cambios en un archivo o base de datos se llama transacción.

2.3.3 Análisis espacial

Los datos espaciales poseen características propias que permiten varios tipos de análisis pero que también limitan otros. La existencia de una posición en el espacio es el carácter especial de los datos espaciales.

Para efectuar análisis espaciales adecuados se deben considerar las siguientes variables (Cámara *et al*, 2002):

1. Dependencia espacial
 - a. Es una actividad importante para analizar un fenómeno espacial.
 - b. Todo está relacionado con todo, pero los objetos cercanos están más relacionados que los objetos distantes.

- c. La dependencia espacial está presente en todas direcciones y se debilita cuando incrementa la dispersión en la localización de los datos.
- d. Por lo general, toda la información se representa a sí misma y su relación depende de la distancia entre sus mediciones.

2. Autocorrelación espacial

- a. Es la representación computacional de la dependencia espacial.
- b. La correlación es aplicada para medir la relación entre dos variables aleatorias, al decir "auto" se indica que la medición de la correlación se realiza con las mismas variables aleatorias medidas en diferentes lugares en el espacio.
- c. Se pueden utilizar diferentes indicadores para medir la autocorrelación espacial, pero siempre se basa en la idea de verificar cómo la dependencia espacial varía al comparar los valores de una muestra y sus vecinos.

3. Inferencia estadística para datos espaciales

- a. Una importante consecuencia de la dependencia espacial es que la inferencia estadística de estos tipos de datos no son tan eficientes como el caso de muestras independientes del mismo tamaño.
- b. La dependencia espacial conduce a una pérdida de poder explicativo.
- c. Esto se refleja en las variaciones más altas de las estimaciones, los niveles más bajos de importancia en las pruebas de hipótesis y un ajuste peor para los modelos estimados, en comparación con los datos de la misma dimensión que exhiben independencia.

- d. Es necesario crear hipótesis sobre estabilidad de los procesos estocásticos cuando se asume que son conceptos estacionarios y/o isotrópicos

4. Estacionalidad e isotropía

- a. Un proceso se considera estacionario si los efectos en el primer y segundo orden son constantes en toda la región de estudios.
- b. Un proceso se considera isotrópico si además de ser estacionario, su covarianza depende únicamente de la distancia entre los puntos y no de la dirección entre ellos.
- c. La covarianza es conocida como anisótropa cuando su estructura varía con la distancia y de forma simultánea como función de su dirección.

Los análisis espaciales están conformados por un conjunto de procedimientos para seleccionar un modelo inferencial en base a la relación espacial del fenómeno. Los principales enfoques del análisis espacial se basan en la estadística espacial o geoestadística a través de (Mazo, 2010):

- Análisis exploratorio de datos espaciales
- Autocorrelación espacial
- Agrupaciones espaciales
- Filtros espaciales
- Variograma y Kriging

2.3.4 Sistemas de Información Geográfica en la Web

La Web 2.0 ha permitido a sus usuarios, ser parte de una experiencia dinámica de manejo de datos geospaciales y acceder a la posibilidad de desarrollar aplicativos personalizados dependiendo de sus requerimientos a través de una Interfaz de Programación de Aplicaciones API (Application Program Interface).

El uso de Sistemas de Información Geográfica a través de aplicaciones Web, se basa en la aplicación de estándares que permiten que esta tecnología cumpla requerimientos de publicación, búsqueda y enlazamiento de información geoespacial. Los estándares se conocen como OGC (Open Geospatial Consortium).

Los SIG Web son un tipo de sistemas de información distribuidos que poseen al menos un servidor y un cliente, siendo el servidor de una aplicación Web el servidor y el cliente un buscador Web o una aplicación móvil o de escritorio. El servidor posee un URL para poder permitir el acceso al cliente, el cliente envía un requerimiento al servidor que realiza las operaciones requeridas y envía la respuesta al cliente vía HTTP (Erazo, 2009).

La SIG Web posee características específicas que la separa de los SIG de escritorio, estos son:

- Una búsqueda global
- Un gran número de usuarios
- Mejor capacidad multiplataforma
- Bajo costo
- Fácil uso para usuarios finales

- Actualización unificada
- Diversas aplicaciones

Entre sus principales funciones se encuentran:

- Mapeo y búsquedas
- Colección de información geoespacial
- Diseminación de información geoespacial
- Análisis geoespacial

2.3.5 Visor geográfico

El visor geográfico, permite al usuario Web acceder a información geoespacial a través de mapas preestablecidos. Se estructuran a través de los siguientes componentes (Chacón, 2014):

- Sistema operativo
- Servidor Web
- Servidor de mapas
- Base de datos geográficos
- Framework
- Navegador Web

Para desarrollar su construcción, es necesario seguir el proceso detallado:

1. Instalación de la plataforma de software
 - a. Sistema operativo

- b. Plataforma Java
 - c. Servidor Web
 - d. Servidor de mapas
 - e. Base de datos geográfica
 - f. Framework para aplicaciones de mapas
2. Diseño de la interfaz
 3. Programación de la funcionalidad

2.3.5.1 Servidor de mapas

Un servidor de mapas es una plataforma desarrollada para proveer información geográfica a través de un navegador web (PRODEVELOP, 2012).

Existen diferentes tipos de servicios de información geoespacial:

- Servicios de mapas
- Servicios de datos vectoriales
- Servicios de coberturas
- Servicios de catálogo
- Servicios de procesamiento

Un servidor de mapas posee los siguientes componentes (UPS, 2012):

- Cliente para mapas.

- Conexión de red (intranet o internet).
- Servidor Web.
- Servidor de aplicaciones.
- Servidor de mapas.
- Datos y metadatos geoespaciales.

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

3.1 Metodología seleccionada

Con la finalidad de cumplir los objetivos específicos del proyecto, a través de los cuales se cumplió con el objetivo general de desarrollar un Sistema de Información Geográfica que permita la gestión integral de los cultivos de palma aceitera a través de la aplicación de sistemas de agricultura de precisión. Se seleccionó un proceso metodológico, dividido en tres componentes principales, en primer lugar se diseñará y desarrollará el Sistema de información Geográfica, cuyo principal producto es la base de datos geográfica, después se desarrollará un aplicativo Web y finalmente se establecerán criterios y procesos para el establecimiento del sistema de agricultura de precisión. El esquema metodológico queda estructurado de la siguiente manera (Chacón, 2014):

1. Sistema de Información Geográfica
 - a. Establecimiento de los requisitos de gerencia para el Sistema de Información Geográfica.
 - b. Recopilación de toda la información geográfica y alfanumérica existente.
 - c. Elaboración del modelo cartográfico
 - d. Levantamiento de la información geográfica y alfanumérica faltante
 - e. Estandarización de la información
 - f. Edición topológica
 - g. Diseño del modelo lógico de datos

- h. Generación de la base de datos geográfica
- i. Catalogación

2. Aplicativo Web

- a. Integración de los componentes del aplicativo
- b. Diseño de la interfaz de usuario
- c. Programación de funcionalidades del visor
- d. Implementación Web

3. Sistema de agricultura de precisión

- a. Establecimiento del sistema de agricultura de precisión

3.2 Recursos utilizados

El desarrollo de esta tesis, implicó la utilización de diversos recursos, entre los cuales destacan el hardware y software; es importante indicar que muchas personas intervinieron para su desarrollo, pero que no son considerados como recursos, pero se los menciona en esta sección, entre el talento humano que participó en la tesis encontramos a:

- Gerente general
- Gerente de producción
- Coordinador agrícola
- Coordinador de gestión ambiental e información geoestadística
- Director de plantación
- Jefe de producción

Los recursos de hardware y software fueron:

3.2.1 Hardware

El hardware utilizado en las diferentes fases fue:

1. Sistemas de Información Geográfica
 - a. Estación de trabajo
 - i. Procesador: Intel 7
 - ii. RAM: 8 GB
 - iii. ROM: 1 TB
 - b. GPS navegador de precisión
 - i. Bandas: L1
 - ii. Precisión con corrección: 1 metro

2. Aplicativo Web
 - a. Computador servidor
 - i. Procesador: Intel 7
 - ii. RAM: 8 GB
 - iii. ROM: 1 TB
 - b. Computador cliente
 - i. Procesador: Intel 7
 - ii. RAM: 6 GB
 - iii. ROM: 320 GB

3. Sistema de agricultura de precisión

- a. Estación de trabajo
 - i. Procesador: Intel 7
 - ii. RAM: 8 GB
 - iii. ROM: 320 GB

3.2.2 Software

El software utilizado en las diferentes fases del proyecto fue:

- 1. Sistemas de Información Geográfica
 - a. Sistema operativo:
 - i. Microsoft Windows 7
 - b. Diseño asistido por computadora:
 - i. MicroStation V8i
 - c. Sistema de Información Geográfica:
 - i. ArcGIS 10.2
 - d. Diseño lógico:
 - i. PowerDesigner 13.0
 - e. Utilitarios:
 - i. Microsoft Office Professional plus 2013
- 2. Aplicativo Web
 - a. Sistema operativo:
 - i. Microsoft Windows 7

- b. Sistema de Información Geográfica:
 - i. ArcGIS 10.2
- c. Utilitarios:
 - i. Microsoft Office Professional plus 2013
- d. Plataforma:
 - i. Open Geo Suite 4.5
- e. Estilos:
 - i. Kosmos 3.0

3. Sistema de agricultura de precisión

- a. Utilitarios:
 - i. Microsoft Office Professional plus 2013

3.3 Sistema de Información Geográfica

La parte central de la tesis consiste en el desarrollo del Sistema de Información Geográfica, para lo cual se definió un proceso que garantice la elaboración de una base de datos geográfica como producto final.

3.3.1 Establecimiento de requisitos

La parte inicial y más importante del desarrollo del Sistema de Información Geográfica fue el establecimiento de requisitos del sistema por parte de la empresa, específicamente por parte de su Gerente general, Gerente de

producción y Coordinador agrícola. Para llevar esto a cabo, fue necesario establecer reuniones individuales y finalmente una reunión conjunta y establecer los requerimientos.

Se elaboró un cronograma de reuniones de la siguiente manera:

Cuadro 4. Cronograma de reuniones con Gerencia

| Fecha | Hora | Lugar | Directivo | Tema |
|------------|-------|--|---|---|
| 2014/04/07 | 10:00 | Oficina del Gerente general | Gerente general | Explicación del proyecto. Autorización de acceso a la información. Establecimiento de requerimientos generales. |
| 2014/04/14 | 10:00 | Oficina del Gerente de producción | Gerente de producción | Explicación del proyecto. Establecimiento de requerimientos. |
| 2014/04/21 | 08:00 | Oficina del Coordinador agrícola | Coordinador agrícola | Explicación del proyecto. Establecimiento de requerimientos. |
| 2014/04/28 | 09:00 | Sala de reuniones de la gerencia general | Gerente general, Gerente de producción y Coordinador agrícola | Unificación de criterios. Establecimiento de compromisos. |

Durante la primera reunión establecida con el Gerente general se obtuvo:

- Autorización:

- Para utilizar la información de producción de la empresa con el compromiso de no utilizar el nombre de la empresa en el desarrollo de la tesis.
- Acceso integral a las instalaciones de la empresa.
- Requerimientos generales:
 - Actualizar la información existente.
 - Visualizar la información de la plantación

Durante la segunda reunión establecida con el Gerente de producción se obtuvo:

- Requerimientos:
 - Estructuración de la información alfanumérica.
 - Actualización de la información cartográfica.
 - Sistemas de visualización de información cartográfica.
 - Interrelación entre información alfanumérica y cartográfica.
 - Identificación de problemas en la plantación.
 - Visualizar la información de producción de la plantación.

Durante la tercera reunión establecida con el Coordinador agrícola se obtuvo:

- Requerimientos:
 - Tener la información disponible y que sea fácil su acceso.
 - Identificar los problemas de suelo y agua de la plantación.
 - Determinar la incidencia de problemas fitosanitarios.
 - Visualizar la información.

En la cuarta reunión se establecieron compromisos, sobre los cuales la tesis fue desarrollada, estos compromisos fueron:

Cuadro 5. Compromisos para el desarrollo de la tesis

| Persona a cargo | Compromiso |
|------------------------|---|
| Gerente general | Garantizar el acceso total a la información y recursos necesarios para la elaboración del proyecto. |
| Gerente de producción | Vincular los equipos necesarios para la entrega de información y los mecanismos de entrega de información y recursos. |
| Coordinador agrícola | Coordinar con el tesista y la dirección de plantación las visitas necesarias. |
| Tesista | Cumplir con la tabla de requerimientos del Sistema de Información Geográfica que se especifican en el cuadro 6. |

Los requerimientos finales establecidos y acordados con la empresa fueron:

Cuadro 6. Requisitos del sistema

| |
|---|
| Actualizar la información geográfica y alfanumérica de la plantación. |
| Desarrollar una base de datos geográfica para garantizar el acceso y cuidado de los datos. |
| Generar un mecanismo para que gerencia visualice y analice la información geoespacial de la plantación. |
| Diseñar un sistema de agricultura de precisión que pueda ser aplicado a futuro por la empresa y que funcione con el Sistema de Información Geográfica generado. |
| A pesar que fue un requerimiento el mapa parcelario a nivel de palma, debido a la densificación de palmas en la plantación, para esta tesis no fue considerada su realización a este nivel, únicamente llegando a nivel de parcela; pero este nivel solicitado se ejecutará a futuro. |

Con estos requisitos, se procedió a trabajar en la ejecución del proyecto.

3.3.2 Recopilación de información

La información obtenida por parte de la empresa incluye información geográfica y alfanumérica que no era utilizada continuamente a pesar que los registros alfanuméricos se registraban continuamente debido a los requerimientos del sistema de gestión calidad de la empresa.

La información cartográfica se encontraba en formato CAD y poseía actualizaciones en una versión impresa con modificaciones realizadas con esferos y pinturas. Los datos obtenidos de fuentes digitales de la empresa correspondían a la información cartográfica de la misma, en la cual se ubicaban sus parcelas como se indica en la figura 1.

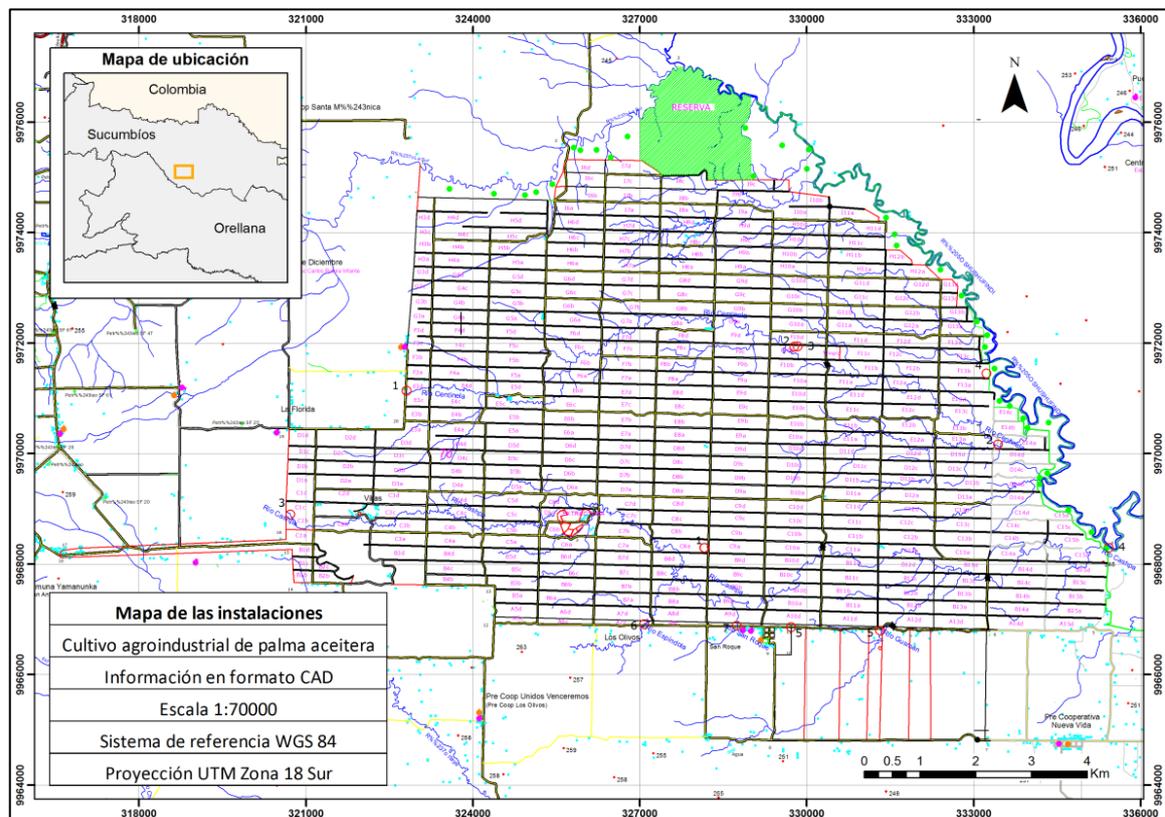


Figura 1. Mapa parcelario de la empresa en formato CAD

A través de este mapa se pudo obtener la información geográfica de las variables:

- Eje vial
- Límite
- Vivero
- Villas
- Vías
- Pantanos artificiales
- Oficinas
- Mulerías
- Extractora
- Compostera
- Reserva
- Parcelas

Con respecto a la información alfanumérica se obtuvieron datos en tablas de Microsoft Excel que no seguían una planificación ni un orden adecuado como se visualiza en la figura 2.

| | A | B | C | D | E | F | G | H |
|----|------------|---------|------|------------|---------------|-------------|--------------|------------|
| 1 | Fecha | Parcela | Edad | Producción | Problemas | Responsable | Vía asignada | Estado vía |
| 2 | 05/01/2013 | B3d | 2006 | 34.74 | N/A | Juan | 13A | Bien |
| 3 | 12/01/2013 | B3d | 2006 | 30.34 | N/i | Juan | 13A | bien |
| 4 | 19/01/2013 | B3d | 2006 | 34.67 | ninguno | Juan | 15A | bien |
| 5 | 26/01/2013 | B3d | 2006 | 35.25 | no hay | Juan | 15A | bache |
| 6 | 02/02/2013 | B3d | 2006 | 31.84 | sin problemas | Juan | 13A | bache |
| 7 | 09/02/2013 | B3d | 2006 | 27.52 | parece sagal | Carlos | 13A | bien |
| 8 | 16/02/2013 | B3d | 2006 | 39.91 | sagalasa | Carlos | 15A | Bien |
| 9 | 23/02/2013 | B3d | 2006 | 34.14 | salgalaza | Carlos | 15A | mal |
| 10 | 02/03/2013 | B3d | 2006 | 39.33 | Sagaaza | Juan | 13A | mal |
| 11 | 09/03/2013 | B3d | 2006 | 27.45 | N/i | Carlos | 13A | Mal |
| 12 | 16/03/2013 | B3d | 2006 | 37.34 | boro | Carlos | 15A | gravilla |
| 13 | 23/03/2013 | B3d | 2006 | 31.66 | boro | Juan | 15A | mal |
| 14 | 30/03/2013 | B3d | 2006 | 40.25 | Boro | Juan | 13A | mal |
| 15 | 06/04/2013 | B3d | 2006 | 32.84 | N/a | Luis | 13A | Gravilla |
| 16 | 13/04/2013 | B3d | 2006 | 34.52 | N/A | Luis | 15A | Bache |
| 17 | 20/04/2013 | B3d | 2006 | 36.97 | N/a | Luis | 15A | Bache |
| 18 | 27/04/2013 | B3d | 2006 | 41.13 | N/a | Juan | 13A | bien |
| 19 | 04/05/2013 | B3d | 2006 | 39.33 | potasio | Carlos | 13A | bien |
| 20 | 11/05/2013 | B3d | 2006 | 40.74 | potasio | Carlos | 15A | Bien |
| 21 | 18/05/2013 | B3d | 2006 | 39.71 | potasio | Juan | 15A | bien |
| 22 | 25/05/2013 | B3d | 2006 | 40.66 | Parece PC | Juan | 13A | bien |
| 23 | 01/06/2013 | B3d | 2006 | 29.49 | Anillo rojo | Luis | 13A | bache |
| 24 | 08/06/2013 | B3d | 2006 | 33.84 | Anillo rojo | Luis | 15A | bache |
| 25 | 15/06/2013 | B3d | 2006 | 29.52 | catiónico | Luis | 15A | bien |
| 26 | 22/06/2013 | B3d | 2006 | 33.91 | cationico | Juan | 12B | Bien |
| 27 | 29/06/2013 | B3d | 2006 | 36.65 | magnesio | Juan | 12B | mal |
| 28 | 06/07/2013 | B3d | 2006 | 30.33 | magnesio | Juan | 6C | Gravilla |
| 29 | 13/07/2013 | B3d | 2006 | 31.91 | N/A | Juan | 6C | Bache |
| 30 | 20/07/2013 | B3d | 2006 | 34.13 | N/A | Juan | 6C | Bache |

Figura 2. Datos alfanuméricos de la plantación

Con estos datos se puede obtener información que se podrá enlazar con los datos geográficos de:

- Vías
- Mulerías
- Parcelas

3.3.3 Modelo cartográfico

Con la información geoespacial y alfanumérica obtenida de la plantación, se procedió a elaborar el modelo cartográfico para obtener el Sistema de Información Geográfica como se visualiza en el diagrama 3.

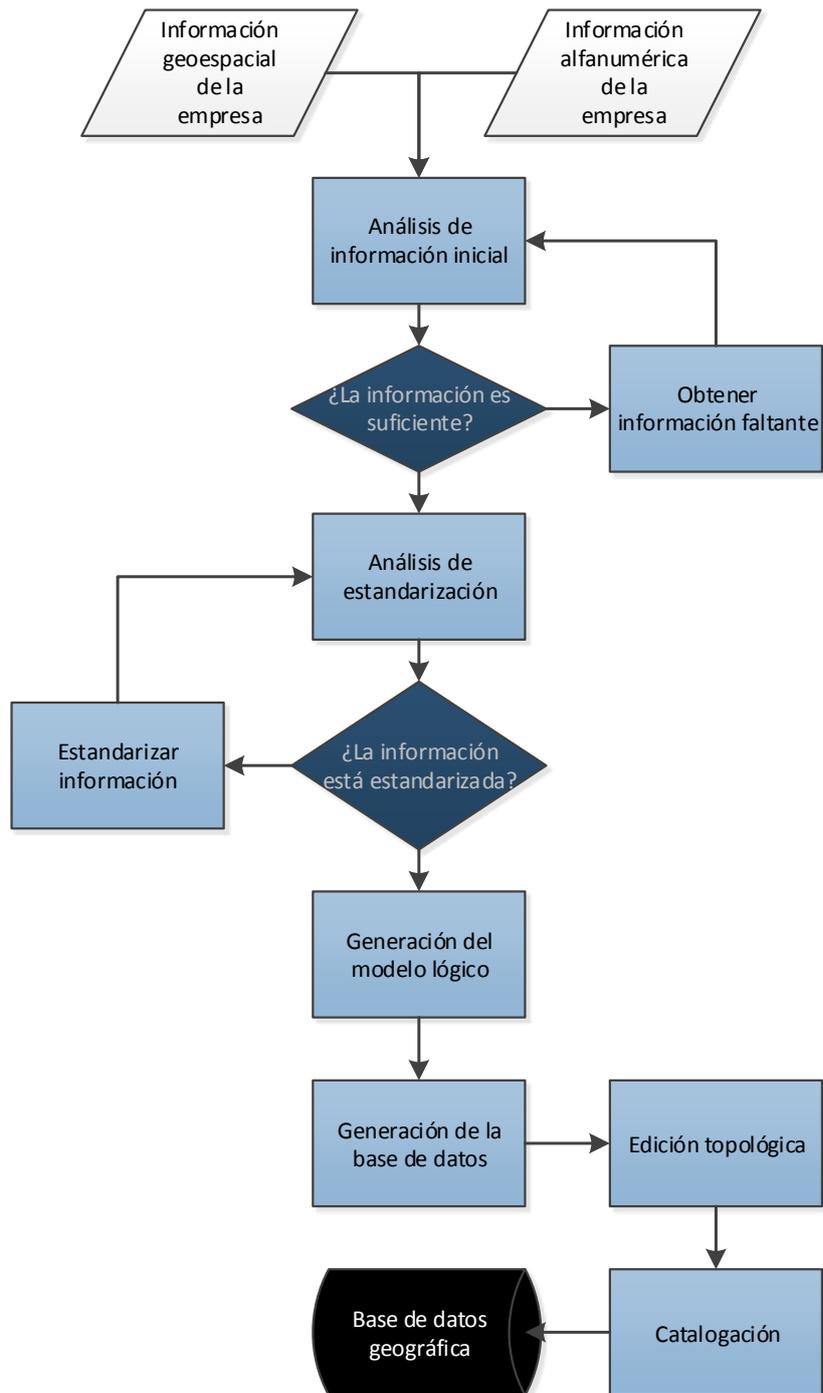


Diagrama 3. Modelo cartográfico del Sistema de Información Geográfica

3.3.4 Levantamiento y estandarización de la información

La información faltante para completar el Sistema de Información Geográfica, se clasificó de dos tipos de fuentes de las cuales podía ser obtenida la información, estas fueron:

- Cartografía nacional liberada
- Datos a levantar en campo

La cartografía nacional liberada que se utilizó, proviene de tres fuentes dependiendo de la temática especializada clasificada en:

- Cartografía básica
- Mapas climatológicos
- Mapa de aptitud de suelo

La cartografía básica se obtuvo de la cartografía a escala 1:50000 liberada por el Instituto Geográfico Militar (IGM), correspondiente a la carta topográfica Shushufindi, como se visualiza en la figura 3.

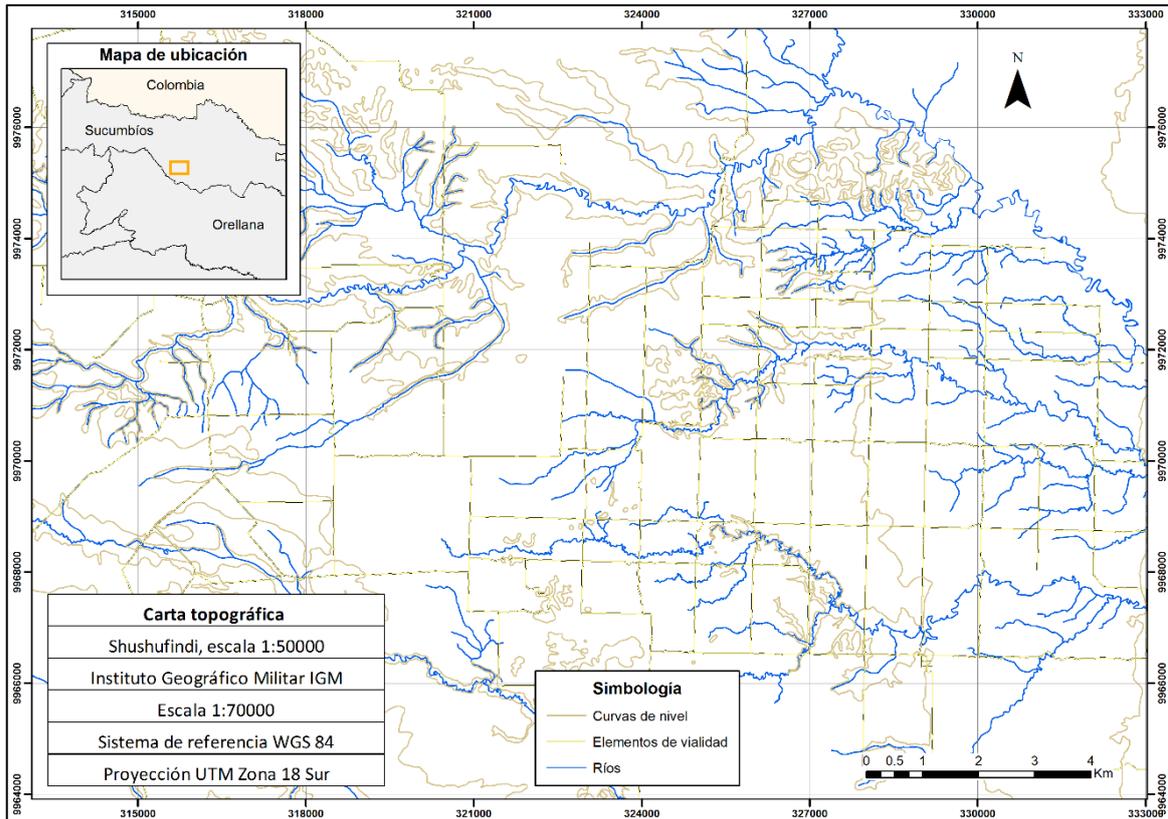


Figura 3. Carta topográfica 1:50000 de Shushufindi

De esta carta topográfica, se obtuvo la información geoespacial de la variable:

- Ríos

Los mapas climatológicos se obtuvieron de la información liberada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), estos mapas corresponden a los mapas de precipitación y temperatura a escala 1:250000, como se visualiza en las figuras 4 y 5.

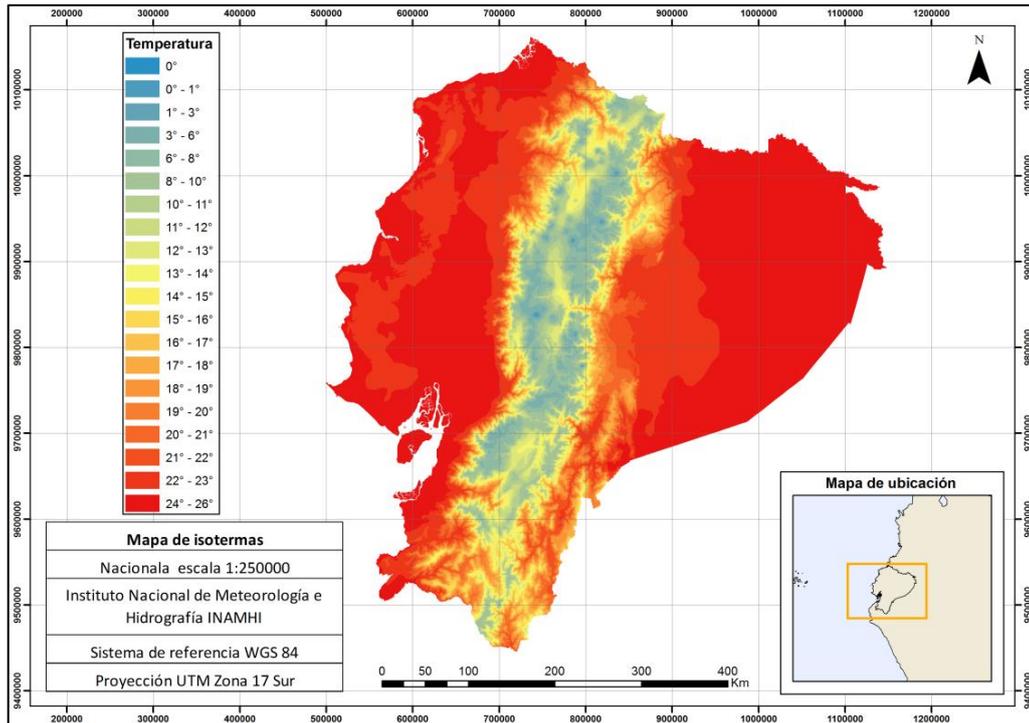


Figura 4: Mapa de isotermas del Ecuador a escala 1:250000

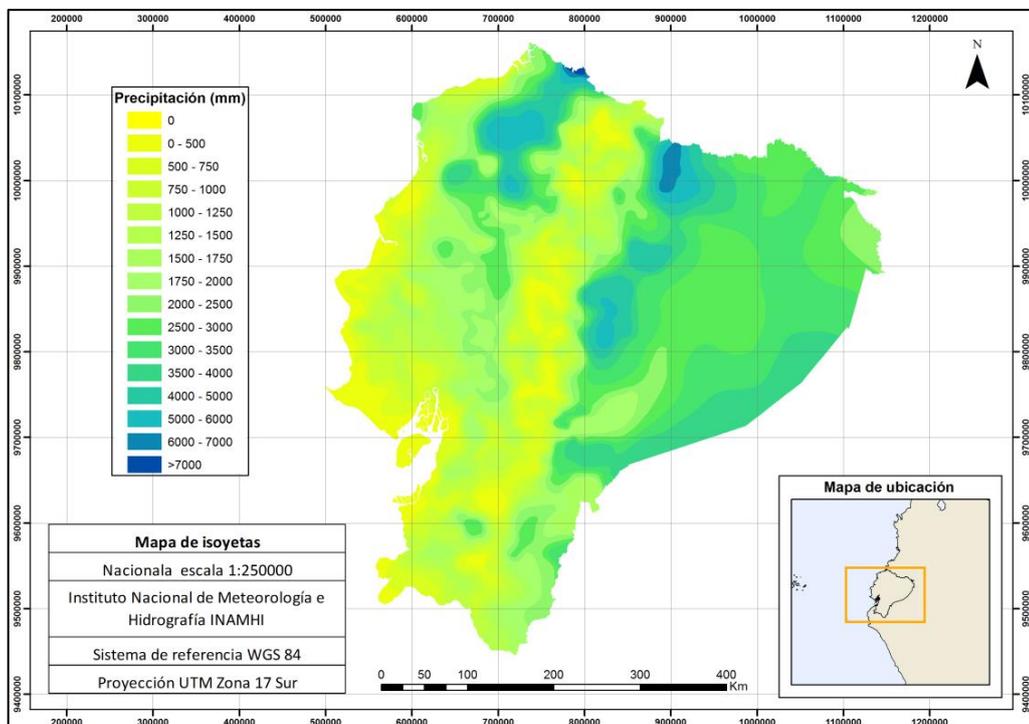


Figura 5: Mapa de isoyetas del Ecuador a escala 1:250000

Con estos mapas se obtuvo la información geoespacial de las variables:

- Temperatura
- Precipitación

El mapa de aptitud de suelo se obtuvo de la información liberada por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) a escala 1:250000, como se visualiza en la figura 6.

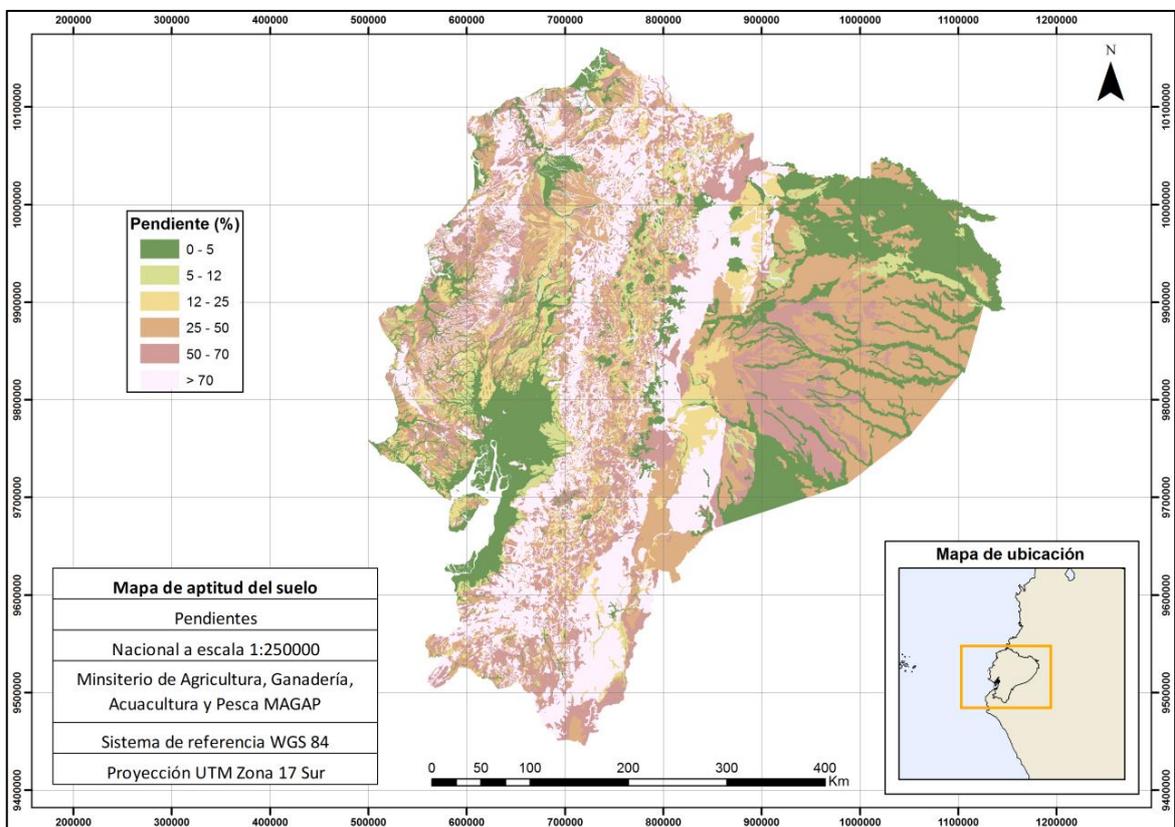


Figura 6. Mapa de aptitud del suelo del Ecuador a escala 1:250000

Con esta información se obtuvieron las variables:

- Pendiente
- pH
- Materia orgánica
- Nivel freático
- Fertilidad

Se levantaron datos en campo, utilizando un equipo GPS portátil con banda L1, los datos se levantaron fueron:

- Trampas para plagas
- Puntos de muestreo de agua
- Puntos de muestreo de suelo
- Centro de almacenamiento de combustible
- Centros de acopio de residuos
- Pozos sépticos
- Bodega de agroquímicos
- Centro de mantenimiento de maquinarias

La figura 7, permite observar los datos levantados en campo y que completan la formación necesaria para el sistema.

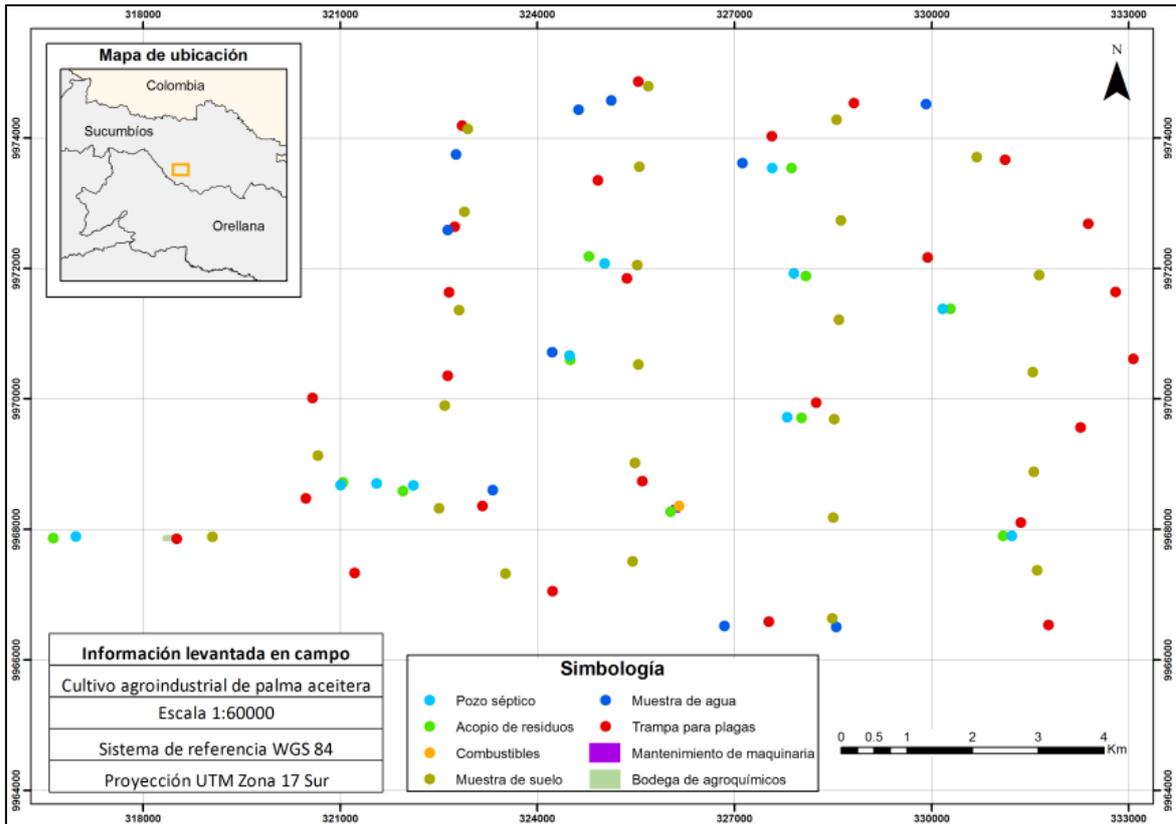


Figura 7. Datos levantados en campo

Una vez levantada la información geográfica de la plantación de palma aceitera, fue necesario generar tablas para almacenar los datos alfanuméricos vinculados; estas tablas se basaron en la información recopilada previamente en los registros digitales y escritos de la plantación.

Fue necesario considerar en la creación de estas tablas el campo a ser utilizado como clave primaria para vincular los datos geográficos con los datos alfanuméricos, la tabla 1 indica el registro generado para las villas.

| VILLAS | STATUS | FOOD | MONTH | YEAR |
|--------|--------|------|-------|------|
| VIL1 | | | | |

Tabla 1. Registro de datos de las villas

La Tabla 2 indica el registro generado para los datos de los centros de combustible:

| COMBUSTIBL | STATUS | MONTH | YEAR |
|------------|--------|-------|------|
| C1 | | | |

Tabla 2. Registro de datos de combustible

La Tabla 3 indica el registro generado para los datos de la compostera:

| COMPOST | QUAN_1 | STA_1 | QUAN_2 | STA_2 | QUAN_3 | STA_3 | MONTH | YEAR |
|---------|--------|-------|--------|---------|--------|---------|-------|------|
| COM1 | | ready | | process | | started | | |

Tabla 3. Registro de datos de la compostera

La Tabla 4 indica el registro generado para los datos de maquinaria:

| MAQUINA | QUAN_1 | STAT_1 | QUAN_2 | STAT_2 | TOTAL | MONTH | YEAR |
|---------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|------|
| MA1 | | ready | | repair | 0 | | |

Tabla 4. Registro de datos de maquinaria

La Tabla 5 indica el registro generado para los datos de reservas forestales:

| RESERVA | MONITOR | MONTH | YEAR |
|---------|---------|-------|------|
| RES1 | | | |
| RES2 | | | |
| RES3 | | | |
| RES4 | | | |
| RES5 | | | |
| RES6 | | | |

Tabla 5. Registro de datos de reserva forestal

La Tabla 6 indica el registro generado para los datos de oficinas:

| OFICINA | QUAN_1 | TYPE_1 | QUAN_2 | TYPE_2 | TOTAL | MONTH | YEAR |
|---------|--------|----------------|--------|--------|-------|-------|------|
| OF1 | | administrative | | farmer | 0 | | |
| OF2 | | administrative | | farmer | 0 | | |
| OF3 | | administrative | | farmer | 0 | | |

Tabla 6. Registro de datos de oficinas

La Tabla 7 indica el registro generado para los datos de parcelas:

| NOMBRE | YEAR_PLA | PRODUCTION | ILLNESS | MONTH | YEAR |
|--------|----------|------------|---------|-------|-------|
| A5c | 2005 | | | | |
| A5d | 2005 | | | | |
| A6c | 2005 | | | | |
| A6d | 2005 | | | | |
| A7c | 2005 | | | | |
| A7d | 2005 | | | | |
| A8c | 2005 | | | | |
| A8d | 2005 | | | | |
| A9c | 2005 | | | | |
| A9d | 2005 | | | | |
| A10d | 2005 | | | | |
| A11d | 2005 | | | | |
| A12d | 2005 | | | | |
| A13d | 2005 | | | | |
| A14d | 2005 | | | | |
| A15d | 2005 | | | | |
| B1b | 2006 | | | | |
| B1c | 2006 | | | | |
| B1d | 2006 | | | | |
| B2b | 2006 | | | | |
| B2c | 2006 | | | | |
| B2d | 2006 | | | | |
| B3c | 2006 | | | | |
| B3d | 2006 | | | | |
| | | | | | |
| I10c | 2002 | | | | |
| I11a | 2002 | | | | |

Tabla 7. Registro de datos de parcelas

La Tabla 8 indica el registro generado para los datos de pozos sépticos:

| POZO_S | STATUS | MONTH | YEAR |
|--------|--------|-------|------|
| OF1 | | | |
| VIL1 | | | |
| VIL2 | | | |
| VIV1 | | | |
| MUL1 | | | |
| MUL2 | | | |
| MUL3 | | | |
| MUL4 | | | |
| MUL5 | | | |
| MUL6 | | | |
| MUL7 | | | |

Tabla 8. Registro de datos de pozos sépticos

La Tabla 9 indica el registro generado para los datos de tramos de vía:

| TRAMO | STATUS | MAINT | MONTH | YEAR |
|-------|--------|-------|-------|------|
| 1A | | | | |
| 2A | | | | |
| 2B | | | | |
| 2C | | | | |
| 2D | | | | |
| 2E | | | | |
| 2F | | | | |
| 2G | | | | |
| 2H | | | | |
| 2I | | | | |
| 2J | | | | |
| 2K | | | | |
| 3A | | | | |
| 3B | | | | |
| 3C | | | | |
| 3D | | | | |
| 3E | | | | |

Tabla 9. Registro de datos de tramos de vía

La Tabla 10 indica el registro generado para las muestras de suelos:

| SUELO | N | P | K | Mg | Ca | S | MONTH | YEAR |
|-------|---|---|---|----|----|---|-------|------|
| S1 | | | | | | | | |
| S2 | | | | | | | | |
| S3 | | | | | | | | |
| S4 | | | | | | | | |
| S5 | | | | | | | | |
| S6 | | | | | | | | |
| S7 | | | | | | | | |
| S8 | | | | | | | | |
| S9 | | | | | | | | |
| S10 | | | | | | | | |
| S11 | | | | | | | | |
| S12 | | | | | | | | |
| S13 | | | | | | | | |
| S14 | | | | | | | | |
| S15 | | | | | | | | |
| S16 | | | | | | | | |
| S17 | | | | | | | | |
| S18 | | | | | | | | |
| S19 | | | | | | | | |
| S20 | | | | | | | | |
| S21 | | | | | | | | |
| S22 | | | | | | | | |
| S23 | | | | | | | | |
| S24 | | | | | | | | |
| S25 | | | | | | | | |
| S26 | | | | | | | | |
| S27 | | | | | | | | |
| S28 | | | | | | | | |

Tabla 10. Registro de datos de muestras de suelos

La Tabla 11 indica el registro generado para los datos de mulerías:

| MULERIA | QUAN_1 | STAT_1 | QUAN_2 | STAT_2 | TOTAL | MONTH | YEAR |
|---------|--------|---------|--------|--------|-------|-------|------|
| MUL1 | | healthy | | sick | 0 | | |
| MUL2 | | healthy | | sick | 0 | | |
| MUL3 | | healthy | | sick | 0 | | |
| MUL4 | | healthy | | sick | 0 | | |
| MUL5 | | healthy | | sick | 0 | | |
| MUL6 | | healthy | | sick | 0 | | |
| MUL7 | | healthy | | sick | 0 | | |

Tabla 11. Registro de datos de mulerías

La Tabla 12 indica el registro generado para los datos de trampas de plagas:

| TRAMPA | COUNT | PLAGUE | MONTH | YEAR |
|--------|-------|--------|-------|------|
| T1 | | | | |
| T2 | | | | |
| T3 | | | | |
| T4 | | | | |
| T5 | | | | |
| T6 | | | | |
| T7 | | | | |
| T8 | | | | |
| T9 | | | | |
| T10 | | | | |
| T11 | | | | |
| T12 | | | | |
| T13 | | | | |
| T14 | | | | |
| T15 | | | | |
| T16 | | | | |
| T17 | | | | |
| T18 | | | | |
| T19 | | | | |
| T20 | | | | |

Tabla 12. Registro de datos de trampas de plagas

La Tabla 13 indica el registro generado para los datos de vivero:

| VIVERO | COUNT_1 | TYPE_1 | COUNT_2 | TYPE_2 | COUNT_3 | TYPE_3 | MONTH | YEAR |
|--------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|-------|------|
| VIV1 | | ready | | process | | started | | |
| VIV2 | | ready | | process | | started | | |

Tabla 13. Registro de datos de vivero

La Tabla 14 indica el registro generado para los datos de bodega:

| BODEGA | AGRO | FERT | MONTH | YEAR |
|--------|------|------|-------|------|
| B1 | | | | |

Tabla 14. Registro de datos de bodega

La Tabla 15 indica el registro generado para los datos de residuos:

| RESIDUO | TYPE_1 | WEIGHT_1 | TYPE_2 | WEIGHT_2 | TYPE_3 | WIGHT_3 | TOTAL | MONTH | YEAR |
|---------|--------|----------|--------|----------|--------|---------|-------|-------|------|
| R1 | | | | | | | 0 | | |
| R2 | | | | | | | 0 | | |
| R3 | | | | | | | 0 | | |
| R4 | | | | | | | 0 | | |
| R5 | | | | | | | 0 | | |
| R6 | | | | | | | 0 | | |
| R7 | | | | | | | 0 | | |
| R8 | | | | | | | 0 | | |
| R9 | | | | | | | 0 | | |
| R10 | | | | | | | 0 | | |
| R11 | | | | | | | 0 | | |

Tabla 15. Registro de datos de residuos

La Tabla 16 indica el registro generado para los datos de muestras de agua:

| MUESTRA | pH | COD | BOD | OD | MONTH | YEAR |
|---------|----|-----|-----|----|-------|------|
| 1E | | | | | | |
| 1S | | | | | | |
| 2E | | | | | | |
| 2S | | | | | | |
| 3E | | | | | | |
| 3S | | | | | | |
| 4E | | | | | | |
| 4S | | | | | | |
| 5E | | | | | | |
| 6E | | | | | | |
| 7E | | | | | | |
| 7S | | | | | | |

Tabla 16. Registro de datos de muestras de agua

Para que el Sistema funcione se necesita que sus componentes sean compatibles, es decir toda la información geográfica debe estar estandarizada, por tal motivo se definieron parámetros de estandarización de la información, estos parámetros fueron:

- Sistema de referencia
- Proyección
- Escala
- Modelo

El cuadro 7 indica los parámetros definidos para el sistema:

| Tipo | Parámetro | Observación |
|-----------------------|-------------|------------------------------|
| Sistema de referencia | WGS 84 | Todas las entidades |
| Proyección | UTM Zona 18 | Toda la información |
| Escala | 1:5000 | Para datos de la plantación. |

| | | |
|--------|----------|---------------------------------------|
| | 1:50000 | Para los ríos. |
| | 1:250000 | Para las variables climatológicas. |
| Modelo | Vector | Para todos los datos actuales. |
| | Ráster | Cuando se disponga de la información. |

La recolección de datos se realizó a través de los formatos de registros desarrollados. Se realizó un trabajo diferenciado entre los datos geográficos y alfanuméricos.

Los datos geográficos fueron procesados en el software ArcGIS de ESRI®, como primera actividad se transformaron los datos CAD a formato SHP para lo cual se utilizó la herramienta Feature to Polygon, herramienta que se indica en la figura 8.

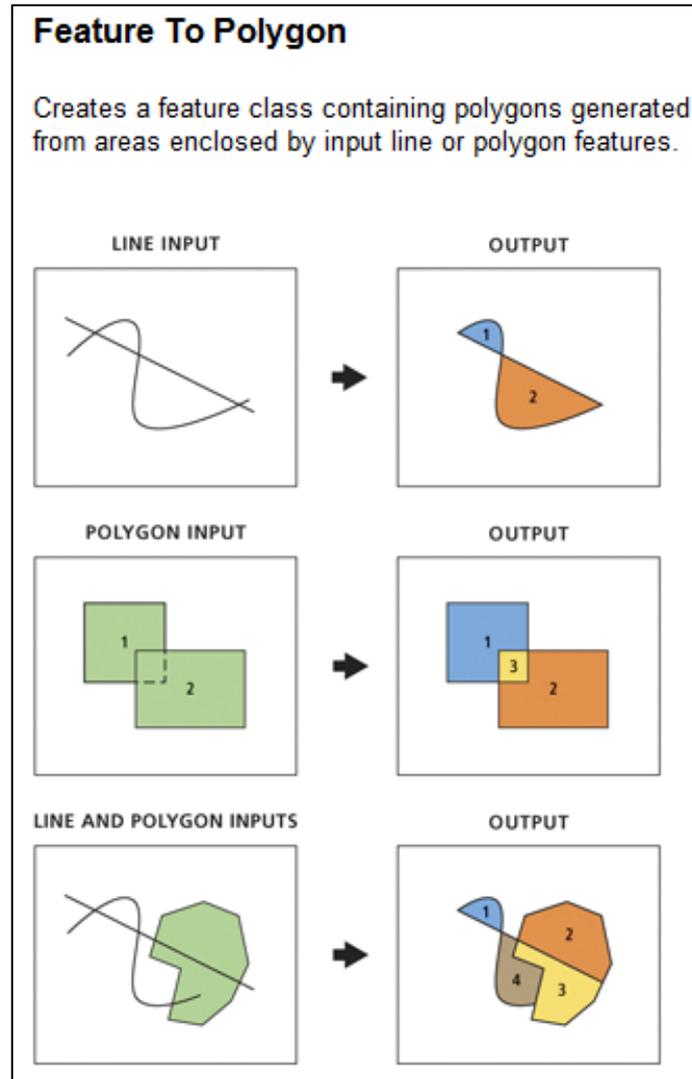


Figura 8. Herramienta Feature to polygon

Fuente: ArcGIS 10.2

Cuando los datos estaban en formato SHP, se los editó de forma manual para cerrar todos los polígonos y se completó la información faltante.

Al tratar de ingresar el sistema de proyección de los datos, se probó con los elipsoides WGS84 y el PSAD56 utilizando la información de hidrografía del IGM, pero no coincidió en ninguno de los dos casos; por tal motivo se utilizó la

herramienta Define Projection y se utilizó la proyección del elipsoide WGS84 que se aproximaba más a la hidrografía base definida en proyección UTM WGS84. Para ajustar los archivos SHP, se utilizó la barra de herramientas Spatial Adjustment, que se indican en la figura 9.

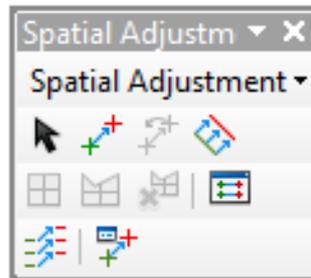


Figura 9. Herramienta Spatial Adjustment

Fuente: ArcGIS 10.2

De esta manera se ajustaron los archivos SHP en la proyección UTM Zona 18 con el sistema de referencia espacial WGS84.

Los ejes viales se generaron a través de la aplicación de la herramienta Collapse Dual Lines to Centerline como se visualiza en la figura 10.

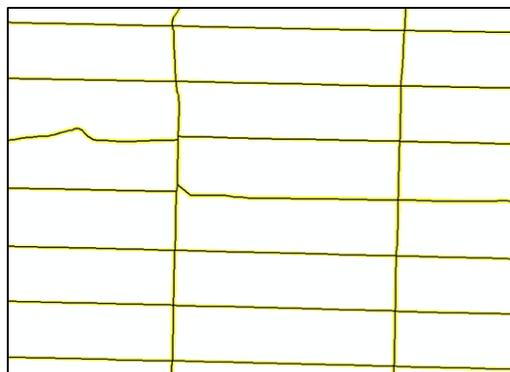


Figura 10. Ejes centrales generados

De esta manera se obtuvo toda la información necesaria de tipo geográfico y alfanumérico de la plantación, que será utilizada para la generación de la base de datos, la figura 11 permite visualizar toda la información en formato SHP.

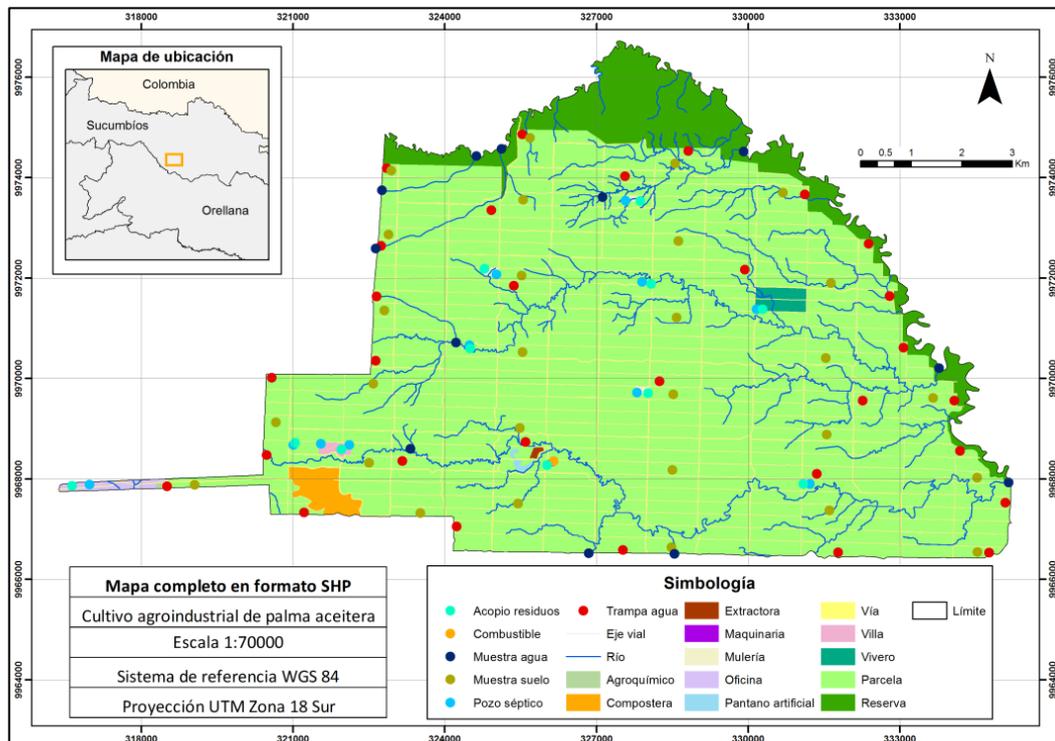


Figura 11. Información en formato SHP

Esta información fue almacenada en una base de datos geográfica temporal que poseía un único Feature Dataset, esto se realizó con la finalidad de poder generar topología a través de ArcCatalog y corregir los errores topológicos existente. Los feature class con mayor cantidad de errores topológicos fueron vías y parcelas. Una vez corregidos los errores topológicos, la información quedó lista para formar parte de la base de datos.

3.3.5 Modelo lógico de datos

Previo a la generación de la base de datos geográfica, fue necesario crear el modelo lógico que esta tendrá, por tal motivo fue importante considerar la forma de agrupación y de relación que tendrán las coberturas levantadas. La base de datos geográfica tendrá una extensión (formato) GDB y estará estructurada de la siguiente manera:

- GDB
 - Conjunto de objetos de datos (Feature Dataset)
 - Clase de objetos (Feature class)

Los archivos en formato SHP son las clases de objetos, que deben ser agrupadas en elementos de un mismo conjunto de objetos de datos y finalmente conformar la base de datos geográfica. El cuadro 8 indica la relación básica definida para la base de datos, considerando su relación.

Cuadro 8. Estructura del modelo lógico de la base de datos geográfica

| GDB | Feature Dataset | Feature Class |
|----------------|-----------------|---------------|
| Palma aceitera | Administrativo | Límite |
| | | Mulerias |
| | | Oficinas |
| | | Villas |
| | Almacenamiento | Agroquímicos |
| | | Combustible |
| | | Maquinaria |
| | Clima | Precipitación |
| | | Temperatura |

| | | |
|--|-----------|-----------------------|
| | Cultivo | Parcelas |
| | | Vivero |
| | Externo | Extractora |
| | | Pantanos artificiales |
| | Monitoreo | Muestras de agua |
| | | Muestras de suelo |
| | | Trampas de plagas |
| | Recursos | Reserva forestal |
| | | Ríos |
| | | Aptitud del suelo |
| | Residuos | Acopio de residuos |
| | | Compostera |
| | | Pozos sépticos |
| | Vialidad | Ejes viales |
| | | Vías |

Con base a la estructura elaborada, se realizó el modelo lógico de la base de datos como se muestra en el diagrama 4.

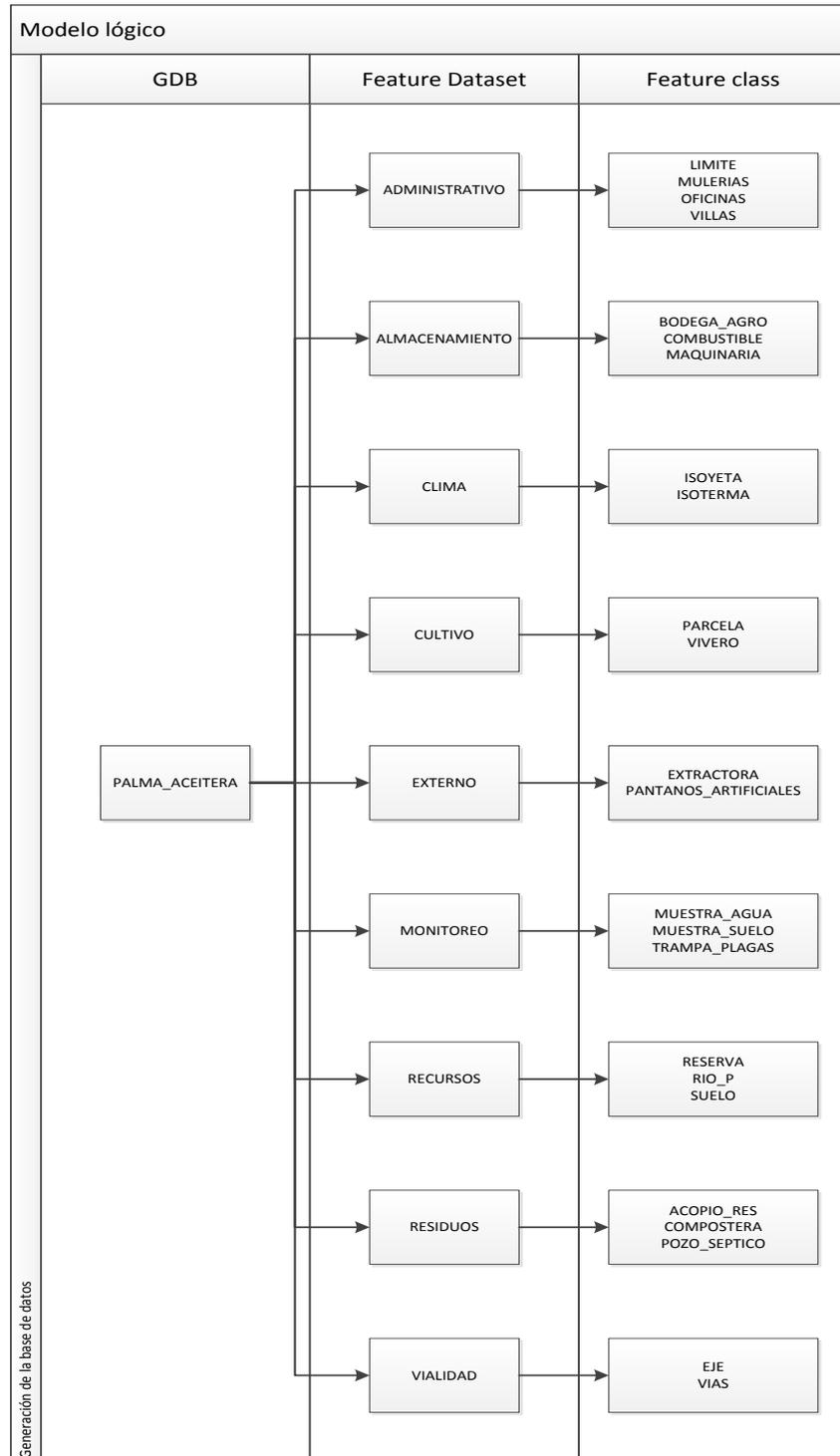


Diagrama 4. Modelo lógico de la base de datos geográfica

3.3.6 Generación de la base de datos geográfica

Una vez que se ha cumplido todo el modelo cartográfico, se procedió a crear la base de datos geográfica utilizando ArcCatalog y basándose en el modelo lógico generado.

Primero se creó la base de datos con sus feature dataset y sus feature class vacíos, luego se procedió a cargar los shapes en los feature class creados. De esta manera se obtuvo la base de datos lista para recibir los datos de actualización de producción y mantenimiento de la plantación a través de tablas de Excel al ejecutar el comando Join tables, de esta manera se pueden analizar y visualizar los datos deseados. Las tablas de Excel serán predefinidas para poder garantizar que los Dominios y Subtipos de la base de datos geográfica se respeten, manteniendo la catalogación de la base.

La figura 12 muestra la base de datos geográfica establecida en ArcGIS.

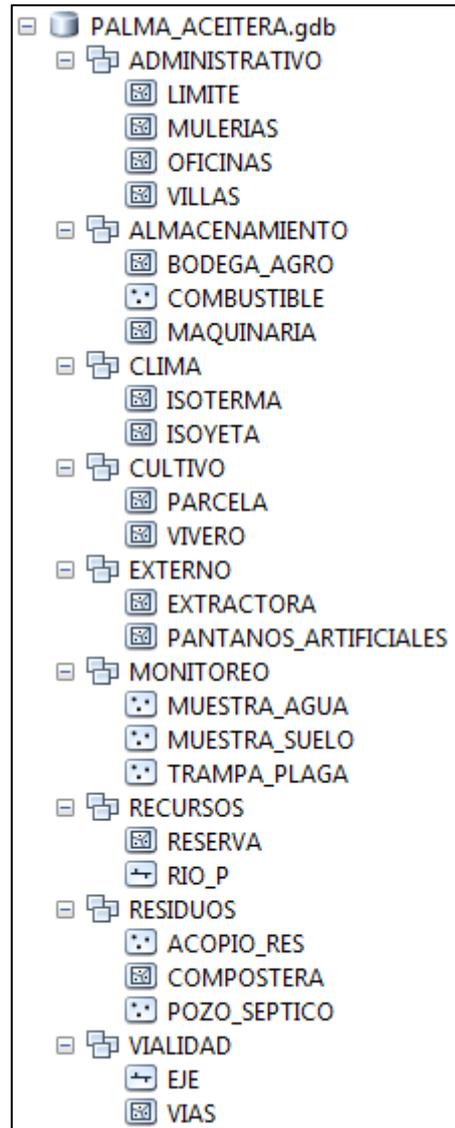


Figura 12. Base de datos geográfica creada

3.4 Aplicativo Web

Ya con la base de datos geográfica actualizada, fue necesario crear un aplicativo Web, para que gerencia pueda acceder a la información geoespacial de la plantación para su análisis y toma de decisiones.

Para desarrollar el aplicativo Web, se seleccionó el software OpenGeo Suite que es una plataforma completa de software geoespacial basada en la Web, contiene aplicaciones como:

- PostGIS
- GeoServer
- GeoWebCache
- GeoExplorer
- QGIS
- Boundless SDK
 - GeoExt
 - OpenLayers

En su versión empresarial OpenGeo incluye el software Composer.

Para descargar la plataforma OpenGeo, fue necesario acceder a la página Web www.boundlessgeo.com y registrarse como lo indica la figura 13.

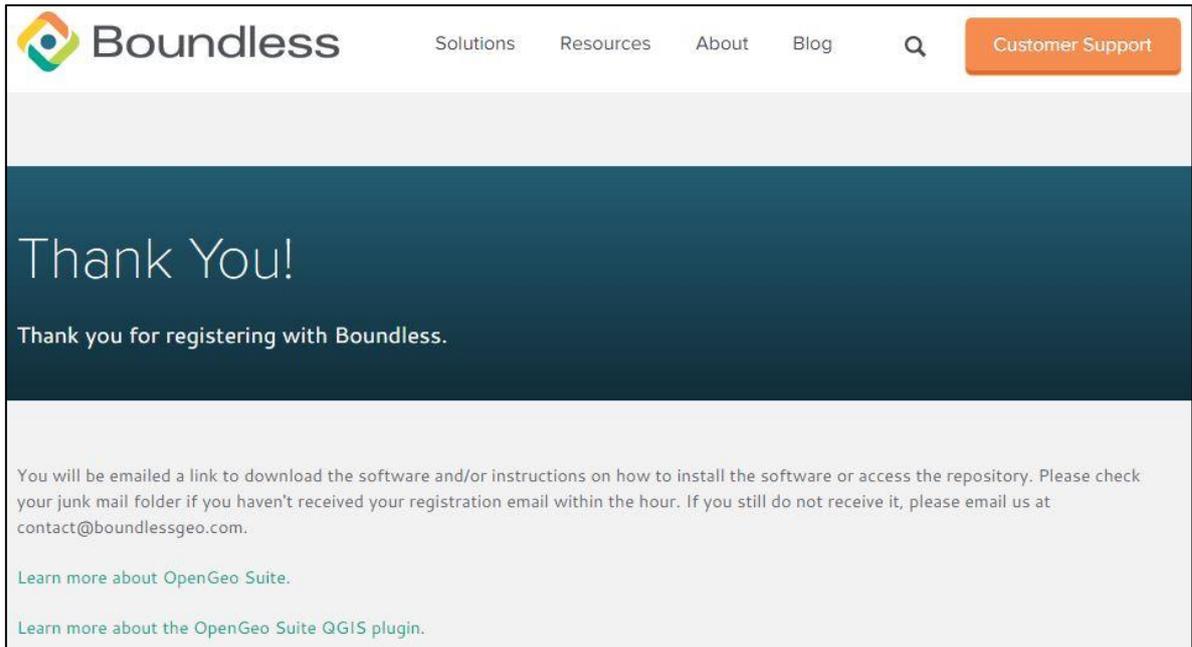


Figura 13. Confirmación de registro en Boundless

Después un correo electrónico fue enviado por parte de la empresa en el cual incluyen el link para la descarga del instalador de OpenGeo Suite que tiene un peso de 374 MB. De esta manera se procedió a la descarga del software requerido.

3.4.1 Integración de los componentes del aplicativo

El aplicativo generado fue un aplicativo Web de consulta a través de un visor geográfico, para lo cual la primera parte de integración fue la instalación de la plataforma OpenGeo Suite, como lo indica la Figura 14.

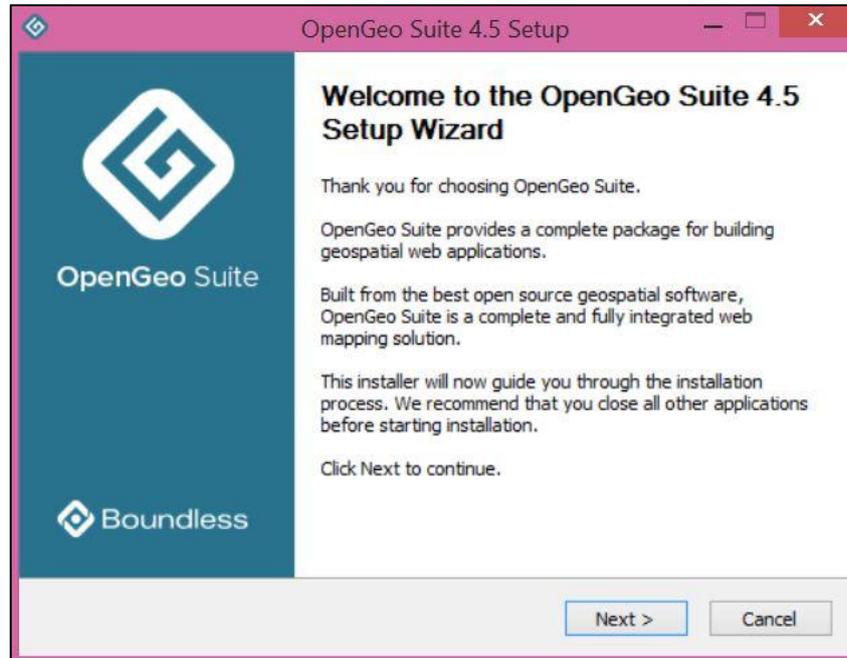


Figura 14. Instalación de la plataforma OpenGeo Suite 4.5

Como siguiente paso, se procede a abrir el panel de la plataforma, donde se pueden observar sus componentes, como se visualiza en la figura 15.

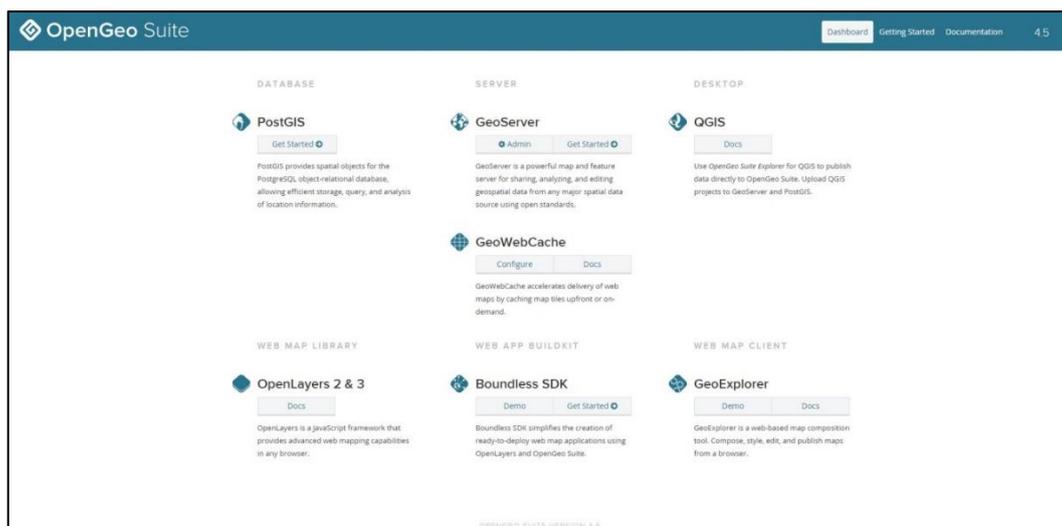


Figura 15. Panel de OpenGeo Suite 4.5

A continuación se procedió a crear el servicio Web de mapas utilizando los feature class de la base de datos geográfica y que estos puedan ser visualizados en una interfaz de usuario Web. Este proceso se crea a partir de GeoServer, para lo cual se deben seguir los siguientes pasos:

1. Ingresar a Geoserver como administrador

- Nombre de usuario: admin
- Contraseña: geoserver

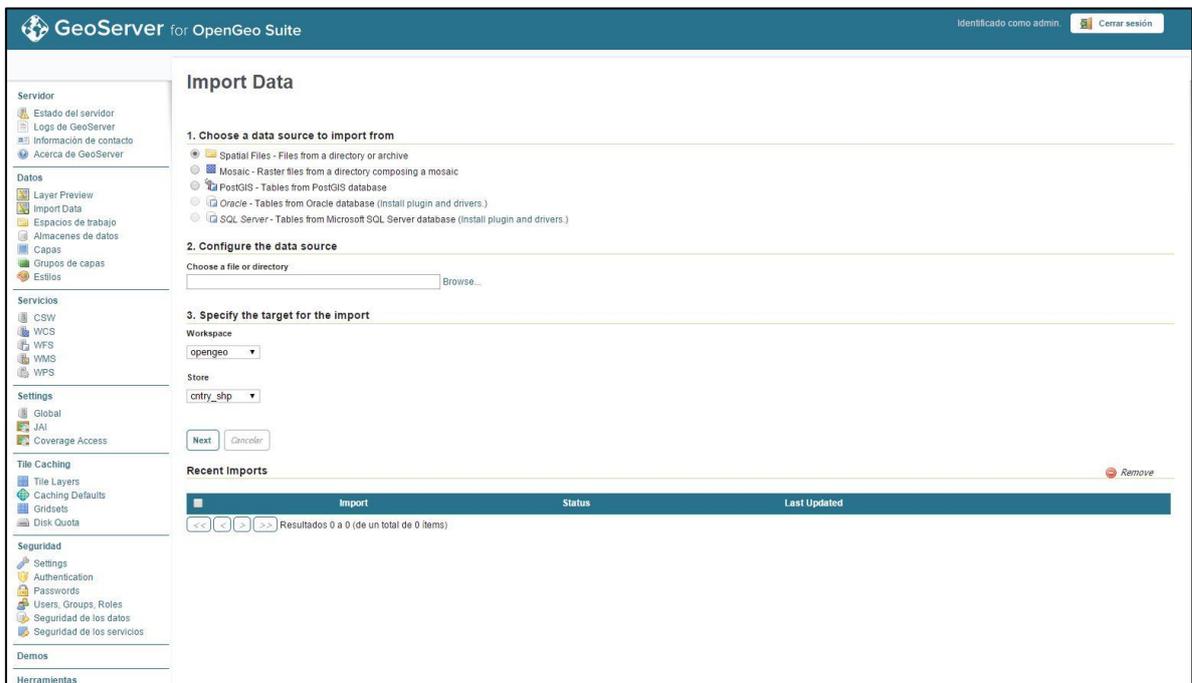


Figura 16. Ingreso a GeoServer

2. Crear un espacio de trabajo

- Es necesario generar un URL específico del trabajo

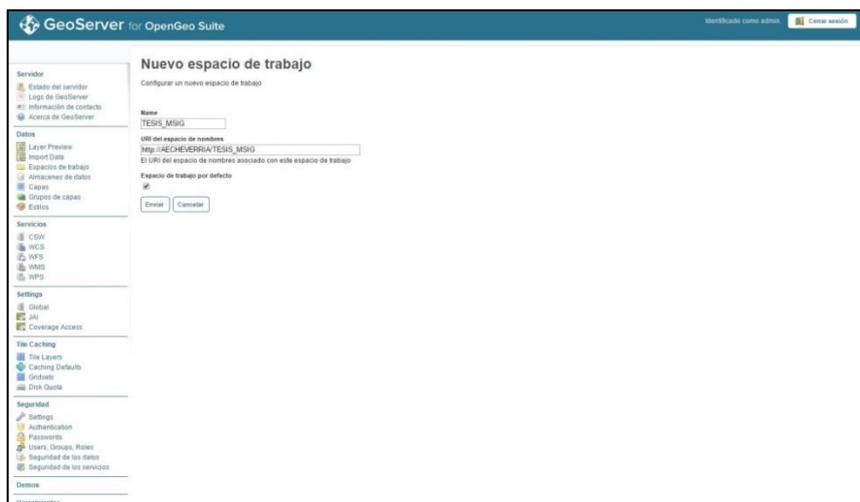


Figura 17. Creación de nuevo espacio de trabajo

3. Crear un almacén de datos

- Permite el ingreso de información cartográfica, incluyendo una descripción de la misma.

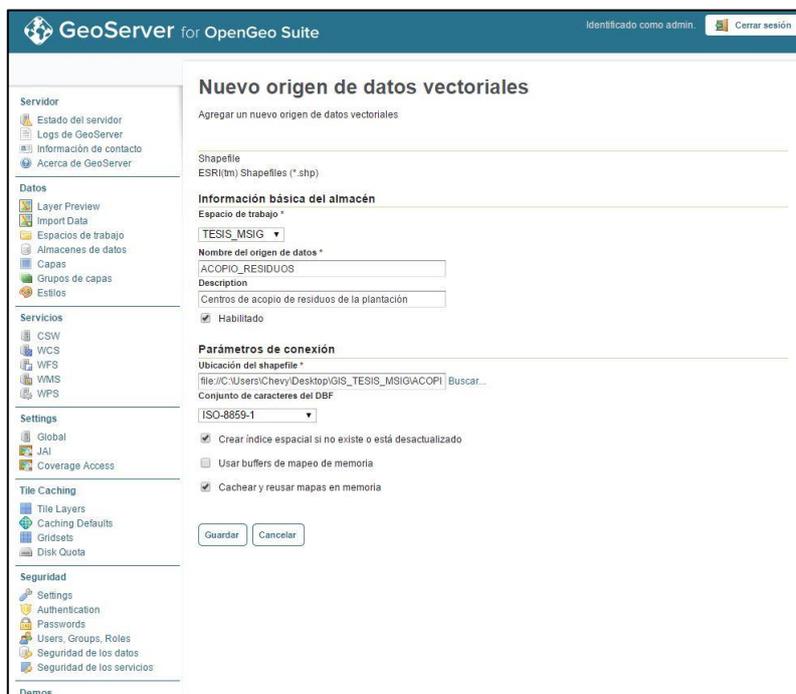


Figura 18. Nuevo almacén de datos

4. Publicar la cobertura

○ Edición de capa

- Se coloca la información básica de la capa que será publicada.
- Se debe definir el sistema de coordenadas de la información.

The screenshot displays the GeoServer administration interface. The main content area is titled 'Editar capa' (Edit Layer) and shows the configuration for a layer named 'TESIS_MSIG:ACOPIO_RES'. The interface includes a left sidebar with navigation menus for 'Servidor', 'Datos', 'Servicios', 'Settings', 'Tile Caching', 'Seguridad', and 'Demos'. The main panel has tabs for 'Datos', 'Publicación', 'Dimensiones', and 'Tile Caching', with 'Publicación' (Publication) selected. Under 'Información básica del recurso' (Basic resource information), the 'Nombre' (Name) is 'ACOPIO_RES', 'Habilitado' (Enabled) and 'Advertised' are checked, and the 'Resumen' (Summary) is 'Centros de acopio de residuos de la plantación'. The 'Palabras clave' (Keywords) section shows 'ACOPIO_RES' as a current keyword. At the bottom, there is a note about metadata links: 'Agregar vínculo Note only FGDC and TC211 metadata links show up in WMS 1.1.1 capabilities'.

Figura 19. Edición de la capa

Herramientas

Powered by Boundless

Sistema de referencia de coordenadas

SRS nativo
[UNKNOWN] WGS_1984_UTM_Zone_18S...

SRS declarado
[EPSC:32718] EPSG:WGS 84 / UTM zone 18S...

Gestión de SRC
[Forzar el declarado] ▼

Encuadres

Encuadre nativo

| Min X | Min Y | Máx X | Máx Y |
|-----------------|------------------|-----------------|------------------|
| 316.631,9997558 | 9.967,862,798473 | 331.089,2476752 | 9.973,536,139747 |

Calcular desde los datos

Encuadre Lat/Lon

| Min X | Min Y | Máx X | Máx Y |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| -76.64767431700 | -0.290652619607 | -76.51779270427 | -0.239327171653 |

Calcular desde el encuadre nativo

Curved geometries control

Linear geometries can contain circular arcs

Linearization tolerance (useful only if your data contains curved geometries)

Detalles del Feature Type

| Propiedad | Tipo | Nulo permitido | Ocurrencias min/máx |
|-----------|---------|----------------|---------------------|
| the_geom | Point | true | 0/1 |
| Id | Integer | true | 0/1 |
| RESIDUO | String | true | 0/1 |

Reload feature type ...

Figura 20. Ingreso de sistema de referencia

5. Vista preliminar

- Se puede visualizar la información cargada en el servidor local

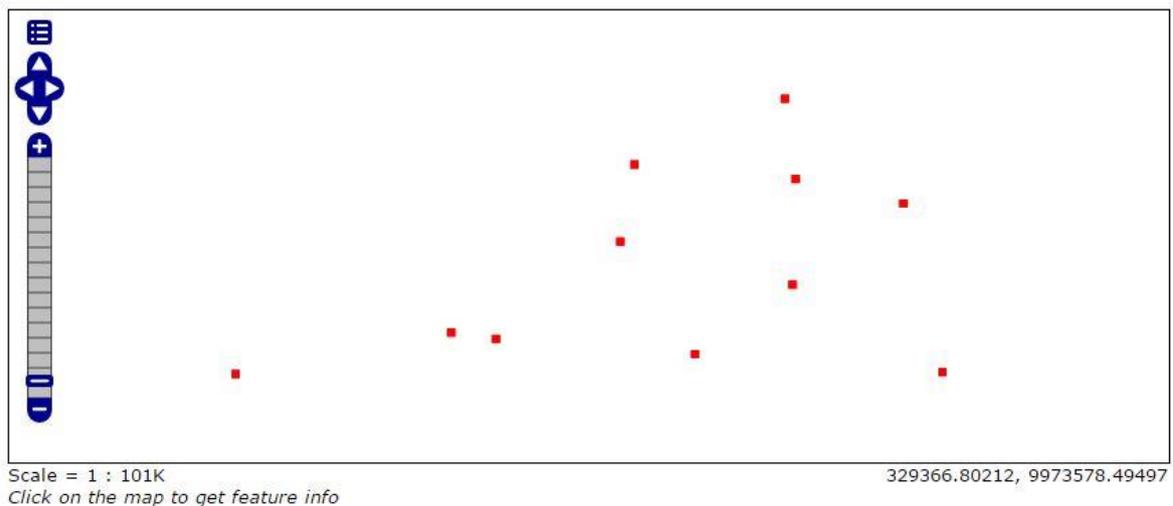


Figura 21. Vista preliminar de la información

6. Repetir el procedimiento para todas las capas

- De esta manera todas las capas quedaron almacenadas en GeoServer para poder utilizarlas a través del aplicativo Web.

| Capas | Título | Acciones |
|--------------------------|---------------|-----------------|
| TESIS_MSIG.BODEGA_AGRO | BODEGA_AGRO | OpenLayers ▼ Go |
| TESIS_MSIG.COMBUSTIBLE | COMBUSTIBLE | OpenLayers ▼ Go |
| TESIS_MSIG.COMPOSTERA | COMPOSTERA | OpenLayers ▼ Go |
| TESIS_MSIG.EJE_VIAL | EJE_VIAL | OpenLayers ▼ Go |
| TESIS_MSIG.EXTRACTORA | EXTRACTORA | OpenLayers ▼ Go |
| TESIS_MSIG.LIMITE | LIMITE | OpenLayers ▼ Go |
| TESIS_MSIG.MAQUINARIA | MAQUINARIA | OpenLayers ▼ Go |
| TESIS_MSIG.MUESTRA_AGUA | MUESTRA_AGUA | OpenLayers ▼ Go |
| TESIS_MSIG.MUESTRA_SUELO | MUESTRA_SUELO | OpenLayers ▼ Go |
| TESIS_MSIG.MULERIAS | MULERIAS | OpenLayers ▼ Go |
| TESIS_MSIG.OFICINAS | OFICINAS | OpenLayers ▼ Go |
| TESIS_MSIG.PANTANOS | PANTANOS | OpenLayers ▼ Go |
| TESIS_MSIG.PARCELA | PARCELA | OpenLayers ▼ Go |
| TESIS_MSIG.RESERVA | RESERVA | OpenLayers ▼ Go |
| TESIS_MSIG.POZO_SEPTICO | POZO_SEPTICO | OpenLayers ▼ Go |
| TESIS_MSIG.ACOPIO_RES | ACOPIO_RES | OpenLayers ▼ Go |
| TESIS_MSIG.RIO_P | RIO_P | OpenLayers ▼ Go |
| TESIS_MSIG.ISOTERMA | ISOTERMA | OpenLayers ▼ Go |
| TESIS_MSIG.ISOYETA | ISOYETA | OpenLayers ▼ Go |
| TESIS_MSIG.TRAMPA_PLAGA | TRAMPA_PLAGA | OpenLayers ▼ Go |
| TESIS_MSIG.VIAS | VIAS | OpenLayers ▼ Go |
| TESIS_MSIG.VILLAS | VILLAS | OpenLayers ▼ Go |
| TESIS_MSIG.VIVERO | VIVERO | OpenLayers ▼ Go |

Figura 22. Todas las capas del Sistema de Información Geográfica cargadas en GeoServer

3.4.2 Diseño de la interfaz de usuario

Para desarrollar la interfaz de usuario, se utilizó el visor de mapas generado por GeoExplorer que forma parte de OpenGeo Suite. GeoExplorer utiliza el formato SLD para los estilos y simbología de las capas a visualizar, por tal motivo fue necesario utilizar un software que permitió la generación de los estilos en formato SLD. Existen varios programas libre que permiten la generación de archivos de

estilo SLD, entre ellos se encuentran Atlas Styler y Kosmos, para el desarrollo de la tesis se utilizó el software Kosmo.

En primer lugar se realizó la descarga del programa Kosmo a través de la página web www.opengis.es como se muestra en la figura 23.

The screenshot shows the homepage of the Kosmo website. At the top, the logo "Kosmo" is displayed in large yellow letters, with the tagline "La Plataforma SIG - Libre Corporativa" below it. To the right, a banner reads "Kosmo Desktop - disponible la versión 3.0 RC1". A blue navigation bar contains links for Inicio, Noticias, Descargas, Pantallas, Videos, Listas de distribución, and Contacta. Below the navigation bar, there are logos for PROFIT and the European Union. Two main buttons are visible: "Inicio de Descargas" (with a house icon) and "Buscar documento" (with a magnifying glass icon). The main content area features a section titled "Kosmo Desktop - Windows" with a sub-header "Kosmo Desktop - Versiones para el sistema operativo Windows". Below this is a "Documentos" section with a table listing download items. The first item is "Versión 3.0 RC1 Portable - Fichero ZIP" (popular!), with 28985 hits and a date of 03.06.2013. The description states it is a portable version compressed in a ZIP file, requiring no installer. The second item is "Versión 2.0.1 - Instalador" (popular!), with 36425 hits and a date of 07.06.2011. The description states it is a full installer version. A sidebar on the right contains a navigation menu with links for Inicio, Noticias, Descargas, Kosmo Desktop, Pantallas, Videos y presentaciones, Enlaces, Listas de distribución, and Contacta. Below the menu is a "Colaboradores" section featuring a logo for "saig" with a globe icon.

Figura 23. Descarga del programa Kosmo

Es importante indicar que el programa no necesita instalación, debido a que su versión 3.0 RC1 es portable a partir de un fichero zip. La figura 24 indica la pantalla inicial de Kosmo.

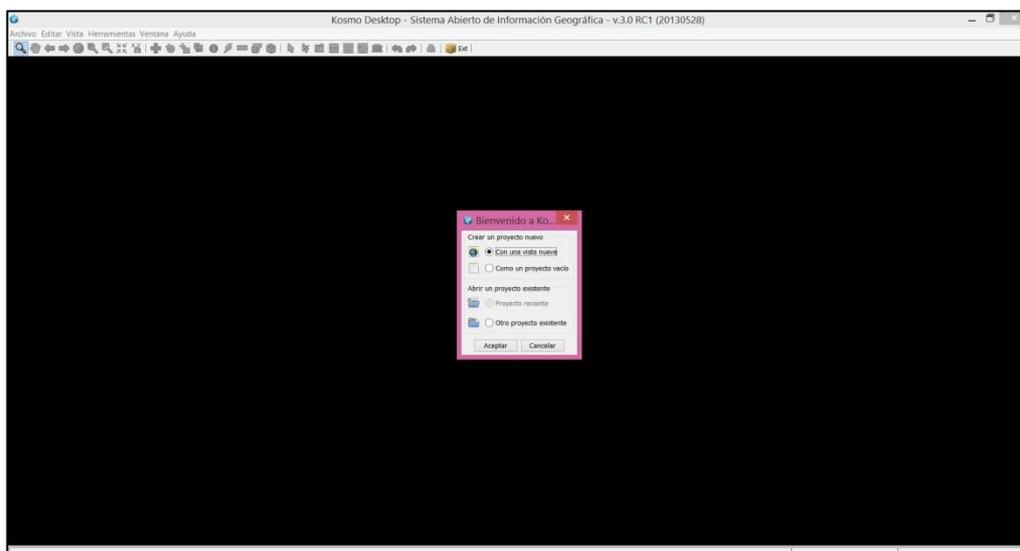


Figura 24. Pantalla principal de Kosmo

A continuación se procedió a crear los archivos SLD de estilo de las capas y que estos puedan ser visualizados a través del visor de GeoExplorer. Este proceso se crea a partir de Kosmo, para lo cual se deben seguir los siguientes pasos:

1. Agregar la capa

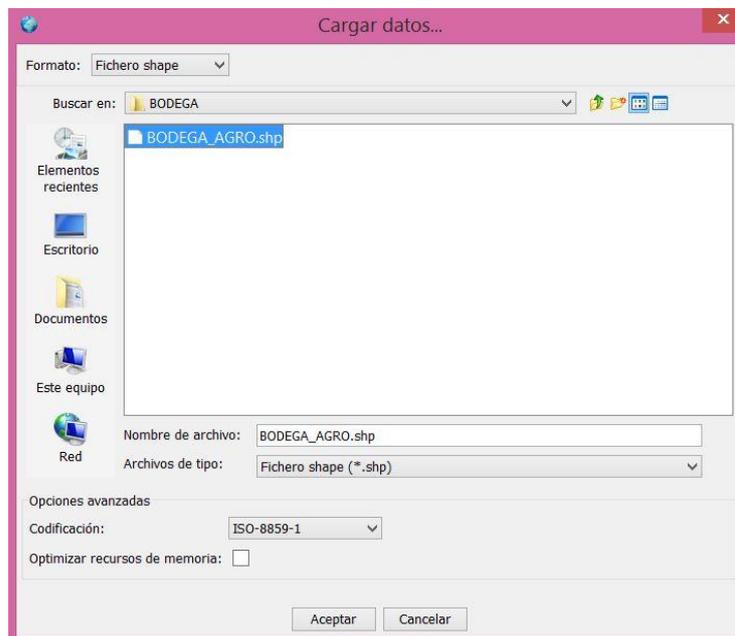


Figura 25. Ingreso de información

2. Configurar el estilo por clasificación de color

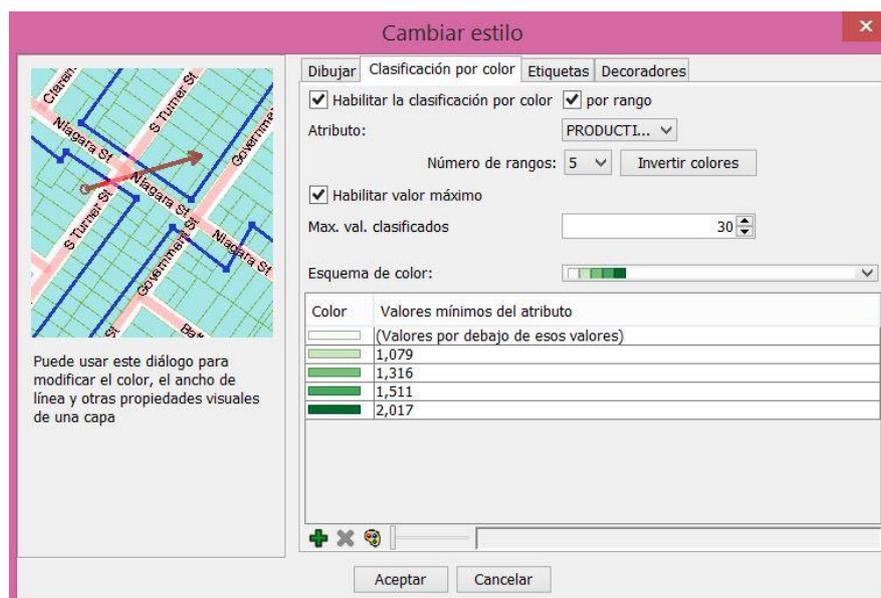


Figura 26. Selección del color de la capa

Una vez generado el estilo, se cargó la extensión SLD a través de GeoServer en la pestaña de Estilos, la figura 29 muestra la información ingresada.



```
1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2 <slid:StyledLayerDescriptor xmlns:slid="http://www.opengis.net/sld" xmlns:ogc="http://www.opengis.net/ogc" xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml" version="1.0.0">
3   <slid:Name>PARCELA</slid:Name>
4   <slid:Title>PARCELA</slid:Title>
5   <slid:Abstract>Abstract</slid:Abstract>
6   <slid:NamedLayer>
7     <slid:Name>PARCELA</slid:Name>
8     <slid:LayerFeatureConstraints>
9       <slid:FeatureTypeConstraint/>
10    </slid:LayerFeatureConstraints>
11    <slid:UserStyle>
12      <slid:Name>PARCELA</slid:Name>
13      <slid:Title>PARCELA</slid:Title>
14      <slid:FeatureTypeStyle>
15        <slid:Name>PARCELA</slid:Name>
16        <slid:Title>PARCELA</slid:Title>
17        <slid:Abstract>abstract</slid:Abstract>
18        <slid:FeatureTypeName>PARCELA</slid:FeatureTypeName>
19        <slid:Rule>
20          <slid:Name>[1.078687,1.316285]</slid:Name>
21          <slid:Title>[1.078687,1.316285]</slid:Title>
22          <ogc:Filter>
23            <ogc:And>
24              <ogc:PropertyIsGreaterThanOrEqualTo>
25                <ogc:PropertyName>PRODUCTION</ogc:PropertyName>
```

Figura 29. Ingreso del estilo en formato SLD en GeoServer

Se debe incluir el nuevo estilo en el servicio de mapas Web de cada capa del sistema, para verificar la inclusión, es necesario visualizarla para que de esta manera se realicen las ediciones finales. La figura 30 muestra la capa en previsualización, con el estilo seleccionado.

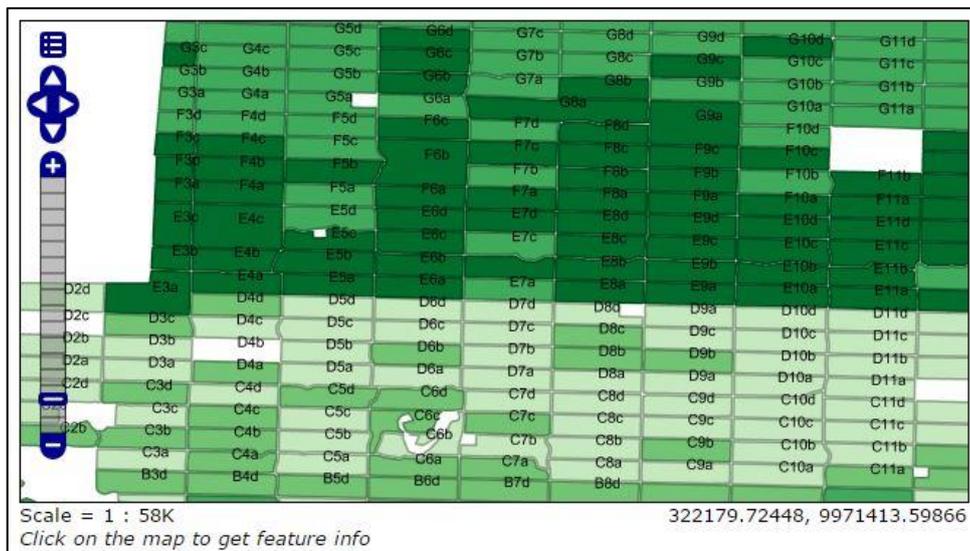


Figura 30. Estilo previsualizado en GeoServer

Se procedió a seleccionar los estilos y etiquetas de todas las capas.

3.4.3 Programación de funcionamiento del visor

Las funcionalidades del visor geográfico se programaron a través de GeoExplorer que es un componente de OpenGeo Suite. Se generó una interfaz de usuario del visor de mapas a través de código que después se utilizó en la página web del visor.

El código generado en HTML, CSS y JavaScript junto con el servicio web de mapas forman parte del visor, para esto se siguieron los pasos descritos a continuación:

1. Iniciar el componente GeoExplorer

- a. Esto permite incrementar componentes como información cartográfica básica.



Figura 31. Página principal de GeoExplorer

2. Añadir capas

- a. Se pueden añadir todas las capas subidas a GeoServer.

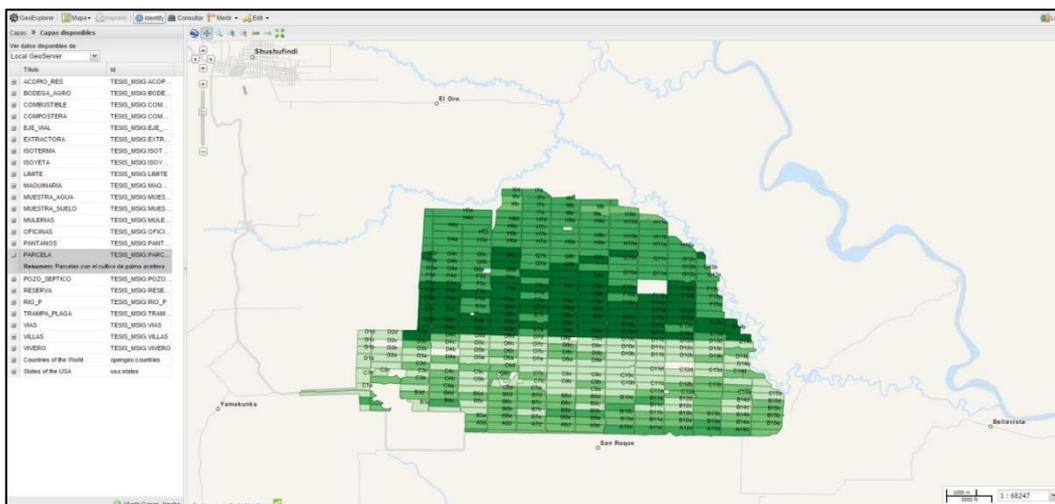


Figura 32. Capas añadidas a GeoExplorer

3. Selección de funciones

- a. De esta manera se seleccionan los componentes que tendrá el visor web.

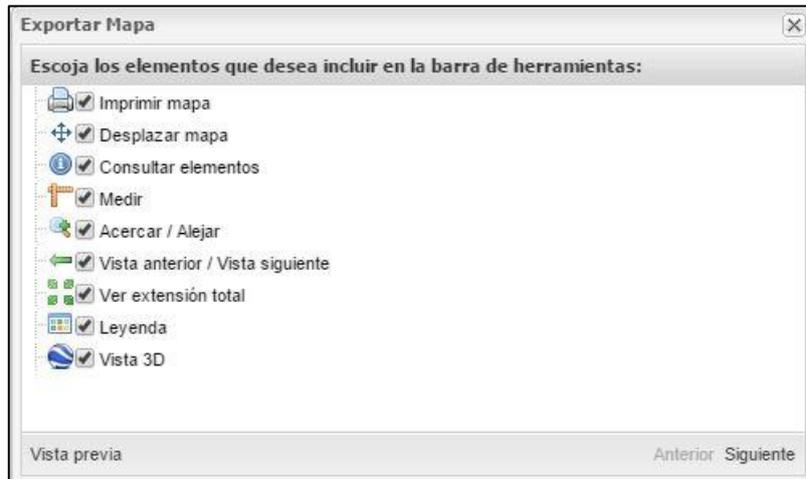


Figura 33. Selección de elementos del visor

4. Exportar mapas

- a. Se selecciona el tamaño del visor y se obtiene su código HTML.



Figura 34. Selección del tamaño del visor web

De esta manera con la incorporación de todas las capas, se realizó la exportación del mapa que podrá ser implementado en la web.

3.4.4 Implementación Web

La implementación web posee dos metodologías (Chacón, 2014):

- Hosting
 - Permite el uso de espacio de almacenamiento en servidores empresariales.
- Housing
 - Permite el alojamiento en servidores del cliente.

En este proyecto se seleccionó la opción del hosting, debido a los costos y porque es suficiente tener un subdominio que se asocie a un hosting web, para que el código redirija al servidor en el cual se encuentra instalada la plataforma del visor geográfico.

Los pasos a seguir son:

1. Creación de la cuenta en el hosting web.
2. Asociar el dominio o subdominio.
3. Administrar el subdominio.
4. Redireccionamiento del archivo HTML

El archivo HTML se obtuvo a través de la exportación del mapa en GeoExplorer, el archivo generado fue:

```
<body>  
  
<iframe style="border: none;" height="600" width="800"  
  
src="http://DIRECCION:PUERTO/geoexplorer/viewer/#maps/1">  
  
</iframe>  
  
</body>
```

En este caso, la DIRECCION es la dirección IP pública del equipo y PUERTO es el puerto que está utilizando la plataforma del visor geográfico.

Para el cumplimiento de este proyecto, se instaló la plataforma en los servidores de la empresa y en las computadoras portátiles de los gerentes y coordinadores para que puedan acceder siempre desde cualquier conexión al visor geográfico. Fue importante capacitar a la Unidad de Tecnologías de la empresa para que actualice la información geoespacial de forma continua en estas computadoras. De forma adicional se capacitó a gerencia y coordinación para que puedan acceder y manejar el visor geográfico que ya montado se ve como lo muestra la figura 35.

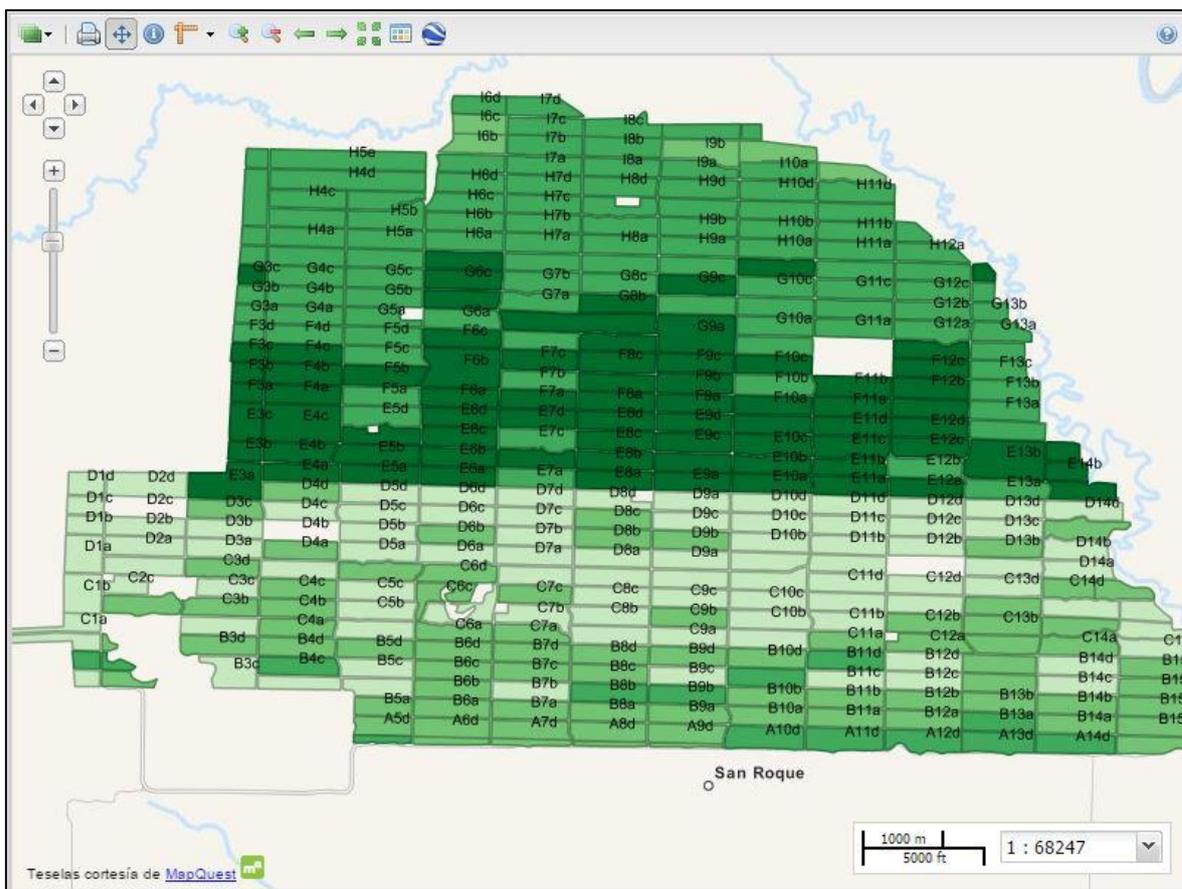


Figura 35. Visor geográfico

3.5 Sistema de agricultura de precisión

Como se analizó en el capítulo 2, el ciclo metodológico de la agricultura de precisión (2.2.2) está conformado por un ciclo de:

1. Recolección e ingreso de información
2. Análisis, procesamiento e interpretación de la información
3. Manejo local específico diferenciado

Hasta este punto, el proyecto cumplió con el primer punto que fue la recolección e ingreso de información en la base de datos geográfica; para continuar con el

proceso de realizó el análisis, procesamiento e interpretación de la información. Finalmente el proyecto dejó las directrices para que se realice el manejo local específico diferenciado, por parte de la gestión de gerencia y coordinaciones.

3.5.1 Establecimiento de sistemas de agricultura de precisión

Con la información que forma parte de la base de datos geográfica, se realizó el análisis de la información y las aplicaciones de agricultura de precisión que se pueden realizar, el cuadro 9 permite visualizar el análisis realizado a las capas obtenidas y la aplicación de sistemas de agricultura de precisión que se pueden realizar.

Cuadro 9. Mapas que se generarán con la información obtenida

| Feature class | Análisis | Metodología |
|---------------|---|---|
| TRAMPA_PLAGA | Mapa de existencia plaga <i>Hymenoptera</i> | Generación de un mapa por interpolación a través de la metodología de Kriging |
| | Mapa de existencia plaga <i>Orthoptera</i> | |
| | Mapa de existencia plaga <i>Homoptera</i> | |
| | Mapa de existencia plaga <i>Coleoptera</i> | |
| | Mapa de existencia plaga <i>Lepidoptera</i> | |
| | Mapa de existencia total de plagas | |
| MUESTRA_SUELO | Mapa de niveles de Nitrógeno | Generación de un mapa por interpolación a través de la metodología Kriging |
| | Mapa de niveles de Fósforo | |
| | Mapa de niveles de Potasio | |
| | Mapa de niveles de Magnesio | |
| | Mapa de niveles de Calcio | |
| | Mapa de niveles de Azufre | |

Se procedió a crear los mapas indicados en el cuadro 9 a través del software ArcGIS 10.2, estos mapas son aplicados para el análisis y manejo específico para determinar zonas exactas para el cuidado agrícola como protección contra plagas o procesos de fertilización del suelo. La figura 36 muestra el mapa de niveles de Nitrógeno, a través del cual se determinan las zonas exactas que necesitan ser fertilizadas con urea, para incorporar Nitrógeno al suelo.

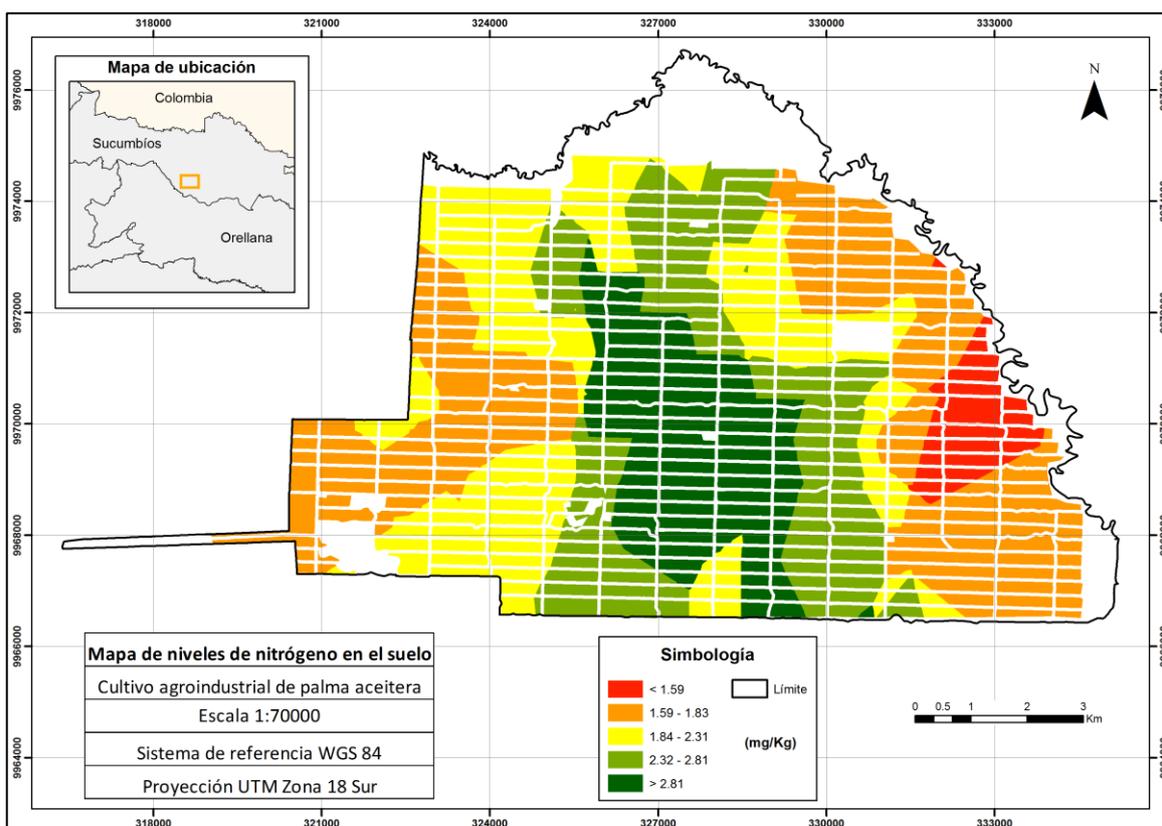


Figura 36. Mapa de niveles de Nitrógeno en el suelo de la plantación

Estos mapas fueron incorporados a la base de datos geográfica a través de un nuevo Feature Dataset llamado AGRICULTURA como se indica en la figura 37.



Figura 37. Base de datos actualizada con el nuevo Feature Dataset

Finalmente se montaron a los nuevos mapas en el visor geográfico web, como se observa en la figura 38, para lo cual se siguió con todo el proceso desarrollado en OpenGeo Suite y Kosmo.

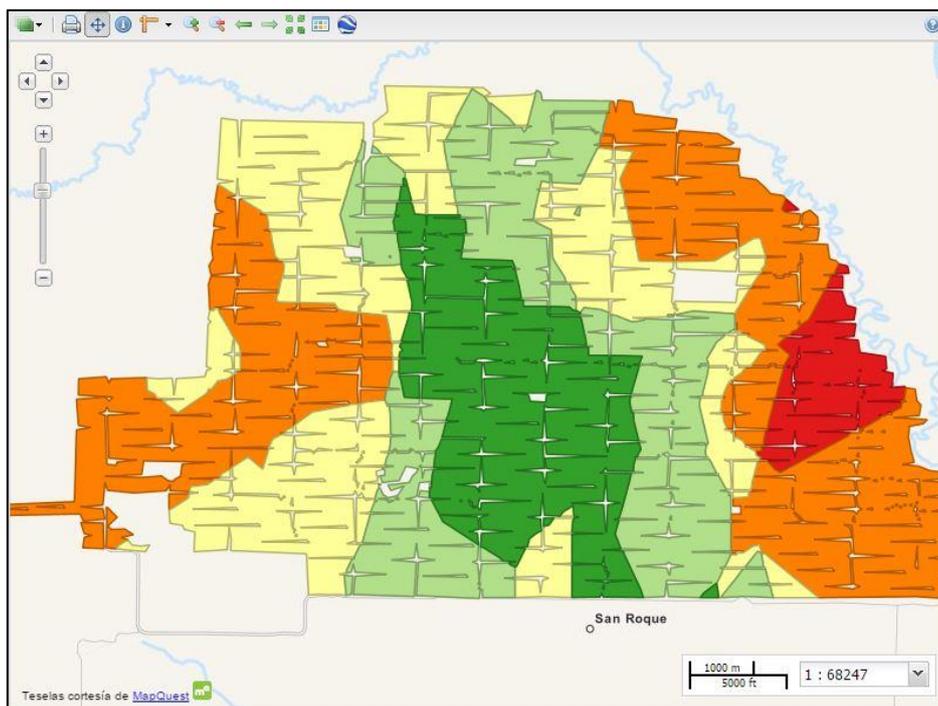


Figura 38. Mapa de niveles de Nitrógeno publicado en el visor web

CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Resultados

Con base a la metodología planteada para cumplir con el proyecto de tesis, los resultados obtenidos a través de productos entregables fueron 3 y estos fueron:

- Base de datos geográfico
 - En formato GDB, estructurada por Feature Datasets y Feature Classes, generada en el software ArcCatalog de ArcGIS 10.2.
- Visor geográfico web
 - Se desarrolló en la plataforma OpenGeo Suite.
- Mapas de aplicación de agricultura de precisión
 - Se generaron mapas raster a través de interpolación y se los convirtió en vectores a través del software ArcMap de ArcGIS 10.2, se los incorporó en el visor geográfico web desarrollado en OpenGeo Suite.

De esta manera se cumplieron los objetivos específicos y el objetivo general del proyecto de tesis. Se generó un análisis de los resultados (productos) obtenidos.

4.1.1 Detalles del análisis

El análisis se basó en dos parámetros, considerando un enfoque cuantitativo y cualitativo producto por producto, de esta manera se inició el análisis.

4.1.2 Base de datos geográfico

El análisis cuantitativo de la base de datos geográfica, permite obtener los datos que se indican en el cuadro 10.

Cuadro 10. Análisis cuantitativo de la base de datos geográfica

| GDB | Feature Datasets | Feature Classes |
|-----|------------------|-----------------|
| 1 | 10 | 35 |

El análisis cualitativo se basó en la revisión topológica realizada utilizando el software ArcCatalog 10.2, el cuadro 11 muestra los resultados obtenidos del análisis topológico.

Cuadro 11. Análisis cualitativo de la base de datos geográfica

| Error topológico | Cantidad |
|-----------------------|----------|
| Must not have gap | 0 |
| Must not overlap | 0 |
| Must not have dangles | 0 |

De esta manera se validó que la base de datos geográfica cumple con los criterios de calidad y cantidad.

4.1.3 Visor geográfico Web

El visor geográfico para su análisis cuantitativo, se validó la cantidad de capas que lo conforman y en este caso se poseen 35 capas que pueden ser

visualizadas, de manera adicional se comprobó la cantidad de herramientas disponibles para los usuarios, llegando a un total de 9 herramientas.

El análisis cualitativo del visor geográfico se realizó a través del análisis de la respuesta del visor al cargar la información de GeoExplorer y al utilizar sus herramientas. Se consideró que el visor geográfico web tiene un funcionamiento adecuado al responder de forma efectiva cuando fue requerido.

4.1.4 Aplicación de agricultura de precisión

Para el análisis de la aplicación agricultura de precisión en el campo cuantitativo, e verificó la cantidad de mapas específicos creados, llegando a un total de 12 mapas. El análisis cualitativo permite identificar la utilidad de los mapas generados para el control de plagas y el cuidado del suelo. Se debe mencionar que cuando exista un mapa a nivel de palma individual, se podrán realizar otros mapas geoestadísticos con las incidencias de enfermedades y una producción específica parcelaria.

Se recomienda ampliar el análisis geoespacial, con la incorporación de imágenes satelitales multiespectrales que permitan incrementar las variables geoespaciales para generar un análisis robusto; a través de la aplicación de los sensores remotos, se puede analizar y estudiar la evapotranspiración del cultivo y determinar su estado de salud, como diferentes estudios lo están realizando (Ovalles, 2006).

4.2 Importancia del proyecto

Este proyecto se caracteriza por ser pionero en el manejo integral de un cultivo de palma aceitera en el Ecuador a través de la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica, brindando la capacidad para que gerencia y coordinaciones analicen por primera vez la información de las plantaciones con una característica espacial.

Se espera que el presente proyecto marco un precedente para que el cultivo de palma aceitera en el país y otros cultivos analicen la aplicabilidad de la agricultura de precisión a través de Sistemas de Información Geográfica que busca mejorar el rendimiento de los cultivos para evitar que la agricultura intensiva afecte al ambiente.

4.2.1 Análisis del sistema de agricultura de precisión

Los sistemas de agricultura de precisión para que se apliquen de forma adecuada, requieren la integración holística de diferentes ciencias y técnicas que generen sinergia enfocada en la eficiencia de la agricultura. Un análisis importante que se debe realizar para analizar la eficiencia del sistema creado es la dosificación variable de insumos que poseen el siguiente protocolo de aplicación (RAP, 2011):

1. Delimitación de la zona de manejo.
2. Programación de equipos de agrimensura.
3. Muestreo georreferenciado.

4. Análisis físico – químico de las muestras de suelo.
5. Recomendaciones de aplicación variable.
6. Mapeo de rendimiento.

En este caso se han cumplido con los puntos del 1 al 5, con respecto al punto 6, es importante indicar que la variabilidad espacial se ha mejorado de una forma muy alta, debido a que antes de la aplicación de este sistema, la fertilización se la realizaba por bloques de parcelas que contenían el punto de muestro. De esta forma, la fertilización no era adecuada, considerando dos aspectos:

- Contaminación ambiental
- Pérdida económica

Desde el punto de vista de contaminación ambiental, se consideran las zonas en las cuales se fertilizó en exceso y esto ocasionó que el nitrógeno no absorbido por el suelo se lave con las lluvias y se incorpore a los ríos de la zona, lo cual conllevará un incremento en la eutrofización de los ríos que derivará en el incremento de especies vegetales acuáticas que disminuirán la cantidad de energía solar que ingresa al agua y al morir y descomponerse disminuirán la cantidad de oxígeno disuelto en el agua.

Por otra parte, al considerar el aspecto económico, específicamente la producción, se debe analizar dos posibilidades:

- Pérdida de dinero por adquirir insumos en exceso.

- Pérdida de dinero por disminución de producción al fertilizar de forma insuficiente.

Como se observa, a través de la aplicación de este sistema de agricultura de precisión, se mejora la precisión de la variabilidad espacial el momento de considerar la aplicación de insumos agrícolas; pero, debido a que se mejorará y estabilizará la cantidad de nutrientes en el suelo, se ha analizado por diferentes autores la incidencia de la variable temporal al considerar que los procesos de fertilización y adaptación del suelo se prolongarán, disminuyendo la cantidad de contaminantes y costos en la producción (Andrade, 2010).

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5. 1 Conclusiones

Para definir las conclusiones de esta tesis, se consideró el trabajo realizado y las implicaciones del proyecto, de esta manera al analizar las variables utilizadas se indica que en el cultivo industrial de palma aceitera se establecieron 35 variables geoespaciales, de las cuales 23 son variables independientes y 12 son variables dependientes. Si se considera el origen de estas variables, se analiza que 20 variables son de origen antrópico y 15 variables de origen natural.

Durante el desarrollo del Sistema de Información Geográfico, la base de datos geográfica diseñada y construida que forma parte del Sistema de Información Geográfica del cultivo de palma aceitera, se conformó por 10 Feature Datasets y por las 35 variables geográficas como Feature clases. De esta manera, se incorporaron los análisis que se consideraron para esta fase de la aplicación del sistema de agricultura de precisión. El diseño del sistema de agricultura de precisión, se basó en el análisis de los procesos de control fitosanitario para evitar la incidencia de plagas y en los requerimientos nutricionales del suelo, para que el proceso de fertilización sea optimizado, siendo esto la primera fase del sistema.

Se creó un visor geográfico web, para que la gerencia tenga acceso cuando y donde necesite a la información de las parcelas y de esta manera pueda tomar las decisiones necesarias para mejorar su productividad y gestión. Por tal motivo, el

sistema se completó satisfactoriamente, cumpliendo con los objetivos planteados y con las expectativas establecidas por la empresa, teniendo en consideración que es la primera versión del sistema y es un precedente de lo que se puede realizar al aplicar los Sistemas de información Geográfica en combinación con los sistemas de agricultura de precisión.

5.2 Recomendaciones

Este trabajo es una versión inicial, que muestra la potencialidad de la aplicación de un Sistema de Información Geográfica en conjunto con un sistema de agricultura de precisión para el cultivo de palma aceitera y que puede ser replicado en otros cultivos de interés nacional. Con base al rendimiento y manejo de esta primera versión del sistema, se recomienda analizar la incorporación de nuevas variables que permitan una mejora en la funcionalidad y capacidades del sistema.

Se recomienda además, establecer aplicaciones y herramientas que permitan una mayor y mejor funcionalidad de la base de datos geográfica, como son los procesos de actualización automática de datos a través de archivos XML. Esto se lo puede realizar a través de códigos y programación en Python. De esta manera se optimizarán los recursos y se disminuirán los errores al obviar la aplicación del Talento Humano en la fase de actualización que puede incluir diferentes tipos de errores.

El sistema de agricultura de precisión debe ser perfeccionado y permitir análisis más específicos en la plantación como la incidencia y presencia de enfermedades en las palmas, para lo cual se recomienda realizar un levantamiento georreferenciado palma por palma y realizar un mecanismo de control y almacenamiento de información automatizado. Otro mecanismo para incrementar la potencialidad del Sistema de Agricultura de Precisión y de esta manera poder

mejorar el análisis en el cultivo, es la aplicación de sensores remotos a través de la Teledetección.

De forma adicional, se recomienda optimizar y migrar del visor geográfico web a un geoportal y considerar la generación de una Infraestructura de Datos Espaciales (IDE). Actualmente, el sistema se basa en la aplicación de software libre y comercial, si las empresas consideran beneficiosa la aplicación de este sistema, se recomienda que migren a software específico que puede ser libre o comercial dependiendo de sus requerimientos y capacidades. Para lo cual la investigación y desarrollo debe ser constante y continua por parte de la empresa.

Con el fortalecimiento de la herramienta y del sistema en general, se espera que los costos derivados sean canalizados como inversiones por parte de la empresa y de esta manera que se les brinde un enfoque adicional a iniciativas como esta que se enfocan y amparan en los principios de la política institucional de la empresa que cuenta con el Sistema de Gestión de la Calidad ISO 9001:2008. Al aplicar el análisis de algunos aspectos ambientales significativos de la empresa, se recomienda también, se analice la posibilidad de aplicar con base a este proyecto, la certificación del Sistema de Gestión Ambiental ISO 14001:2004.

CAPÍTULO 7: BIBLIOGRAFÍA

- ANCUPA, 2013. *“Proceso de adopción de la certificación RSPO en Ecuador”*. Segundo congreso de investigaciones en palma aceitera”. Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.
- ANCUPA. (2010). *“Biomasa en el aceite crudo de palma”*. Dirección de Ambiente y RSPO. Quito, Ecuador.
- Andrade, P. (2010). *“Things to know about applying precision agriculture technologies in Arizona”*. Arizona Cooperative Extension. The University of Arizona. Estados Unidos.
- Câmara, G. (2002). *“Spatial Analysis and GIS: A Primer”*. National Institute for Space Research. Río de Janeiro, Brasil.
- Chacón, S. (2014) *“Visor Geográfico para la Web de la División Político Administrativa del Ecuador enlazada a la información del Censo de Población y Vivienda 2010”*. Universidad San Francisco de Quito. Quito, Ecuador.
- Erazo, O. (2009). *“Diseño e implementación del mapa interactivo utilizando Web Mapping y base de datos espacial: Ciudad de Quevedo”*. Universidad San Francisco de Quito. Quito, Ecuador.
- FLACSO. (1984). *“Organización de la producción de palma africana en Ecuador”*. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales. Quito, Ecuador.
- García, E y Flago, F. (2012). *“Agricultura de precisión”*. Tecnología agropecuaria. Buenos Aires, Argentina.
- Huisman O. (2008). *“Principles of Geographic Information Systems”*. The International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation. Enschede, Holanda.

- I+D+i. (2012). *“Tecnologías aplicables en agricultura de precisión”*. Plataforma silvoagropecuaria. Santiago, Chile.
- IICA. (2006). *“Cultivo de la palma Africana guía técnica”*. Organización de Estados Americanos. Managua, Nicaragua.
- Longley, P. et al. (2005). *“Geographic Information System and Science”*. John Wiley & Sons. West Sussex, Inglaterra.
- MAE. (2013). *“Capas de importancia ambiental”*. Zonificación agroecológica del cultivo de palma aceitera en el Ecuador a escala 1:250000. Quito, Ecuador.
- MAG. (2005). *“Inventario de plantaciones de palma aceitera en el Ecuador”*. Sistema de Información Geográfica y Agropecuaria. Quito, Ecuador.
- MAGAP. (2013). *“Suelos: Base del inventario de los recursos naturales”*. Zonificación agroecológica del cultivo de palma aceitera en el Ecuador a escala 1:250000. Quito, Ecuador.
- Mazo, N. (2010). *“Técnicas y métodos de análisis espacial”*. Seminario de Análisis Espacial. Madrid, España.
- Mielke, T. (2011). *“Global supply and demand outlook for palm and lauric oils—Trends and future prospects”*.
- Naranjo, F. (2013). *“Palma aceitera en Ecuador y su experiencia frente a RSPO”*. Asociación Nacional de Cultivo de Palma Aceitera. Quito, Ecuador.
- Olaya, V. (2011). *“Sistemas de Información Geográfica”*. SEXTANTE. Madrid, España.
- Ovalles, F. (2006). *“Introducción a la Agricultura de precisión”*. INIA-CENIAP. Maracay, Venezuela.

- Pérez, J. (2011). *“Agricultura de precisión”*. Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- PRODEVELOP. (2012). *“Servidores de mapas”*. PRODEVELOP página Web. <http://www.prodevelop.es/es/tecs/geo/servidoresmapas>.
- Red de Agricultura de Precisión. (2011). *“Agricultura de precisión y máquinas precisas”*. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Gobierno de la República Argentina. Buenos Aires. Argentina.
- TECHNOSERVE. (2009). *“Manual técnico de palma africana”*. San Pedro de Sula, Honduras.
- UNEP. (2011). *“Global environmental alert service”*. Taking the pulse of the planet. Washington, Estados Unidos.
- UPS. (2012). *“Capítulo 4: Servidores de mapas”*. Universidad Politécnica Salesiana. <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/56/10/Capitulo4.pdf>.
- Verheye, W. (2012). *“Growth and production of oil palm”*. Universidad de Ghent. Ghent, Bélgica
- WWF. (2012). *“Profitability and sustainability in palm oil production”*. WWF. Sumatra, Indonesia.