



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas

**CREACIÓN DE UNA BASE DE DATOS GEOGRÁFICA FUNCIONAL Y
EFICIENTE PARA EL MANEJO DE PARCELAS DE CAFÉ, EN EL
DEPARTAMENTO DE SACATEPÉQUEZ**

Kristhian Antonio Herrera Gómez

Asesorado por el Ing. Héctor Alberto Heber Mendía Arriola

Guatemala, agosto de 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CREACIÓN DE UNA BASE DE DATOS GEOGRÁFICA FUNCIONAL Y
EFICIENTE PARA EL MANEJO DE PARCELAS DE CAFÉ, EN EL
DEPARTAMENTO DE SACATEPÉQUEZ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

KRISTHIAN ANTONIO HERRERA GÓMEZ

ASESORADO POR EL ING. HECTOR ALBERTO HEBER MENDÍA ARRIOLA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO EN CIENCIAS Y SISTEMAS

GUATEMALA, AGOSTO DE 2009

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

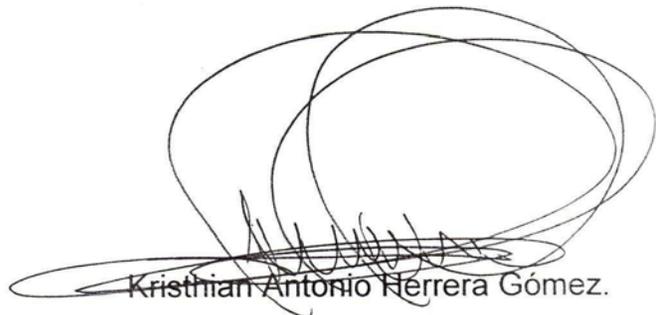
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Virginia Victoria Tala Ayerdi
EXAMINADOR	Ing. Marlon Antonio Pérez Türk
EXAMINADOR	Ing. Víctor Hugo De León
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

CREACIÓN DE UNA BASE DE DATOS GEOGRÁFICA FUNCIONAL Y EFICIENTE PARA EL MANEJO DE PARCELAS DE CAFÉ, EN EL DEPARTAMENTO DE SACATEPÉQUEZ,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ciencias y Sistemas, con fecha agosto de 2008.



Kristhian Antonio Herrera Gómez.

Guatemala, 22 de junio de 2009.

Señores
Comisión de Revisión de Trabajos de Graduación
Carrera de Ciencias y Sistemas
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Guatemala, Ciudad

Respetables Señores:

El motivo de la presente es para informarles que como asesor del estudiante Kristhian Antonio Herrera Gómez he procedido a revisar el trabajo de graduación titulado "Creación de una base de datos geográfica funcional y eficiente para el manejo de parcelas de café, en el Departamento de Sacatepéquez" y que de acuerdo a mi criterio, el mismo se encuentra concluido y cumple con los objetivos definidos al inicio.

He tenido reuniones periódicas con el estudiante y luego de haber revisado cuidadosamente el trabajo, considero que cumple con los requisitos de calidad y profesionalismo que deben caracterizar a un futuro profesional de la Informática.

Sin otro particular me suscribo de ustedes,

Atentamente,



Ing. Héctor Alberto Heber Mendía Arriola



Universidad San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas

Guatemala, 8 de Julio de 2009

Ingeniero
Marlon Antonio Pérez Turk
Director de la Escuela de Ingeniería
En Ciencias y Sistemas

Respetable Ingeniero Pérez:

Por este medio hago de su conocimiento que he revisado el trabajo de graduación del estudiante **KRISTHIAN ANTONIO HERRERA GOMEZ**, titulado: **"CREACION DE UNA BASE DE DATOS GEOGRAFICA FUNCIONAL Y EFICIENTE PARA EL MANEJO DE PARCELAS DE CAFÉ EN EL DEPARTAMENTO DE SACATEPEQUEZ"**, y a mi criterio el mismo cumple con los objetivos propuestos para su desarrollo, según el protocolo.

Al agradecer su atención a la presente, aprovecho la oportunidad para suscribirme,

Atentamente,


Ing. Carlos Alfredo Azurdia
Coordinador de Privados
y Revisión de Trabajos de Graduación



E
S
C
U
E
L
A

D
E

C
I
E
N
C
I
A
S

Y

S
I
S
T
E
M
A
S

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

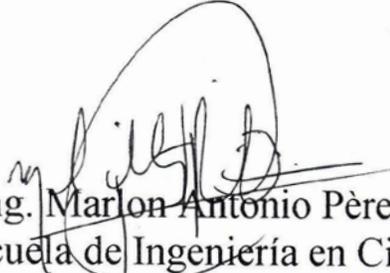


FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE CIENCIAS Y SISTEMAS
TEL: 24767644

*El Director de la Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor con el visto bueno del revisor y del Licenciado en Letras, de trabajo de graduación titulado **“CREACIÓN DE UNA BASE DE DATOS GEOGRÁFICA FUNCIONAL Y EFICIENTE PARA EL MANEJO DE PARCELAS DE CAFÉ EN EL DEPARTAMENTO DE SACATEPÉQUEZ”** presentado por el estudiante KRISTHIAN ANTONIO HERRERA GÓMEZ, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.*

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”




Ing. Marlon Antonio Pérez Turk
Director, Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas

Guatemala, 2009

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.272.09

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas, al trabajo de graduación titulado: **CREACIÓN DE UNA BASE DE DATOS GEOGRÁFICA FUNCIONAL Y EFICIENTE PARA EL MANEJO DE PARCELAS DE CAFÉ, EN EL DEPARTAMENTO DE SACATEPÉQUEZ**, presentado por el estudiante universitario **Kristhian Antonio Herrera Gómez**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Reinos
DECANO



Guatemala, agosto de 2009

/cc

DEDICATORIA

A DIOS

Por darme la fuerza y coraje para cumplir mis metas, y por cuidarme y amarme todos los días de mi vida.

A MI MADRE

Por todo su amor y apoyo incondicional a lo largo de mi vida. *“Gracias mamita, sin vos nada de esto hubiera sido posible”.*

AGRADECIMIENTOS A:

DIOS

Por su infinito amor y por darme la fuerza para superar tantos momentos difíciles.

MI MADRE

Por su incondicional apoyo, sus palabras fortalecedoras y sus muestras infinitas de amor.

MI FAMILIA

Mi abuela, mi hermana Karla, mi abuelo y mi padre, por su constante e invaluable apoyo en toda mi vida.

MIS AMIGOS

Giordanny Vela, Héctor Mendía, Víctor Gonzalez, Luis Pichiyá, Armin Mazariegos, Feliciano Charchalac, David Argueta, Gerson Raymundo, Jose Julio Pineda, Ruben Estrada, Edy Ovando, Ronald Alvarado y Edgar González, por su amistad, apoyo, y tantos momentos felices.

MI UNIVERSIDAD

Catedráticos y personal administrativo, por darme y enseñarme tanto.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XXI
OBJETIVOS	XXIII
INTRODUCCIÓN	XXV
1. BASES DE DATOS GEOGRÁFICAS	1
1.1. Bases de datos geográficas y Sistemas de Información Geográfica	1
1.2. Representación de datos	2
1.2.1. Datos vectoriales	3
1.2.2. Datos tipo <i>raster</i>	4
1.2.3. Red de triángulos irregulares (TIN)	6
1.3. Capas temáticas	6
1.4. Dentro de la base de datos geográfica	9
1.4.1. <i>Feature classes</i>	10
1.4.2. <i>Datasets</i>	10
1.4.3. <i>Feature datasets</i>	11

1.4.4.	Topologías y redes	11
1.4.5.	Reglas espaciales o topológicas	11
1.4.6.	Dominios	12
1.4.7.	Relaciones	12
1.4.8.	Arreglos de datos <i>raster</i>	12
2.	DISEÑO DE BASES DE DATOS GEOGRÁFICAS	15
2.1.	Pasos para el diseño de bases de datos geográficas	16
2.1.1.	Los diez pasos para diseñar bases de datos geográficas	17
2.2.	Diagramación del modelo	19
2.3.	Patrones de diseño	20
2.3.1.	Patrones para <i>feature datasets</i>	20
2.3.2.	Patrones para subtipos	22
2.3.3.	Patrones para relaciones	25
2.3.4.	Patrones para topologías	27
2.3.5.	Patrones para redes lineales	30
2.3.6.	Patrones para datos <i>raster</i>	31
2.4.	Tips de diseño	37

3. CONSTRUCCIÓN DE BASES DE DATOS GEOGRÁFICAS	39
3.1. ¿Por qué se usará ArcGIS de ESRI?	39
3.2. Los seis pasos para la implementación de una base de datos geográfica	40
3.2.1. Obtener o desarrollar un diseño	42
3.2.2. Cambiando el esquema	43
3.2.3. Cargando datos	44
3.2.4. Construyendo redes y topologías	45
3.2.5. Probando el diseño	46
3.2.6. Revisando el modelo	47
4. CASO PRÁCTICO: “CREACIÓN DE UNA BASE DE DATOS GEOGRÁFICA PARA EL CONTROL DE PARCELAS DE PLANTACIÓN DE CAFÉ”	49
4.1. Análisis y requerimientos del sistema a implementar	50
4.2. Diseño conceptual de la base de datos geográfica	54
4.2.1. Identificación de los productos de información	54
4.2.2. Identificación de las capas temáticas	54
4.2.3. Especificación de rangos de escala y representaciones espaciales	55
4.2.4. Agrupación de representaciones en arreglos de datos (<i>datasets</i>)	56
4.3. Diseño lógico de la base de datos geográfica	57
4.3.1. Estructura tabular de la base de datos y el comportamiento para atributos descriptivos	57

4.3.2. Propiedades espaciales de los arreglos de datos (<i>datasets</i>)	68
4.3.3. Diseño propuesto de la base de datos geográfica	69
4.4. Diseño físico de la base de datos geográfica	71
4.4.1. Implementación, utilización de prototipos, revisiones y refinamiento del diseño	71
4.4.2. Documentación del diseño	73
4.5. Extracción de información de la base de datos geográfica	78
4.5.1. Consulta de información geográfica	78
4.5.2. Aislamiento de la información geográfica consultada	84
4.5.3. Exportación de la información geográfica aislada	86
CONCLUSIONES	91
RECOMENDACIONES	93
BIBLIOGRAFÍA	95

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Tipos vectoriales	4
2	<i>Rasters</i>	5
3	Capas temáticas	8
4	Representación gráfica de la base de datos geográfica	13
5	Ejemplo de salida de <i>Geodatabase Diagrammer</i> de ESRI	19
6	Imagen ortorectificada	32
7	<i>Raster</i> de elevaciones	33
8	Mapa escaneado	34
9	Catálogo de <i>raster</i>	35
10	Diagrama de flujo de la construcción de la base de datos geográfica	41
11	Diagrama de flujo para obtener o desarrollar un esquema	42
12	Diagrama de flujo para cambiar un esquema	43
13	Diagrama de flujo para cargar datos	44
14	Diagrama de flujo para construir redes y topologías	45
15	Diagrama de flujo para probar el diseño	46
16	Definición de atributos de capa “MunicipiosGuatemala”	58

17	Definición de atributos de capa “Parcela”	60
18	Definición de atributos de capa “Dueños”	61
19	Definición de atributos de capa “Altitud”	62
20	Definición de atributos de capa “Sombra”	63
21	Definición de atributos de capa “Temperatura”	64
22	Definición de atributos de capa “TiposCafe”	65
23	<i>Raster</i> del área	66
24	Estructura tabular de la capa dueños	67
25	Reglas de topologías creadas	69
26	Diseño de la base de datos geográfica	70
27	Patrón de diseño de una base de datos geográfica para parcelas	72
28	Uso de colores para identificar departamentos	73
29	Uso de degradados para identificar las temperaturas promedio	74
30	Uso de colores distintivos y etiquetas para propietarios	74
31	Panorama general de parcelas de café	75
32	Visión ampliada de una sección de la base de datos	76
33	Información específica de una parcela	76
34	<i>Raster</i> y límites del terreno	77
35	Criterios de búsqueda de datos puntuales en <i>ArcMap</i>	79
36	Resultado de búsqueda de datos puntuales en <i>ArcMap</i>	80
37	Criterios de búsqueda de datos por <i>SQL</i> en <i>ArcMap</i>	81
38	Resultados de búsqueda de datos por <i>SQL</i> en <i>ArcMap</i>	82

39	Búsqueda de parcelas por tipos de café	83
40	Resultados de búsqueda de parcelas por tipo de café	84
41	Creación de nueva capa a partir de elementos seleccionados	85
42	Elementos geográficos de búsqueda aislados	86
43	Exportación de mapas a archivos de imágenes	87
44	Exportación de mapas a archivos de tipo <i>shapefile</i>	88
45	Abrir archivo <i>shapefile</i> en <i>ArcGIS Explorer</i>	89
46	Archivo <i>shapefile</i> cargado en <i>ArcGIS Explorer</i>	90

TABLAS

I	Representaciones comunes	9
II	Los diez pasos para diseñar bases de datos geográficas	18
III	Tabla comparativa de uso de subtipos y múltiples <i>feature clases</i>	24
IV	Tabla comparativa de uso de relaciones	26
V	Tabla comparativa de uso de topologías	29
VI	Tabla de características de una red geométrica	31
VII	Tabla de comparación de <i>rasters</i>	36
VIII	Tabla de comparación de <i>software</i> de SIG	40

GLOSARIO

- Agregación**
(aggregation) Operación de análisis por la cual dos entidades que tienen continuidad topológica con el mismo código pasan a convertirse en una sola. Esta operación se suele aplicar en capas de polígonos, con el objeto de unificar los polígonos que tienen algún lado común y un mismo valor en un campo que el usuario elige. En lenguaje de *Arcinfo*, esta operación recibe el nombre de disolver (*dissolve*).
- Arcinfo** Producto de la gama de herramientas de ESRI, antes estrella pero que ahora está siendo sustituido poco a poco por la nueva gama *Arcgis*. Dentro de *Arcinfo Workstation* se incluyen herramientas de edición, publicación, gestión de transacciones, sistema gestor de bases de datos, etc.
- Arco-nodo** Tipo de topología vectorial muy robusta utilizada por *Arcinfo Workstation* para definir las relaciones de continuidad entre arcos, nodos y polígonos. Es una de las formas más robustas de topología.

Área	Elemento primitivo de un SIG vectorial, sinónimo de superficie.
Atributos (attributes)	En contexto SIG, atributo se refiere a aquellos datos alfanuméricos pertenecientes y conectados a un determinado objeto geográfico, que generalmente se almacenan en forma de tablas. La conexión de estas tablas alfanuméricas con los objetos geográficos suele ser a través de un campo común con forma de identificador.
Axis	Eje. En un plano de coordenadas, el eje-x es la línea numérica horizontal y el eje-y es la línea numérica vertical.
Base de datos	Colección de datos recopilados según una estructura de la información fija y aplicando los mismos criterios lógicos. Las unidades básicas para la estructuración de la información son los campos (características de los datos, que toman la forma de columnas en una relación tabular), y los registros (casos identificados, que toman la forma de filas en una relación tabular). Por tanto, los campos describen las características de cada registro.

Bitmap	Mapa de bits. Tipo de archivo cuya información se representa con un conjunto de pequeñas celdas. Por ejemplo, toda foto digital es un archivo <i>bitmap</i> . El concepto es el equivalente a lo que en términos SIG se llama <i>Raster</i> .
Bmp	<i>Bitmap Map Picture</i> ; Foto de mapa de bits. Formato de archivo de <i>bitmap</i> de nativo de <i>Windows</i> . Tiene capacidad de colores de hasta 24-bits (16.7 millones de colores). Los archivos en este formato no disponen de compresión alguna.
Campo (<i>field</i>)	Segmento de información que forma parte de la estructura de una base de datos y define las características de todos sus registros.
Cartografía	Ciencia que se encarga de la construcción de mapas.
Catastro	Registro o inspección pública de la propiedad que define o reestablece límites de parcelas o propiedades públicas o privadas. Generalmente, el resultado de una actualización catastral se vuelca sobre un mapa que muestra los límites definitivos, propietarios y tasación de la tierra.

Coordenadas	Sistema de representación para la ubicación de puntos con precisión en la superficie de la tierra. Cada sistema cartográfico de proyección conlleva su propia manera de concebir las coordenadas.
Coordenada cartesiana	Punto cuya localización en el espacio esta expresada en términos de su distancia del los ejes X, Y y Z de un plano de coordenadas.
Escala	La escala es la relación matemática que existe entre las dimensiones reales y las del dibujo que representa la realidad sobre un plano o un mapa.
Geodesia	Ciencia que estudia la forma y dimensiones del planeta tierra desde una perspectiva geométrica y matemática.
Geomática	Conjunto de técnicas informáticas encargadas del tratamiento y análisis de información geográficamente referenciada. Este término, cada vez más utilizado, hace referencia al conjunto de metodologías especializadas informáticas que se han ido especializando en automatizar las tareas relacionadas con el análisis espacial.

SIG (GIS)

Geographic Information System o Sistema de Información Geográfica. Conjunto de tecnologías (software y hardware), datos y personal especializado encargados de la captura, almacenamiento y análisis de información espacialmente referenciada. Existe una controversia entre si el término debe ser acrónimo de *Geographic* o *Geographical*, puesto que el carácter de geográfico lo aporta la información y no el sistema en sí. En español, está más extendida la versión Sistema de Información Geográfica (en alusión a la información, que es quien aporta el carácter diferenciador frente a otros sistemas), pero en inglés predomina la versión *Geographic Information System* (Sistema de Información Geográfico).

GPS

Global Positioning System; Sistema de Posicionamiento Global. Sistema que permite a un usuario dotado del correspondiente receptor, conocer su ubicación espacial con precisión en cualquier parte del globo y en tiempo real. El sistema se basa en una órbita de satélites alrededor de la tierra que emiten una señal de radio; esta señal es captada por el receptor del usuario, el cual calcula la posición por trilateración. El cálculo de la posición es posible porque se conocen con exactitud la posición de los satélites, las características de la señal de radio y el tiempo que tardan las señales en llegar al usuario. El sistema GPS fue creado con fines militares por el Defensa Estadounidense, quien se encarga de su mantenimiento.

Hardware	Componentes electrónicos de un sistema. En general, el término <i>hardware</i> hace referencia a todo aquello que se puede traducir en objetos materiales (impresoras, computadoras, periféricos, etc.), en oposición al <i>software</i> , que sólo tiene una representación virtual dentro de la pantalla de la computadora.
Instancia	Término utilizado para referirse a un objeto que pertenece a una clase en particular.
JPG	<i>Joint Photographic Experts Group</i> ; Grupo de expertos en fotografía unidos. Formato de imágenes también denominado JPEG que es uno de los estándares de transmisión de fotos a través de Internet, por su buena tasa de compresión. Junto con el formato GIF es el estándar de la red.
Latitud	Se denomina latitud a la distancia angular, medida sobre un meridiano, entre la línea ecuatorial y el paralelo de una localización terrestre (o de cualquier otro planeta). Se mide en grados. Si el punto pertenece al hemisferio norte es positiva y negativa para el hemisferio sur. Varía entre 0° y 90° (norte) y entre 0° y - 90° (sur).

Longitud	En cartografía, la longitud expresa la distancia angular, medida paralelamente al plano del Ecuador terrestre, entre el Meridiano de <i>Greenwich</i> y un determinado punto de la Tierra.
Matriz	Estructura de datos en la que a cada elemento se le ha asignado un índice único. A un arreglo con un sólo índice dimensional se le llama Vector. Un arreglo con dos índices es una Tabla. Al resto de las matrices de n dimensiones (muy utilizadas en programación) se les llama matrices de dimensión n .
Metadatos	Documentación adjuntada con un conjunto de datos geográficos que documenta las características de adquisición, metodología, precisión, autoría y encuadre cronológico de los datos a los que hace referencia.
Modelo de datos	Método formal de ordenación de los datos almacenados, dirigido a recrear las condiciones de los elementos del mundo real a que hacen referencia los mismos. Un modelo de datos debe integrar reglas que regulen el tipo de datos, las relaciones y las operaciones entre éstos. Existen diversos modelos de datos (georelacionales, híbridos, etc.).

- Mosaico** Conjunto de datos (generalmente una imagen) compuesto por varias porciones más pequeñas, adyacentes entre sí, que han sido unidas en una sola más grande.
- Nodo** Punto final de un arco, en cualquiera de sus dos extremos. Los nodos son una parte fundamental de la topología vectorial, pues definen la conectividad entre arcos para sistemas de redes y para topología de polígonos.
- Órbita Geosíncrona** Tipo de órbita de un satélite que tiene una cadencia fija de un día. Es decir, cada día sidéreo (23 h. 56 min. 4 seg.) El satélite pasa por el mismo punto. Este término es frecuentemente confundido erróneamente con el concepto 'Geoestacionario', que implica una órbita que gira a la vez que la tierra y que se disponen en planos cercanos a del ecuador terrestre, lo que aparenta que el satélite no se mueve con respecto a la tierra. Una órbita geoestacionaria es un caso particular de órbita geosíncrona, pero no siempre equivalen a lo mismo. En otras palabras, todas las órbitas geoestacionarias son geosíncronas, pero no todas las órbitas geosíncronas son geoestacionarias (por ejemplo, una geosíncrona polar es imposible que sea geoestacionaria). En el caso de las órbitas geosíncronas, sí se produce la circunvalación completa relativa a la tierra.

Píxel	Unidad mínima de información dentro de un conjunto de datos raster o dentro de un <i>bitmap</i> . Se corresponde con el concepto de celda.
Plantilla	Documento que sirve de muestra para la creación de otros similares. Suele ser muy común este término en multitud de programas, donde se ofrece al usuario una galería de documentos de muestra (<i>templates</i>) con una estructura acabada que el usuario puede rellenar con sus propios datos.
Polígono	Figura geométrica plana limitada por al menos tres segmentos rectos consecutivos no alineados, llamados lados.
Raster	Modelo de datos geográfico que representa la información a través de una malla regular de tipo mosaico, donde cada celda es la unidad mínima de información que lleva asociado un número. Este número se corresponde con el valor de un fenómeno geográfico en el punto de la superficie terrestre que representa la celda. En general, las estructuras de datos raster son más efectivas que el modelo vectorial para representar datos continuos de objetos geográficos sin límites precisos.

- Rasterizar** Acción de transformar un conjunto de datos vectorial (formado por líneas, puntos o polígonos), en una estructura de datos raster. De esta forma, los datos vectoriales pasan a representarse a través de una matriz de pequeñas celdas cuadradas de igual tamaño, cada una con un valor numérico codificado en su interior.
- Rectificar** Corrección de las deformaciones de un fotograma aéreo o una imagen de satélite. La rectificación corrige tanto los efectos que distorsionan el terreno (por su ondulación), como la propia perspectiva cónica implícita en el fotograma. Casi siempre se basa en la utilización de las ecuaciones de colinealidad.
- Resolución** Nivel de detalle geométrico máximo de una fuente de datos geográfica. En el caso de datos raster, este valor equivale al tamaño de la celda base de la imagen (píxel). En el caso de datos vectoriales, el nivel de resolución va unido a la escala de compilación, resultando teóricamente en su límite de percepción visual (0.2 mm. a escala); en línea con este valor deben estar fijadas también las diversas tolerancias que afectan a los datos vectoriales: tolerancias *weed*, *grain* y proximal.

Shapefile	Formato de datos geográficos vectoriales desarrollado por ESRI e implementado en numerosas aplicaciones (<i>Arcview</i> , <i>Arcgis</i> , etc.). Es un formato de gran versatilidad, cuya estructura fue publicada. Aunque tiene el enorme inconveniente de no ser topológico, su solución es muy parecida a una topología real, lo que le hace ideal para la difusión de bases de datos geográficas con atributos asociados.
Software	Programas y aplicaciones de un sistema.
Tabla	Estructura de datos que presentan una disposición en forma tabular, con estructura de filas y columnas. Generalmente, cada base de datos puede contener varias tablas dentro de sí, pudiendo existir relaciones entre ellas a través de campos comunes.
TIFF	<i>Tagged Image File Format</i> . Formato ampliamente usado para imágenes <i>raster</i> .

- Topografía** Ciencia que estudia los métodos e instrumentos necesarios para la medición y representación precisas de la superficie terrestre a escala de detalle.
- Topología** Estructura lógica de los datos geográficos para definir las relaciones entre los distintos objetos geográficos de conectividad, adyacencia, vecindad. La topología permite diversos tipos de análisis que no necesitan de georeferenciación a través de coordenadas, como por ejemplo trazar un camino óptimo de una red o saber qué vecinos tiene un polígono dado. Una topología robusta es una de las diferencias más importantes que ofrece un SIG de alto nivel.
- WGS84** *World Geodetic System 1984*; Sistema geodésico mundial de 1984. Sistema de referencia geodésico de carácter geocéntrico desarrollado por la *Defense Mapping Agency* (DMA, ahora llamada NIMA), en 1984. Es el sistema de referencia utilizado por el sistema *GPS* y dado su carácter global que le hace aplicable en todas las partes del planeta, se ha convertido en un sistema de referencia para el paso de cartografía de un sistema geodésico a otro (utilizando WGS84 como puente).

RESUMEN

Hoy día, el manejo de grandes cantidades de datos se ha convertido en uno de los retos más difíciles de palear dentro de cualquier tipo de negocio o industria, debido a que cada día éstos deben ser más representativos de la realidad y los diferentes tipos de mercados que se tienen o se pretenden alcanzar, por lo que su forma de presentación debe ir de la mano con la magnitud e importancia de los mismos.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), tienen la capacidad de asociar diferentes tipos de datos con información de tipo geográfico, lo cual, en conjunto, nos puede brindar una poderosísima herramienta para el análisis y extracción de información muy valiosa, la que no podría ser extraída sino se contara con éste tipo de sistemas.

La creación de una base de datos geográfica confiable y eficiente es vital para el soporte adecuado de cualquier Sistema de Información Geográfica, debido a que la calidad de éste dependerá directamente de los datos contenidos en la misma y su correcta estructuración.

Un ciclo de vida adecuado, en donde se contemplen correctas fases de análisis, diseño, construcción y mantenimiento de la base de datos, nos proporcionará la herramienta adecuada para su correcta construcción, lo cual repercutirá directamente en la calidad del trabajo presentado. El uso de plantillas, patrones de diseño y construcción, mejores prácticas y una guía sistemática que nos muestre el adecuado camino a seguir para una correcta definición de la base de datos, se vuelve vital para todo aquel que desee iniciar la implementación de un SIG de alta calidad, que cumpla con los estándares implantados por empresas líderes y pioneras en el mercado con muchos años de experiencia en la creación de éstos.

Un ejemplo claro de la creación de una base de datos geográfica se muestra en el capítulo 4, en donde se ponen en práctica las diferentes técnicas y mejores prácticas presentadas en los capítulos previos, lo cual, da como resultado una base de datos geográfica totalmente funcional y eficiente para el manejo de parcelas de café ubicadas en el departamento de Sacatepéquez, Guatemala.

OBJETIVOS

General:

- Crear una base de datos geográfica funcional y eficiente para el control de parcelas de plantación de café, la cual se presentará como una guía detallada que será útil como referencia para la creación de bases de datos geográficas de cualquier tipo.

Específicos:

1. Definir los principales conceptos concernientes al uso de bases de datos geográficas.
2. Mostrar las formas de recolección de datos para bases de datos geográficas.
3. Mostrar las formas de procesamiento de datos para bases de datos geográficas.

4. Mostrar las formas de carga de datos para bases de datos geográficas.

5. Mostrar las formas de validación de datos para bases de datos geográficas.

6. Mostrar las formas de presentación de información de bases de datos geográficas.

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas mas grandes de hoy día es la inmensa cantidad de información que se maneja, por lo que uno de los retos más grandes que tenemos, no es encontrar la información, sino manipularla.

Una de las mejores formas de analizar información es el método gráfico, ya que con una simple mirada a un conjunto de gráficos, dibujos, mapas, fotografías o secuencias de éstas, se puede tener una mayor comprensión de la situación de cierto fenómeno, en lugar de ver una tabla de n columnas y con, probablemente, miles de datos. Los Sistemas de Información Geográfica o SIG, se basan en este principio para presentar información útil acerca de un fenómeno que puede ser representado mediante datos geográficos.

Las bases de datos geográficas, por su lado, son el medio de almacenamiento de la información de los SIG. Regularmente, la cantidad de información que maneja un SIG es muy grande, por lo que la creación de bases de datos geográficas eficientes es muy importante, ya que el éxito o fracaso de un SIG depende en su totalidad de los datos que pueda manejar y la información útil que se pueda extraer de ellos.

Al igual que un sistema basado en un modelo relacional de bases de datos, un modelo geográfico debe cumplir con una serie de reglas básicas para su construcción, la cual, al igual que los demás sistemas computacionales, tiene sus respectivas fases de análisis, diseño, construcción, pruebas y monitoreo, las cuales, si son bien aplicadas, darán como resultado una base de datos geográfica funcional y eficiente.

1. BASES DE DATOS GEOGRÁFICAS

1.1. Bases de datos geográficas y Sistemas de Información Geográfica

Las bases de datos geográficas, espaciales, geoespaciales o geodatabases son un conjunto de datos, los cuales representan información de mapas con datos georeferenciados que pueden ser de tipo vectorial o imágenes. Georeferenciados significa que los datos tienen una representación geográfica en el mundo real, la cual puede ser obtenida a través de diferentes fuentes de datos, como fotografías y Sistemas de Posicionamiento Global (GPS).

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) está definido como un conjunto de *hardware*, *software*, datos geográficos, personas y procedimientos, organizados para capturar, almacenar, actualizar, manejar, analizar y presentar eficientemente elementos almacenados en una base de datos geográfica.

Los SIG están fundados sobre la capacidad de organizar información en series de capas, las cuales pueden ser integradas usando la georeferenciación.

Una base de datos geográfica es la fuente principal de datos de un Sistema de Información Geográfica (SIG o *G/S*).

Cada base de datos geográfica está organizada como una serie de capas temáticas de modo que pueden representar y responder preguntas acerca de problemas específicos, tales como hidrología, catastro, transporte, medio ambiente, y otros.

Las bases de datos geográficas pueden ser modeladas y mapeadas dentro de una base de datos relacional o una orientada a objetos, lo que brinda una gran facilidad de implementación e implantación. Son manejadas en tablas estándares del SGBD (Sistema Gestor de Base de Datos) usando SQL estándar, además deben cumplir con las especificaciones de ISO/OGC *Simple Features*.

Existe una gran gama de productos que soportan y/o manejan bases de datos geográficas, como *ArcGIS Desktop* de ESRI para manejo, *Spatial* de Oracle para manejo y almacenamiento, *SQLServer 2005* e *Informix* para almacenamiento, y otros.

1.2. Representación de datos

Una base de datos geográfica está fundada en representaciones geográficas. Las entidades geográficas individuales pueden ser representadas

como *features* o características, las cuales pueden ser puntos, líneas o polígonos, a estos también se les conoce como datos vectoriales. Las superficies continuas e imágenes se representan a través de *rasters* y de Redes de Triángulos Irregulares (TIN's por sus siglas en inglés), además del uso de mapas, fotografías y ortofotografías.

1.2.1. Datos vectoriales

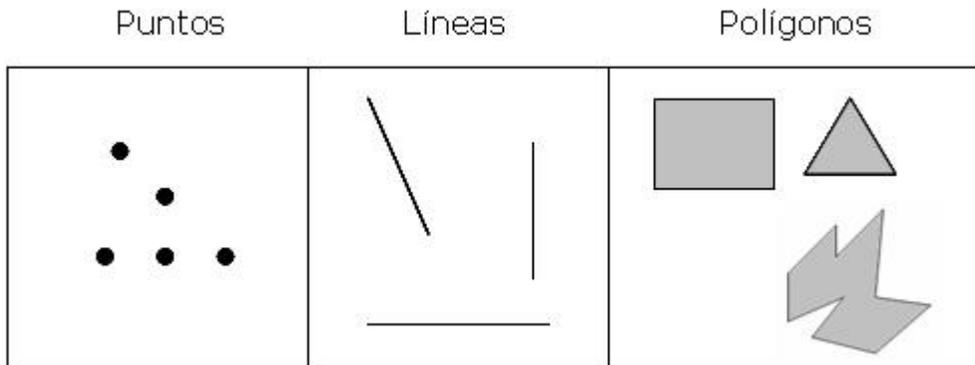
Su principal característica es el almacenamiento de coordenadas en dos o tres dimensiones, usando un formato de números decimales de alta precisión. Se utiliza para representar elementos discretos a partir de puntos, líneas y polígonos.

- Punto: Es el más elemental, corresponde a un solo grupo de coordenadas que describen una posición única en el espacio.

- Línea: Se representa con las coordenadas de un punto inicial, vértices intermedios y un punto final.

- Polígono: Es un conjunto de puntos continuos que describen una superficie cerrada, su principal característica es que el punto inicial tiene las mismas coordenadas del punto final.

Figura 1. Tipos vectoriales



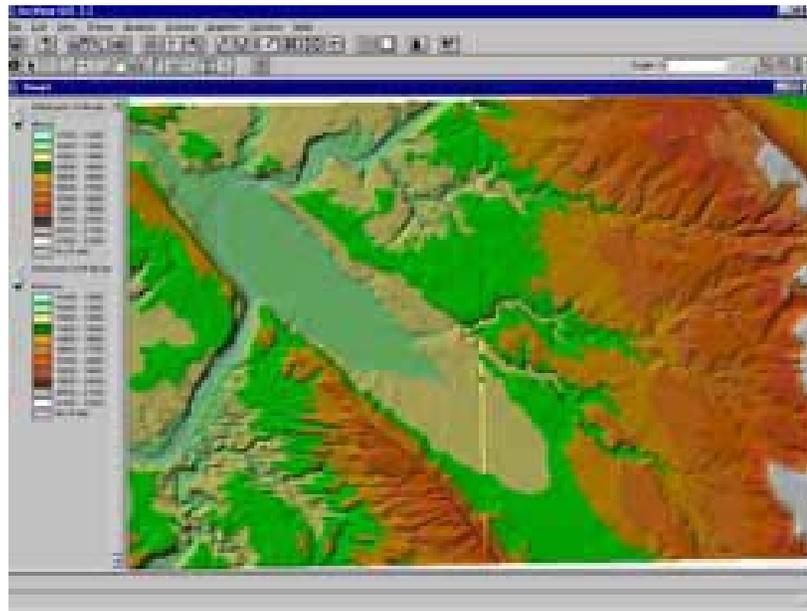
1.2.2. Datos tipo *raster*

Estos tipos de datos representan los datos de tipo gráfico, por medio de una matriz de celdas de igual tamaño, de forma que cada celda contiene un valor.

Los datos almacenados en formato *raster* son muy simples y su consumo de memoria es proporcional al tamaño de la matriz y no a la diversidad y distribución de los datos dentro de ella, lo que los hace adecuados para representar características que varían suavemente en el espacio, como la temperatura, precipitación pluvial, presión atmosférica, etc. Por otro lado, no son aptos para la manipulación, pues pierden definición con las rotaciones o cambios de escala.

Los datos en formato *raster* pueden ser temáticos, espectrales o imágenes. Los temáticos representan un fenómeno en particular y tienen asociada una tabla de atributos, los espectrales representan fluctuaciones entre zonas de la matriz, y las imágenes son representadas mediante mapas, fotografías, ortofotografías, etc.

Figura 2. *Rasters*



Fuente: <http://www.esri.com>. Abril 2007.

1.2.3. Red de triángulos irregulares (TIN)

Es representado por un número finito de puntos para caracterizar toda la superficie, pero con una distancia entre puntos variable. Cada trío de puntos contiguos define una superficie triangular plana entre ellos. La no regularidad en la distancia entre puntos permite prestar especial atención a las zonas muy irregulares, donde se concentrarán la mayor parte de los puntos.

A diferencia de otros tipos de datos, un TIN se compone de una serie de puntos con valores (x, y, z) conocidos y un conjunto de arcos que los unen para formar los triángulos.

1.3. Capas temáticas

Las representaciones geográficas están organizadas en series de capas temáticas. Una capa temática es una colección de elementos geográficos comunes, como una red de caminos, una colección de parcelas, tipos de suelo, elevaciones en una superficie, imágenes satelitales de cierta fecha, etc.

El concepto de capa temática fue una de las más recientes nociones en SIG. Se pensó en cómo la información geográfica en mapas podía ser particionada en capas de información lógica, en lugar de una colección al azar de objetos. Ésta información se organizó en capas temáticas que describen la distribución de un fenómeno y cómo debe ser interpretado a lo largo de una

extensión geográfica. Estas capas también proveen un protocolo para la recolección de datos. Por ejemplo, todas y cada una de las áreas (polígonos) en una extensión específica de terreno, puede ser asignada a un tipo de suelo, y los tipos de suelo pueden ser descritos usando propiedades o atributos para cada polígono. Un tema puede ser delineado a partir de varias áreas representando un tipo de suelo dominante.

Muchos temas pueden ser representados por una simple colección de características homogéneas, tales como tipos de suelo o localizaciones de pozos de agua, mientras otros temas, como la infraestructura de transporte, puede ser representado por múltiples arreglos de datos, como lo son las calles, intersecciones, puentes, y otros. Los arreglos de datos en mallas (matrices) son usados para representar superficies continuas, como los son las elevaciones, imágenes georeferenciadas, inclinaciones y aspecto. Estas colecciones de datos pueden ser organizadas en clases de características o *feature classes* y capas *raster*.

Frecuentemente, la representación geográfica de un tema está casi predeterminada en cierto grado por las fuentes de datos disponibles para el tema. Si una fuente de datos existente, fue recolectada en una escala y representación en particular, regularmente habrá que adaptar nuestro diseño en función de ésta.

Figura 3. Capas temáticas



Fuente: <http://www.esri.com>. Abril 2007.

Tabla I. Representaciones comunes

ALGUNAS REPRESENTACIONES COMUNES	
<i>TEMA</i>	<i>REPRESENTACIÓN GEOGRÁFICA</i>
Hidrografía	Líneas
Caminos	Líneas
Vegetación	Polígonos
Áreas Urbanas	Polígonos
Fronteras	Polígonos
Elevación	Líneas
Localización de Pozos	Puntos
Ortofotografía	<i>Raster</i>
Imágenes Satelitales	<i>Raster</i>
Parcelas de Tierra	Polígonos
Registros de Impuestos por Parcelas	Tablas

Fuente: Arctur y Zeiler. **Designing Geodatabases**. Pág. 4.

1.4. Dentro de la base de datos geográfica

Un esquema de base de datos geográfica incluye definiciones, reglas de integridad y comportamiento, para una colección de arreglos de datos usados para representar la colección de capas temáticas en un SIG. Cada diseño incluye propiedades para clases características, topologías, redes, catálogos *raster*, relaciones, dominios y demás. Entender estos elementos es importante para la construcción de un diseño eficiente.

Un modelo de base de datos geográfica representa tanto las colecciones ordenadas de simples características (puntos, líneas y polígonos) y *rasters*, como las reglas y un esquema de propiedades que le añaden riqueza al SIG.

1.4.1. *Feature classes*

Una *feature class* o clase de características (puntos, líneas o polígonos) es una colección de características representado los mismos elementos geográficos, tales como pozos, parcelas, o tipos de de suelos. Todas las características en una *feature class* tiene la misma representación espacial (puntos, líneas o polígonos) y comparten un conjunto en común de atributos descriptivos. Las características individuales también pueden compartir relaciones espaciales con otras características. Por ejemplo, los polígonos adyacentes comparten fronteras, además no deben traslaparse unos con otros, esto es definido en las reglas de integridad topológica. Características lineales casi siempre son parte de de una red interconectada, por ejemplo, una red de calles.

1.4.2. *Datasets*

Estos son especificaciones para una *feature class*, un catálogo *raster* o una tabla de atributos y el conjunto de atributos en cada tabla. Para representaciones espaciales, se pueden ver propiedades geométricas, tales como puntos, líneas y polígonos. También tienen especificados los subtipos.

1.4.3. *Feature datasets*

Los *feature datasets* o arreglo de datos de características, son colecciones organizadas de *feature classes* que comparten características en común. Las *feature classes* están organizadas en *feature datasets* integrados para muchos propósitos, principalmente para el manejo de relaciones espaciales entre *feature classes* relacionadas.

1.4.4. Topologías y redes

Las topologías definen cómo las características (puntos, líneas o polígonos) comparten su geometría con otras, además controla su integridad a través de reglas, por ejemplo, las cuadras de una colonia (polígonos) no se traslapan unas con otras, pero además comparten geometría con las calles que las separan (líneas).

Las redes son usadas para modelar la conectividad y flujo entre características.

1.4.5. Reglas espaciales o topológicas

Las reglas espaciales o topológicas, al igual que las topologías y sus propiedades, son usadas para modelar cómo las características comparten su

geometría con otras características. Estas reglas son críticas y ampliamente usadas en los SIG, ya que aseguran cierto comportamiento espacial e integridad en las bases de datos geográficas. Las bases de datos geográficas tienen una rica y poderosa implementación topológica para definir complejas reglas de integridad espacial.

1.4.6. Dominios

Estos representan la lista de rangos de valores válidos para los atributos. Estas reglas controlan el comportamiento del software para mantener la integridad de los datos en ciertas columnas de atributos.

1.4.7. Relaciones

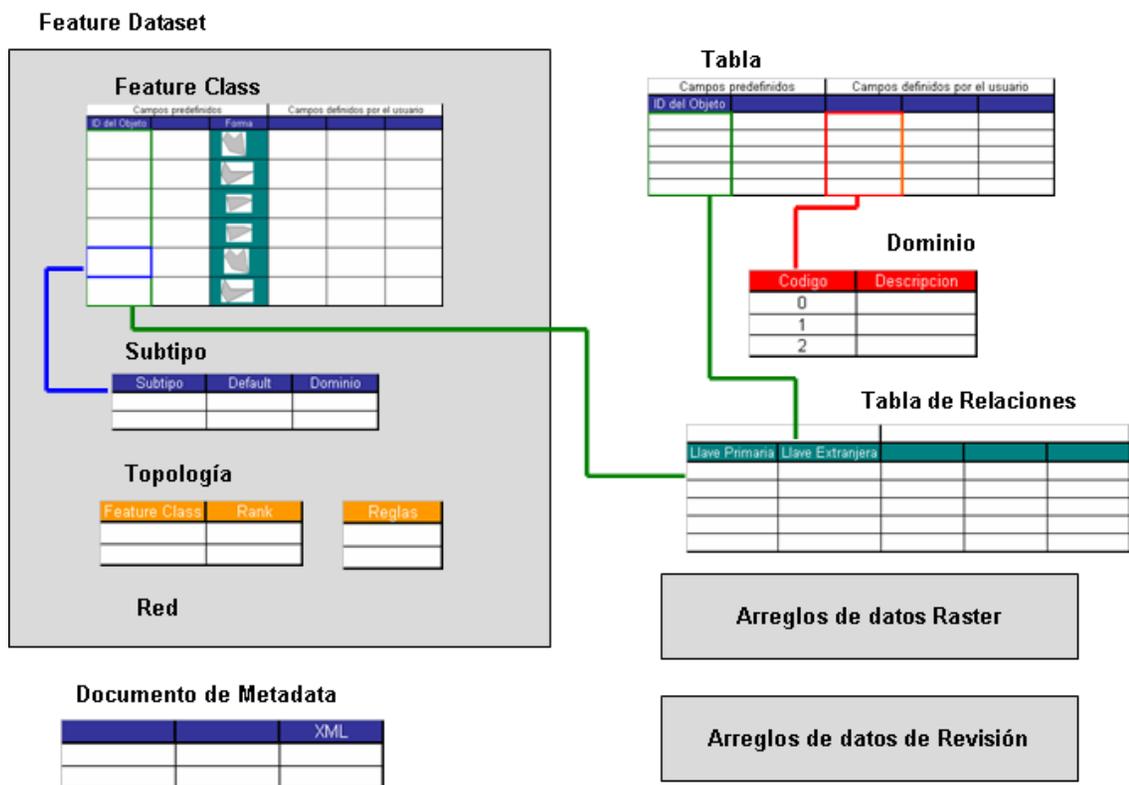
Las relaciones son ampliamente usadas en SIG, tanto como lo son usadas en los Sistemas de Administración de Bases de Datos Relacionales (SGBDR). Estas reglas definen cómo las filas o tuplas de una tabla están asociadas con tuplas de otra tabla. Las relaciones tienen una dirección y una cardinalidad.

1.4.8. Arreglos de datos *raster*

Las imágenes y otros arreglos de datos *raster* son una fuente importante de datos, los cuales pueden ser manejados usando bases de datos

relacionales. En años recientes, SGBD y SIG han evolucionado para soportar grandes colecciones de imágenes que pueden ser accedidas simultáneamente por muchos usuarios. Grandes arreglos de datos *raster* pueden ser usados para manejar datos nacionales o globales de cierta aplicación, proporcionando a su vez, altos niveles de rendimiento y acceso multiusuario a los SIG.

Figura 4. Representación gráfica de la base de datos geográfica



Fuente: Arctur y Zeiler. *Designing Geodatabases*. Pág. 7.

2. DISEÑO DE BASES DE DATOS GEOGRÁFICAS

Diseñar una base de datos geográfica se basa en la identificación de las capas temáticas a ser usadas y la especificación de los contenidos y representaciones de cada una de ellas.

El diseño envuelve la definición de cómo las características geográficas serán representadas, por ejemplo, puntos, líneas, polígonos, *rasters*, o atributos tabulares (tablas). También implica definir cómo los datos estarán organizados en las *feature classes*, tablas de atributos y tablas de relaciones, además se deben definir las reglas de integridad espacial y relacional mediante el uso de topologías, redes, catálogos *raster* y demás. Como resultado se tendrá una base de datos funcional y eficiente, lista para guardar los datos que necesitemos y brindarnos la información necesaria para nuestro SIG.

El proceso usado para diseñar una base de datos geográfica emplea métodos de diseño clave de los sistemas de gestión de bases de datos (SGBD).

2.1. Pasos para el diseño de bases de datos geográficas

El diseño de una base de datos geográfica, es construido alrededor de un conjunto de capas temáticas de información que cumplirá con conjunto particular de requerimientos. Una capa temática es una colección de características comunes, como lo pueden ser una red de caminos, un conjunto de parcelas, tipos de suelos, una superficie con elevaciones, imágenes satelitales de cierta fecha, etc.

El diseño empieza definiendo las capas temáticas para la aplicación y requerimientos de información específicos que se necesiten. Después, se definen cada capa temática en detalle. La caracterización de cada capa temática resultará en una especificación de elementos estándares de una base de datos geográfica, como lo son las *feature classes*, tablas, relaciones, arreglos de datos *raster*, subtipos, topologías y dominios.

Cuando se identifican capas temáticas en el diseño, se debe tratar de caracterizar cada tema en términos de sus representaciones visuales, su uso esperado en el SIG, sus posibles fuentes de datos, y sus niveles de resolución. Estas características ayudan a describir el contenido óptimo esperado de cada tema.

Una vez identificadas las capas temáticas claves en el diseño, el siguiente paso es desarrollar las especificaciones para representar los contenidos de cada capa en la base de datos física. Esto incluye definir cómo serán

representadas cada una de las características geográficas (puntos, líneas, polígonos, *rasters*, o atributos tabulares). También se debe definir cómo los datos estarán organizados en las *feature classes*, tablas y relaciones, y cómo se manejará la integridad espacial y de la base de datos (relacional) para implementar el comportamiento del SIG.

2.1.1. Los diez pasos para diseñar bases de datos geográficas

Los diez pasos presentados a continuación, resumen el proceso de diseño de una base de datos geográfica en general.

- La fase de diseño conceptual ayuda a identificar y caracterizar cada capa temática, identificando y especificando cada uno de los elementos que utilizaremos en nuestro diseño.

- En la fase de diseño lógico, se inicia el desarrollo de las especificaciones de representaciones, relaciones, y por último los elementos de la base de datos geográfica y sus propiedades.

- En la fase de diseño físico, se prueba y refina el diseño a través de una serie de implementaciones iniciales, en ésta fase también se documenta el diseño.

Tabla II. Los diez pasos para diseñar bases de datos geográficas

No.	TAREA	FASE
1	Identificar los productos de información que serán producidos con el SIG Mapas, modelos analíticos, reportes de la base de datos, acceso Web, flujos de datos y requerimientos empresariales.	DISEÑO CONCEPTUAL
2	Identificar las capas temáticas claves según los requerimientos de información Especificar el uso del mapa, fuente de datos, representación espacial, escala del mapa y precisión, y simbología.	
3	Especificar los rangos de escala y las representaciones espaciales para cada capa temática Los datos de cada SIG son compilados para una escala específica; la representación de características casi siempre cambia entre puntos, líneas y polígonos en escalas grandes. <i>Rasters</i> son muestreados para incluir pirámides multiresolución.	
4	Agrupar representaciones en arreglos de datos (datasets) Características discretas son modeladas con <i>feature datasets</i> , <i>feature classes</i> , reglas y dominios. Datos continuos son modelados con arreglos de datos <i>raster</i> . Datos de medición son modelados con arreglos <i>survey</i> . Datos de superficies son modelados con <i>raster</i> y <i>feature datasets</i> .	
5	Definir la estructura tabular de la base de datos y el comportamiento para atributos descriptivos Identificar campos de atributos, especificar los valores válidos y rangos, aplicar subtipos para controlar el comportamiento, y modelar las relaciones.	DISEÑO LÓGICO
6	Definir las propiedades espaciales de los datasets Usar redes para sistemas conectados de características y topologías para forzar la integridad espacial y geometría compartida. Poner la referencia espacial para el <i>dataset</i> .	
7	Proponer un diseño de base de datos geográfica Tomar decisiones de aplicación de elementos estructurales de la base de datos geográfica y preparar un diseño. Estudiar diseños existentes como ejemplos.	
8	Implementar, prototipar, revisar, y refinar el diseño Partiendo del diseño inicial, construir una base de datos geográfica y cargar datos. Realizar pruebas y refinar el diseño.	DISEÑO FÍSICO
9	Diseñar flujos de trabajo para construir y brindarle mantenimiento a cada capa Cada capa tiene distintas fuentes de datos, precisión, metadatos, y acceso. Definir flujos de trabajo de acuerdo a las necesidades.	
10	Documentar el diseño usando métodos apropiados Usar dibujos, diagramas de capas, diagramas de esquema, y reportes para comunicar el modelo de datos.	

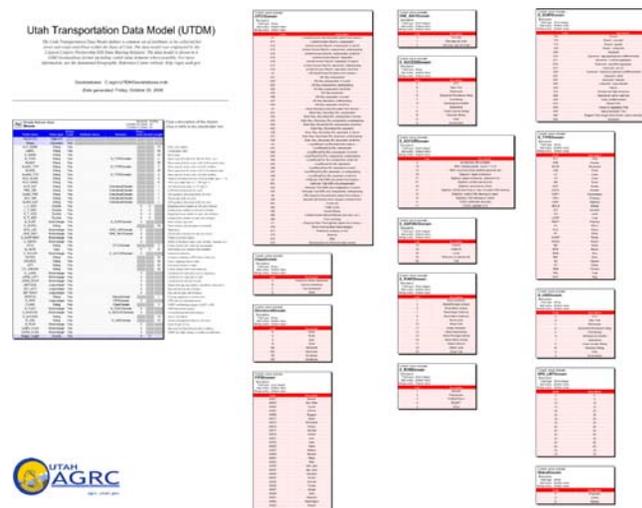
Fuente: Arctur y Zeiler. *Designing Geodatabases*. Pág. 9

2.2. Diagramación del modelo

Parte del diseño de una base de datos geográfica es la documentación de los modelos de datos, para esto existen una serie de herramientas que nos pueden ayudar a llevar a cabo la tarea.

Una de éstas es la herramienta llamada *Geodatabase Diagrammer* de ESRI, la cual analiza la estructura de una base de datos geográfica almacenada y genera un documento de Microsoft Visio, el cual contiene una serie de diagramas que representan la base de datos geográfica. Estos diagramas son generados en el formato mostrado en la figura 4 del capítulo 1 de éste trabajo de investigación.

Figura 5. Ejemplo de salida de *Geodatabase Diagrammer* de ESRI



Fuente: <http://agrc.utah.gov>. Abril 2007.

2.3. Patrones de diseño

En cualquier ejercicio de modelado de datos se encuentran patrones comunes de diseño. A continuación se muestra una serie de patrones de diseño en bases de datos geográficas, que cubren muchos puntos importantes para su modelado. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que el mejor modelo para nuestra aplicación es la que cumple con los requerimientos de nuestro cliente, mediante el correcto balance de la integridad del modelo geográfico y relacional, la producción cartográfica (mapas), y el acceso a la información. La efectividad del modelo de datos también depende de las restricciones de presupuesto y de las fuentes de datos.

A continuación se muestra una serie de patrones frecuentemente encontrados para los elementos de las bases de datos geográficas, con algunas guías y consideraciones.

2.3.1. Patrones para *feature datasets*

Hay muchas razones para agrupar *feature classes* en *feature datasets*.

- Primero, se deben agrupar las características que participan en topologías y redes en un *feature dataset* común. Esto es porque cuando se está trabajando con reglas que especifican cómo características (*features*) se tocan, coinciden, intersecan, o

contienen unas a otras, éstas deben estar en la misma referencia espacial.

- Segundo, cuando se están editando *feature classes*, todas las que se encuentran en un mismo *feature dataset* se abren para edición. Se deben agrupar solamente las *feature classes* que normalmente se editarían en conjunto.
- Finalmente, se pueden usar los *feature datasets* para agrupar temáticamente las *feature classes* similares.

Se debe tomar en cuenta que los *feature datasets* no sirven para organizar las *feature classes*, así como las carpetas sirven para organizar archivos.

Los *feature datasets* son contenedores para conjuntos de características espacialmente relacionados. Cada *feature dataset* tiene definida una referencia espacial en común para todas sus *feature classes*; es así como la base de datos geográfica asegura la conectividad y topología de características que se tocan, coinciden, se sobreponen, se cubren o intersecan con otras.

PATRÓN: Se deben usar *feature datasets* para agrupar *feature classes* a las que se quieren definir topologías o redes en conjunto, o las que se quieren editar simultáneamente.

REGLAS:

- Las *feature classes* editadas juntas pueden ser agrupadas en un mismo *feature dataset*.
- Las *feature classes* que típicamente no se editan juntas deben ser puestas en *feature datasets* o bases de datos geográficas diferentes.
- Las *feature classes* que participan en una red geométrica o en una topología, deben ser agrupadas en un mismo *feature dataset*.
- Una *feature class* no puede participar en más de una topología o red.

2.3.2. Patrones para subtipos

Los subtipos son una forma de limitar el número de *feature classes* requeridas en el modelo, a la vez que brindan un poderoso conjunto de reglas para asegurar atributos, relaciones, redes, y la integridad topológica. Cuando se debe escoger entre definir un conjunto de *feature classes* similares o una *feature class* con el mismo número de subtipos, se deben escoger los subtipos a menos que el número de atributos o tipos geométricos sean diferentes.

Los subtipos proveen un mecanismo para agregar un comportamiento específico, por ejemplo, sería tener el conjunto camino, calle principal y calle secundaria, para una *feature class* de una calle.

Se debe tomar en cuenta que la lista de subtipos se debe mantener pequeña, ya que cada uno de los subtipos debe ser representativo de una gran cantidad de valores posibles.

PATRÓN: Los subtipos permiten aplicar un sistema de clasificación a una *feature class* y aplicarle cierto comportamiento a través de reglas. Los subtipos son esenciales para el buen diseño de bases de datos geográficas porque ayudan a reducir el número de *feature classes* y mejoran el rendimiento.

Los subtipos son una herramienta poderosa para el modelado de datos, porque permiten controlar todos los comportamientos configurables en una base de datos geográfica, como las reglas de atributos, reglas de relaciones, reglas de redes, y reglas de topología, sin tener que crear más tablas. El resultado es un modelo muy bien granulado, buen rendimiento, y una buena discriminación de comportamientos.

A continuación se presenta una tabla comparativa del uso de subtipos y el uso de múltiples *feature classes* en el diseño de una base de datos geográfica.

Tabla III. Tabla comparativa de uso de subtipos y múltiples *feature classes*

	USO DE SUBTIPOS	USO DE MÚLTIPLES <i>FEATURE CLASSES</i>
Colecciones	Los subtipos definen colecciones de características en una sola <i>feature class</i> .	Las <i>feature classes</i> almacenan colecciones de características en la base de datos geográfica.
Comportamiento	Permite el control del comportamiento a un nivel de subtipo.	También se puede controlar el comportamiento mediante una <i>feature class</i> .
Beneficio	Los subtipos reducen el número de <i>feature classes</i> .	Múltiples <i>feature classes</i> brindan completa flexibilidad de modelado.
Reglas	Los subtipos definen dominios de atributos, valores por defecto de atributos, reglas de conectividad, reglas de relaciones, reglas de red, y reglas topológicas.	Las <i>feature classes</i> definen dominios de atributos, valores por defecto de atributos, reglas de conectividad, reglas de relaciones, reglas de red, y reglas topológicas.
Atributos	Las características deben tener los mismos atributos.	<i>Feature classes</i> diferentes pueden tener diferentes atributos.
Tipos geométricos	Las características deben compartir el mismo tipo geométrico (punto, línea o polígono)	<i>Feature classes</i> diferentes pueden tener diferentes tipos geométricos.
Pros	Los subtipos proveen flexibilidad para aplicar reglas a colecciones de características sin requerir una <i>feature class</i> separada. Menos clases resultan en menores consultas a la base de datos.	Múltiples <i>feature classes</i> permiten diferentes atributos para colecciones de características. También permite diferentes participaciones en topologías, redes y clases de relaciones.
Contras	Los subtipos no pueden ser usados cuando hay distintos atributos, tipos de características, o reglas topológicas en la colección de características.	<i>Feature classes</i> adicionales incrementan el número de consultas a la base de datos.
Recomendaciones	Usar subtipos para reducir el número de <i>feature classes</i> en el modelo de datos	Usar múltiples <i>feature classes</i> cuando se necesite más flexibilidad para definir atributos o tipos geométricos.

Fuente: Arctur y Zeiler. *Designing Geodatabases*. Pág. 19.

2.3.3. Patrones para relaciones

Un SIG integra espacialmente información. Cuando se diseñan relaciones entre características, se debe usar el SIG para descubrir las relaciones espaciales, como toques, traslapes, intersecciones, y cubrimientos, por ejemplo, un transformador eléctrico que conecta una línea secundaria con una primaria, podría tener una asociación definida exclusivamente para la proximidad espacial. Cuando se diseña, no se pueden usar las relaciones espaciales. Existen muchas maneras de implementar asociaciones, como la geometría durante la edición, clases de relaciones, y uniones.

Se pueden modelar relaciones espaciales usando topologías y redes, y con asociaciones generales, mediante las relaciones de atributos en la base de datos.

PATRÓN: El uso de clases de relaciones para la integridad referencial persiste en las bases de datos geográficas, las relaciones *on-the-fly* mejoran el rendimiento de edición, y los *joins* ayudan en el etiquetamiento y simbología.

Las clases de relación, proveen un ambiente rico para el aseguramiento de la consistencia en asociaciones entre característica y objetos. Como parte del modelo de datos de la base de datos geográfica, las clases de relación participan en la edición de transacciones así como en el versionamiento.

Las relaciones *on-the-fly*, también llamadas conexiones, son definidas como propiedades de una capa de mapa. Proveen integridad básica con alto rendimiento.

Los *joins* son definidos a través de la base de datos relacional para hacer consultas SQL estándares a través del espacio de trabajo así como las diferentes fuentes de datos.

A continuación se presenta una tabla comparativa del uso de clases de relación, relaciones *on-the-fly* y *joins* en el diseño de una base de datos geográfica.

Tabla IV. Tabla comparativa de uso de relaciones

	CLASES DE RELACIÓN	RELACIONES ON-THE-FLY	JOINS
Alcance	Base de datos geográfica	En el área de trabajo o la fuente de datos.	En el área de trabajo o la fuente de datos.
Framework	Modelo de datos de la base de datos geográfica	Definido en la capa de mapa.	Base de datos relacional a través de SQL
Usos típicos	Modelación de objetos compuestos.	Edición de elevaciones.	Etiquetamiento y simbología.
Objetos Compuestos	Si.	No.	No.
Integridad Referencial	Si.	No.	No.
Mensajes	Si.	No.	No.
Atributos	Si.	No.	No.
Reglas de Relación	Si, por subtipo.	No.	No.
Cardinalidad	Hasta muchos a muchos.	Uno a uno y uno a muchos.	Uno a uno y uno a muchos.

Pros	Manejo de la integridad referencial y comportamiento de mensajes.	Puede cruzar el espacio de trabajo y las fuentes de datos.	Puede cruzar el espacio de trabajo y las fuentes de datos. Puede ser usado por consultas SQL, etiquetamiento y simbología.
Contras	Se debe definir solamente entre tablas de la misma base de datos geográfica. Sigue necesitando de <i>joins</i> para consultas SQL, etiquetamiento y simbología.	No tiene integridad referencial, no soporta la cardinalidad muchos a muchos, sigue requiriendo de <i>joins</i> para consultas SQL, etiquetamiento y simbología	No tiene integridad referencial, no soporta relaciones de muchos a muchos.

Fuente: Arctur y Zeiler. *Designing Geodatabases*. Pág. 21.

2.3.4. Patrones para topologías

La topología en un SIG es usada para asegurar la integridad de las relaciones espaciales entre característica que comparten geometría.

La topología puede ser considerada un tipo especial de relaciones entre características. El modelo de datos va a ser más eficiente si se pueden asociar características por topología en lugar que por una clase de relación.

Hay dos tipos de topologías en SIG, las topologías de base de datos geográfica, que es el agrupamiento de *feature classes* con un conjunto de reglas de topológicas que definen el comportamiento característica geométrica. Y están las topologías de mapas, que es una simple topología que se puede imponer sobre característica simples en un mapa durante la edición.

PATRÓN: Se tienen dos paciones para validar las relaciones espaciales, las topologías de base de datos geográfica, las que brindan una amplia colección de reglas topológicas configurables, y las topologías de mapas, que hacen fácil la edición.

Una topología de base de datos permite modelar relaciones geométricas precisas entre características. Una topología de mapa, brinda una edición topológica eficiente.

A continuación se presenta una tabla comparativa del uso de topologías de la base de datos y topologías de mapa, en el diseño de una base de datos geográfica.

Tabla V. Tabla comparativa de uso de topologías

	TOPOLOGÍAS DE BASE DE DATOS GEOGRÁFICA	TOPOLOGÍAS DE MAPA
Descripción	Es usada para integrar características geométricas, validar características, controlar la edición, y definir relaciones entre características.	Es usada para integrar características geométricas y controlar la edición.
Alcance	<i>Feature classes</i> en un <i>feature dataset</i> .	<i>Feature classes</i> en múltiples <i>feature datasets</i> o <i>shapefiles</i> en una carpeta.
Definición	Objeto en un <i>feature dataset</i> con reglas topológicas.	Creado por el usuario.
Reglas	El usuario pone cualquiera de las docenas de reglas topológicas.	Reglas como coincidencia, cubrimiento, cruce, etc.
Validación	Las reglas se evalúan cuando la topología es validada.	Durante la edición.
Errores	Simbología de errores en la capa de topología.	No pueden haber errores.
Corrección de errores	Mediante un manejador de errores.	No pueden haber errores.
Pros	Se manejan una serie de reglas y errores asociados con las violaciones de esas reglas. Ellas definen relaciones espaciales válidas entre características.	Las <i>feature classes</i> participantes pueden estar en diferentes <i>feature datasets</i> . Las topologías de mapa pueden ser usadas con <i>shapefiles</i> . No incurren en edición posterior.
Contras	Puede incurrir en edición posterior y consideraciones de flujos de trabajo.	No tienen reglas ni errores. Son definidas durante la edición y no en el modelo de datos.
Recomendaciones	Usar topologías de bases de datos geográficas cuando se quiere aplicar un de reglas topológicas.	Usar topologías de mapa cuando se quiere realizar una rápida edición de límites.

Fuente: Arctur y Zeiler. *Designing Geodatabases*. Pág. 23.

2.3.5. Patrones para redes lineales

Una red es un sistema de vértices y aristas que transmiten o transportan objetos y recursos, tales como carros, electricidad, y agua. Las redes geométricas son un mecanismo para representar conectividad entre aristas y vértices. Se pueden definir reglas de conectividad en una red, lo que puede restringir cuántas aristas pueden ser conectadas a cierto vértice, así como validar combinaciones válidas de características de redes.

La base de datos geográfica tiene dos representaciones de sistemas lineales, las redes geométricas y las redes lógicas. Las redes geométricas son un conjunto de características que participan en un sistema lineal y están asociadas con una red lógica, es una gráfica de red que consiste en aristas y vértices. Cuando se edita la red geométrica, la red lógica debe actualizarse automáticamente.

PATRÓN: Si se está modelando una red de cualquier tipo, se deben considerar las redes geométricas, ya que son usadas para trazo de redes y análisis.

Una red se puede ver como una colección de objetos geográficos, como rieles, caminos, y puentes, y también se puede ver como una simple red de aristas y vértices. Las redes geométricas permiten interactuar con características (puntos, líneas y polígonos) y construyen una red lógica para un trazo rápido.

Tabla VI. Tabla de características de una red geométrica

Descripción	Una red geométrica es un conjunto de características de red, que modelan sistemas, tales como transporte, hidrografía, y otros.
Alcance	Una red geométrica contiene todas las <i>feature clases</i> de la red en un solo <i>feature dataset</i> .
Definición	Es un conjunto de todas las características de red y reglas de integridad.
Reglas	Los usuarios pueden restringir el comportamiento de la red mediante reglas de red.
Validación	La conectividad es asegurada en tiempo de edición.
Pros	Las redes geométricas proveen una red rápida y trazo de capacidades. Ellas mantienen la conectividad durante la edición y la actualización. Se pueden modelar vértices y aristas simples y complejas.
Contras	El mantenimiento de de la red lógica agrega tiempo de edición y manejo de versiones.
Recomendaciones	Usar redes geométricas cuando el modelo de datos y la aplicación requieran modelar la conectividad de una red con propósitos de trazado.

Fuente: Arctur y Zeiler. *Designing Geodatabases*. Pág. 25.

2.3.6. Patrones para datos *raster*

Los *rasters* están hechos de celdas distribuidas en una malla (*grid*) de dos dimensiones. Desde esta simple estructura de datos, se puede modelar una increíble variedad de fenómenos: datos temáticos, como tipo de vegetación; datos continuos, como elevación de superficies y precipitaciones pluviales; mapas rectificadas de planos o fotografías satelitales; y fotografías de características, como edificios. Las decisiones de modelado de los *rasters*

tienen que ver con la compresión de las imágenes, uso de catálogos o mosaicos de imágenes, y el tamaño de las celdas del *raster* y sus propiedades.

En SIG se definen cuatro clases en particular de *raster*:

- Imágenes ortorectificadas: Es la capa base de muchos modelos de datos. Topografía, hidrografía, y muchos otros tipos de mapas usan fotografías aéreas y satelitales. En esencia, son mapas fotográficos. Estos *rasters* pueden ser organizados en catálogos o mosaicos.

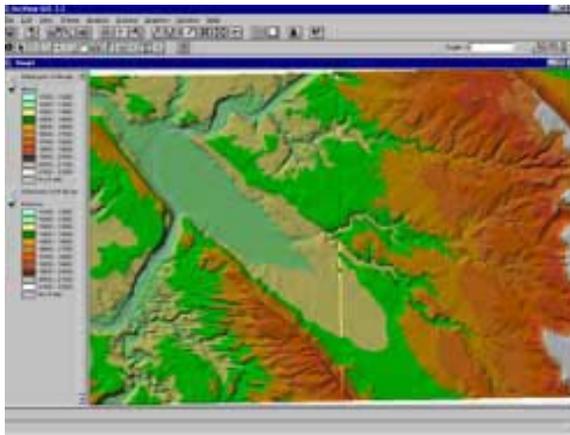
Figura 6. Imagen ortorectificada



Fuente: <http://www.epim.info>. Abril 2007.

- *Raster* de datos de elevación: Estos *raster* se mantienen en un mosaico simple de valores de elevación. Ya que las elevaciones son usadas en el análisis, estos datos no se deben perder durante la compresión.

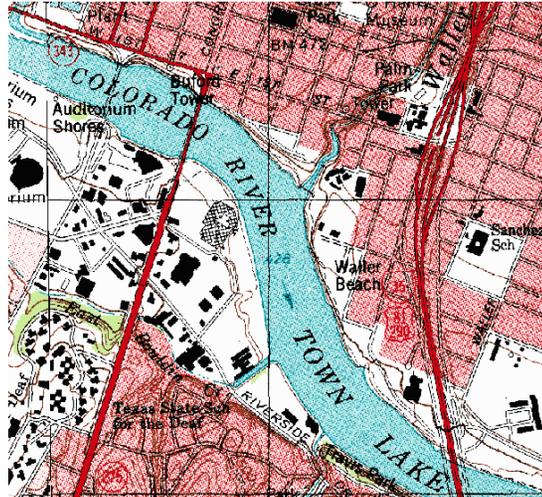
Figura 7. *Raster* de elevaciones



Fuente: <http://www.esri.com>. Abril 2007.

- Mapas escaneados: Estos mapas pueden ser conseguidos a través de fuentes de gobierno, o instituciones de estudio meteorológico.

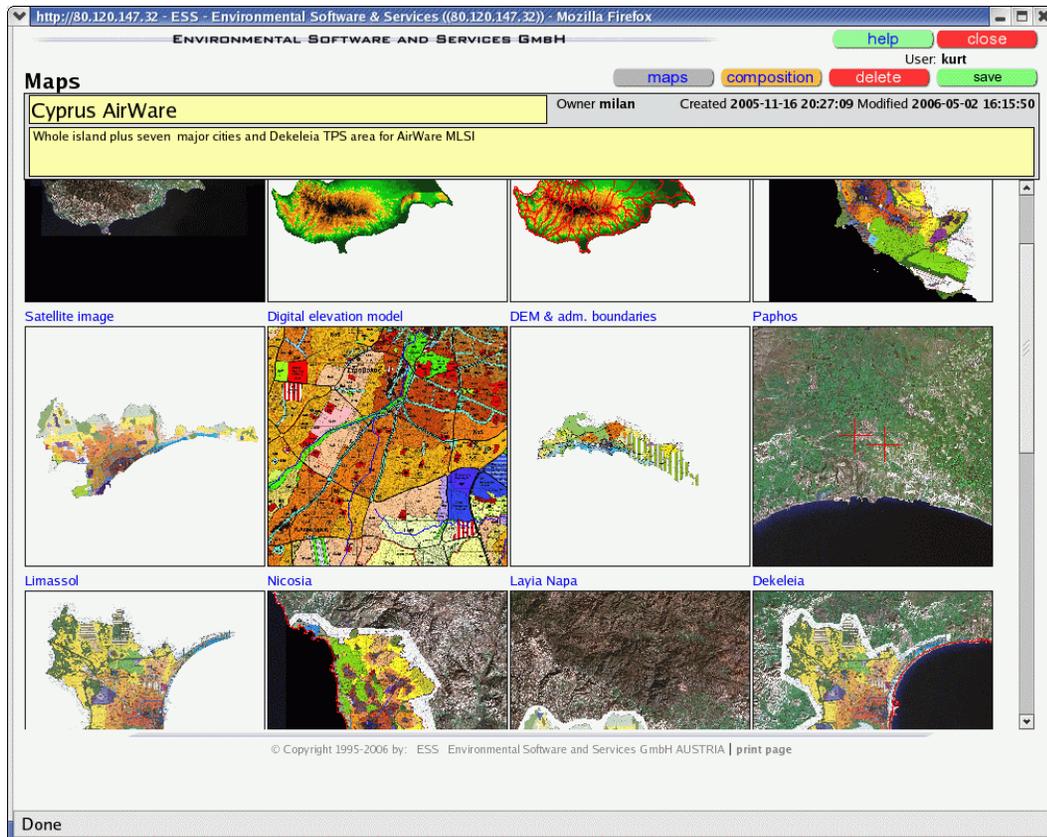
Figura 8. Mapa escaneado



Fuente: <http://www.esri.com>. Abril 2007.

- *Rasters* de series de tiempo: Algunas fuentes de fenómenos pueden ser monitoreados a través del tiempo, como el cubrimiento de la vegetación en un período determinado, o el movimiento de una tormenta. Estos *raster* son capturados de mejor manera en un catálogo sin pérdida por compresión.

Figura 9. Catálogo de *raster*



Fuente: <http://www.ess.co.at>. Abril 2007.

PATRÓN: Una decisión importante de diseño es si unir todos los *rasters* en un solo *raster* grande y continuo, o si separar los *rasters* como filas o tuplas en un catálogo *raster*.

Los *raster datasets* contienen un solo *raster* continuo, el cual, típicamente, fue construido como un mosaico de *rasters* adyacentes.

Los catálogos *raster* almacenan un conjunto de *raster datasets*, los cuales se pueden manipular de la forma que el usuario los necesite.

Tabla VII. Tabla de comparación de *rasters*

	RASTER DATASETS	CATÁLOGOS RASTER
Descripción	Muchos <i>rasters</i> pueden ser combinados en un <i>raster</i> continuo, comúnmente llamado mosaico.	Un catálogo <i>raster</i> es un contenedor de <i>raster datasets</i> . Está organizado como una tabla en la base de datos geográfica.
Alcance	Una sola tabla en la base de datos geográfica.	Una tabla de múltiples tuplas en la base de datos geográfica. Cada tupla es un <i>raster</i> .
Usos	Cuando se necesitan cubiertas sin "costuras", como en el caso de los modelos de digitales de elevación (DEM's), ortofotografías, o mapas escaneados.	Para capturar <i>raster datasets</i> masivos, fotografías aéreas, datos frecuentemente o parcialmente actualizados, o cuando se necesitan guardar datos históricos.
Pros	<i>Raster datasets</i> con pirámides, proveen un buen un buen rendimiento de despliegue. En mapas, <i>raster datasets</i> con cubiertas continuas de un área de interés.	Los catálogos <i>raster</i> también pueden tener pirámides. Son buenos para capturar fuentes de datos, como fotogrametría, y para preservar datos históricos acerca de fuentes de datos. Los catálogos son más fáciles de construir y mantener.
Contras	Solamente se almacenan un píxel por celda. El píxel más reciente se sobrescribe en el píxel previo.	En mapas, a veces es difícil trabajar con múltiples <i>rasters</i> por los traslapes, diferente iluminación, y menor rendimiento de despliegue.
Recomendaciones	Usar <i>raster datasets</i> cuanto sea importante el rendimiento de despliegue.	Usar catálogos de <i>rasters</i> para colecciones masivas de datos, <i>rasters</i> con ciclos irregulares de actualización, y para <i>rasters</i> de series de tiempo.

Fuente: Arctur y Zeiler. ***Designing Geodatabases***. Pág. 29.

2.4. Tips de diseño

Las bases de datos geográficas están diseñadas para ser usadas en escenarios prácticos de aplicación, por una gran gama de usuarios. Es importante asegurar que cada diseño sea fácil de entender e implementar. Cada modelo de datos debió haber sido construido para soportar la fácil migración de las estructuras de datos existentes, y diseñado para ser flexible, extensible, y de fácil adaptación.

A continuación se dan unos tips de diseño finales útiles en la implementación del diseño de la base de datos geográfica.

- Construir en base a diseños existentes: Sea lo que sea que se esté modelando, es posible que exista un diseño previo para lo mismo.

- Usar tipos genéricos de bases de datos geográficas cuando sea posible: Se ha encontrado que combinar estructuras de datos genéricos con herramientas poderosas para SIG, proveen los mejores resultados para escalar y soportar múltiples usuarios y aplicaciones.

- Integrar *feature classes* independientes usando topologías: Esto crea grandes ahorros en personalización y productividad del usuario.

- Combinar conceptos de diseño de bases de datos geográficas con métodos de diseño tradicionales de bases de datos relacionales: Ambas metodologías son críticas para un buen diseño de una base de datos geográfica, ya que ambas se complementan.
- Prototipar el diseño: Si prototipo el diseño, las pruebas serán más sencillas de hacer.

3. CONSTRUCCIÓN DE BASES DE DATOS GEOGRÁFICAS

Después de que se han terminado los modelos conceptuales y lógicos, el siguiente paso del proceso es crear el modelo físico o implementar el esquema de la base de datos geográfica. Mientras los modelos conceptual y lógico son independientes de una tecnología SIG específica, la creación de un modelo físico de datos requiere una plataforma de implementación. Para efectos de ejemplo se utilizará *software* de ArcGIS de ESRI.

3.1. ¿Por qué se usará ArcGIS de ESRI?

El uso de este producto es debido a la alta demanda que tiene, ya que es el líder mundial de productos relacionados con bases de datos geográficas, es por eso que se decidió usar como ejemplo de *software* para la construcción de bases de datos geográficas.

Tabla VIII. Tabla de comparación de software de SIG

Software más frecuentemente usado	% de uso
ESRI	44.57
ERDAS	19.17
Autodesk	12.95
MapInfo	8.29
RSI ENVI	7.25
Otros	7.77

Fuente: ESRI. **Revista ArcNews**. Otoño 2006. Pág. 3.

3.2. Los seis pasos para la implementación de una base de datos geográfica

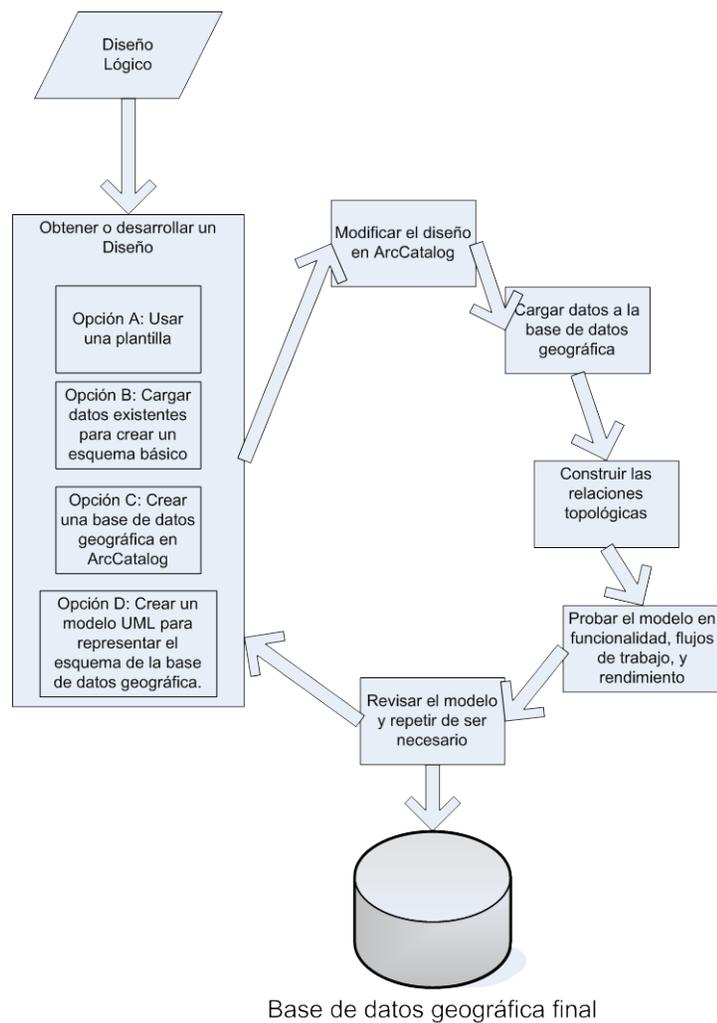
Existen muchos puntos de partida en el proceso. El que se escoja dependerá en parte de cómo el modelo de datos del diseño lógico se ajusta a un modelo de datos existente de una base de datos geográfica.

Se debe planear el prototipo del esquema en una base de datos geográfica personal para las pruebas iniciales, luego se refina el esquema y se crea una base de datos piloto para pruebas más profundas.

El proceso de implementación de un modelo físico de datos se puede realizar en seis pasos, los cuales se repiten para crear un prototipo, la base de datos piloto y finalmente la base de datos geográfica de producción. Primero se empieza con un diseño lógico para luego aplicarlo a una base de datos geográfica. Segundo, se modifica el esquema nuevo de acuerdo a nuestras

necesidades. Tercero, se cargan datos al esquema. Cuarto, se crean las relaciones topológicas, Quinto, se prueba la base de datos geográfica. Sexto, se revisa el esquema y se repite el ciclo hasta que la producción de la base de datos geográfica esté completa.

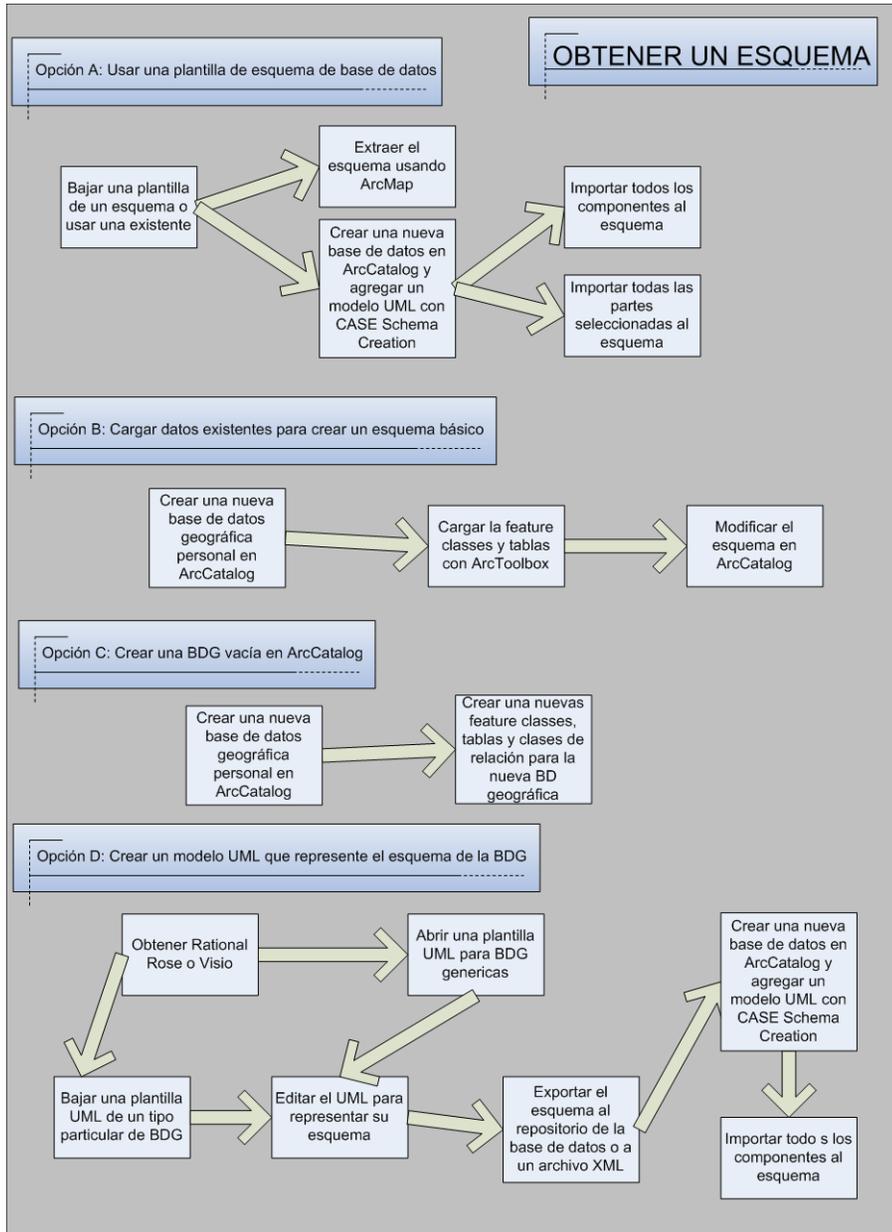
Figura 10. Diagrama de flujo de la construcción de la base de datos geográfica



Fuente: Arctur y Zeiler. *Designing Geodatabases*. Pág. 377.

3.2.1. Obtener o desarrollar un diseño

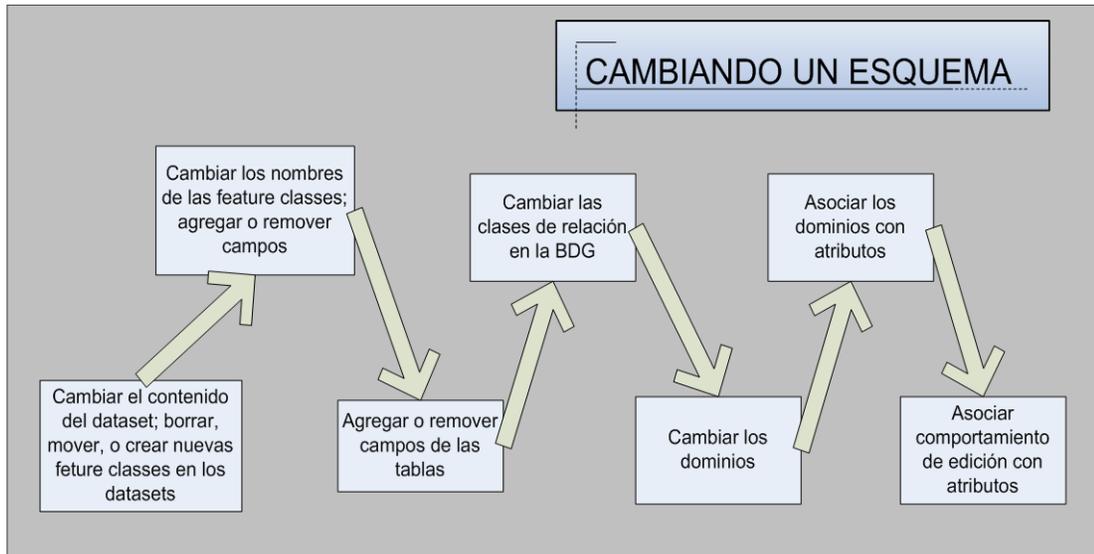
Figura 11. Diagrama de flujo para obtener o desarrollar un esquema



Fuente: Arctur y Zeiler. *Designing Geodatabases*. Pág. 381.

3.2.2. Cambiando el esquema

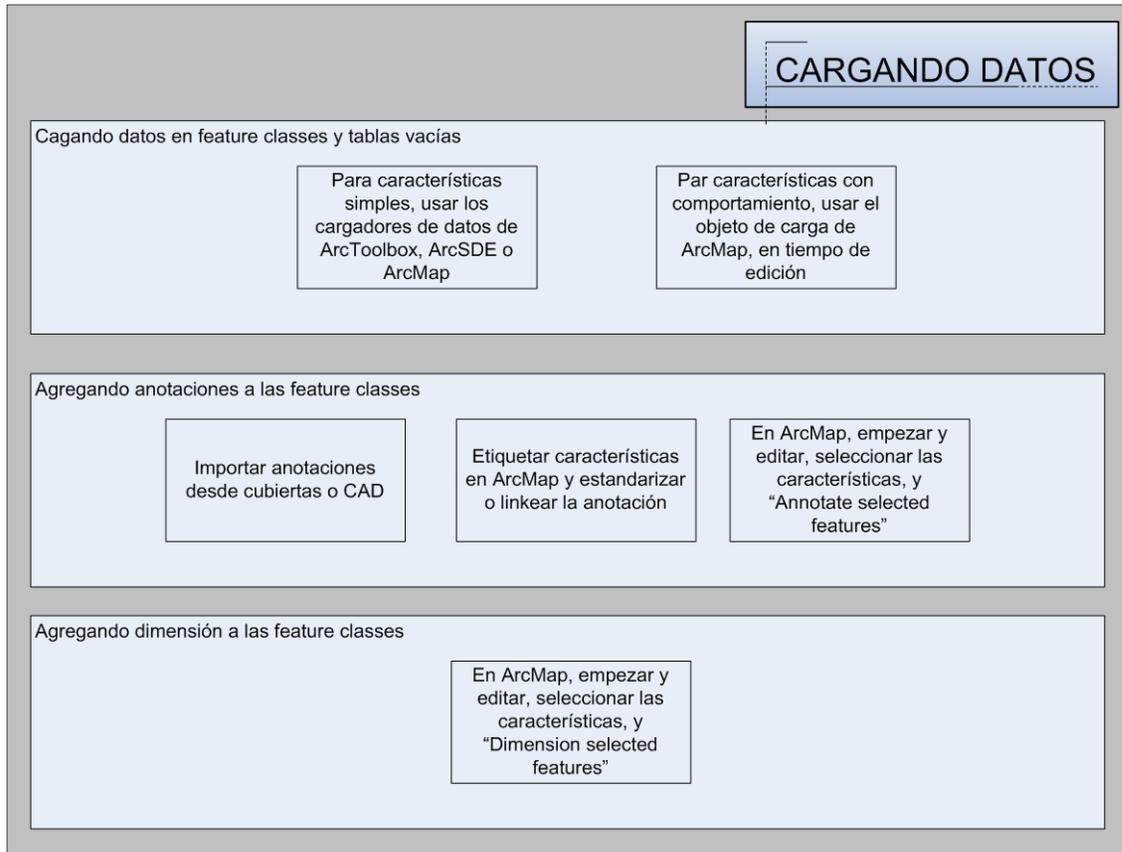
Figura 12. Diagrama de flujo para cambiar un esquema



Fuente: Arctur y Zeiler. *Designing Geodatabases*. Pág. 382.

3.2.3. Cargando datos

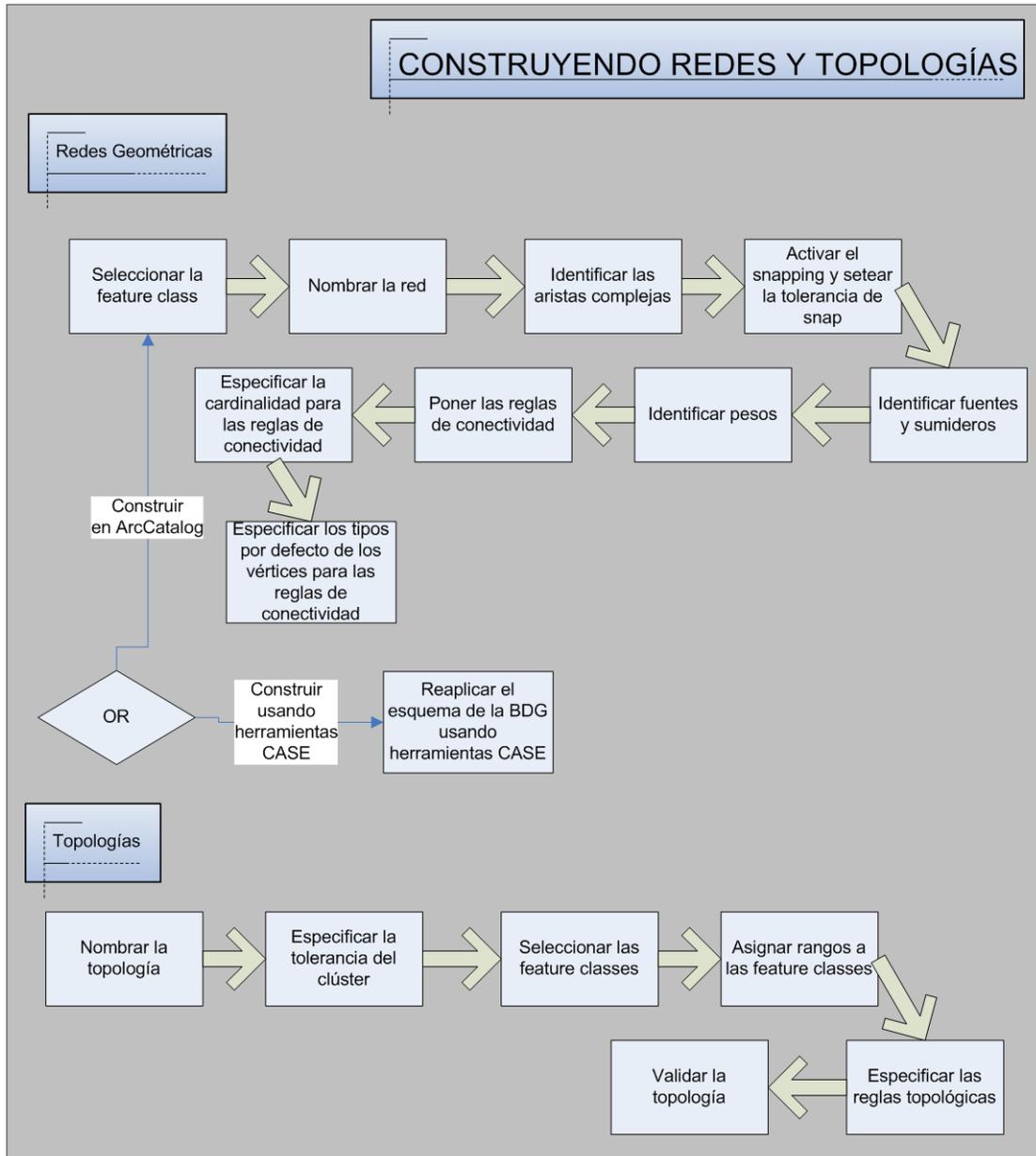
Figura 13. Diagrama de flujo para cargar datos



Fuente: Arctur y Zeiler. *Designing Geodatabases*. Pág. 385.

3.2.4. Construyendo redes y topologías

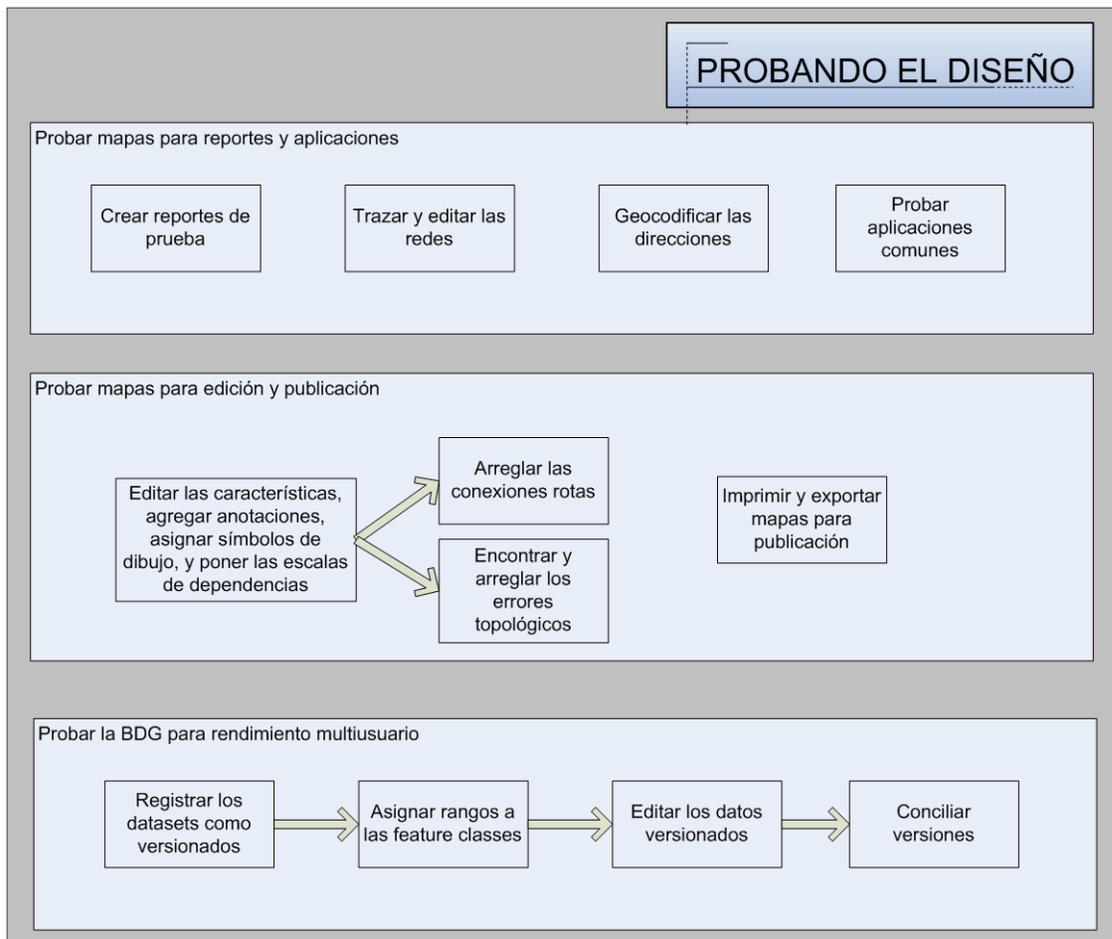
Figura 14. Diagrama de flujo para construir redes y topologías



Fuente: Arctur y Zeiler. *Designing Geodatabases*. Pág. 387.

3.2.5. Probando el diseño

Figura 15. Diagrama de flujo para probar el diseño



Fuente: Arctur y Zeiler. *Designing Geodatabases*. Pág. 389.

3.2.6. Revisando el modelo

Registrar los problemas que se descubran durante la fase de pruebas y revise el esquema de la base de datos para ver si cumple con todos los requerimientos de diseño. Sin tomar en cuenta de donde se empezó el proceso, después de la fase de prototipos, se tendrá una plantilla de base de datos geográfica con que trabajar. Esto acelerará el proceso de crear el siguiente esquema de base de datos geográfica, porque ya se puede extraer y modificar el prototipo del esquema. Si se está trabajando con una herramienta CASE, se deberá implementar los cambios al modelo en UML y volver a crear el esquema.

4. CASO PRÁCTICO: “CREACIÓN DE UNA BASE DE DATOS GEOGRÁFICA PARA EL CONTROL DE PARCELAS DE PLANTACIÓN DE CAFÉ”

Como hemos podido ver en los capítulos anteriores, la creación de una base de datos geográfica que sea funcional y sobre todo eficiente, implica una serie de pasos sistemáticos, los cuales nos guían a través de todo el proceso, que al final tiene como resultado la base de datos geográfica.

Para efectos de nuestro caso práctico, se hará uso de las herramientas *ArcCatalog*, *ArcMap* y *ArcReader*, las cuales son parte de *ArcGis Desktop* de ESRI. Por cuestiones de licenciamiento, todo el proceso de creación de la base de datos geográfica, se realizará en una versión de prueba de *ArcGis* 9.3, la cual fue proveída por la empresa Geosistec, S.A., la cual es proveedora única y oficial de ESRI para Guatemala.

Debido a que la base de datos geográfica se está realizando en una versión de prueba de *ArcGis* 9.3, todo el mapeo a la base de datos relacional se hará a una de *Microsoft Access* 2003, dado que el uso de *Sistemas Administradores de Bases de Datos* más grandes, como *SQLServer* u *Oracle*, está restringido para ésta versión.

Para la creación de la base de datos geográfica del presente caso práctico, nos basaremos en los diez pasos presentados en la Tabla II expuesta en el Capítulo 2 del presente trabajo de investigación, la cual presenta el flujo de trabajo recomendado para construir una base de datos geográfica desde cero.

4.1. Análisis y requerimientos del sistema a implementar

Guatemala, específicamente el departamento de Sacatepéquez, se ha caracterizado aparte de su patrimonio cultural y natural, por la producción de café de nivel internacional, el cual tiene una demanda muy grande en Estados Unidos, Europa y Asia.

Por otro lado, *Starbucks*, es la empresa líder a nivel mundial en la distribución de café para consumo; dicho café es obtenido de los diferentes sitios del mundo en donde se produce café en grano de calidad, como Guatemala, Brasil, Colombia, Indonesia, Vietnam, México, Costa de Marfil y otros.

La relación comercial entre *Starbucks* y fincas productoras de café de Sacatepéquez ha venido decayendo en los últimos tiempos, debido a diferencias en la cantidad del producto comercializado. Pero, ¿porqué diferencias en cantidad y no calidad? El problema principal se origina bajo las siguientes circunstancias: Supongamos que un productor de café tiene una serie de parcelas de café que en conjunto miden n cuerdas (10 cuerdas = 1 manzana =

1.7 acres = 6,987 m²), por estadísticas y/o por sentido común se sabe que una manzana de café en mata, produce m sacos de café en grano en temporada de cosecha, por lo que la producción de café de dicho proveedor, es de aproximadamente $n*m$ en una temporada de cosecha, claro, con su respectiva desviación estándar producidas por los diferentes factores externos que puedan afectar la cosecha del café. El problema principal radica en que *Starbucks* compra por adelantado toda la producción de café de cierto productor, sin embargo, cuando *Starbucks* obtiene su café, se da cuenta de que la cantidad de sacos de café varía en gran medida de lo esperado. Si se obtiene una cantidad menor de la esperada, la pregunta lógica es ¿Qué hicieron el resto del café?, y si por el contrario, se obtiene una cantidad mucho mayor a lo esperado, las preguntas se multiplican, ¿De dónde salió todo el demás café?, ¿Será que el café es de la misma calidad?, ¿Será que todo el café obtenido proviene del mismo lugar?, etc. En respuesta a esto, los productores de café alegan buenas o malas cosechas, afectadas regularmente por el clima.

Este problema ha originado una serie de conflictos entre el cliente y sus proveedores, por lo que implementar un método de monitoreo de las plantaciones de café se ha convertido en el siguiente paso a tomar. Pero para realizar un sistema de monitoreo en línea de las plantaciones de café, se necesita tener una base de datos centralizada con la información de los diferentes productores de café y sus diferentes parcelas. Este problema se vuelve muy complejo, si lo analizamos desde el punto de vista de que se tienen una serie de productores, cada uno con una serie de parcelas, cada parcela con una serie de matas de café y que cada una de éstas matas produce una cantidad específica de café. El monitoreo de cada uno de éstos aspectos, se vuelve una operación tediosa, en donde nuestros datos estarían almacenados

en tablas gigantescas de datos, en las cuales, el proceso de analizar la situación general de cierta finca de café o parcela en específico, se convierte en un proceso muy complicado.

Entonces, ¿cuál es la solución más viable para éste problema?, la respuesta es sencilla, SIG (Sistemas de Información Geográfica). Mediante la implementación de un SIG y una Base de Datos Geográfica, se pueden tener datos de todas las parcelas de café que se deseen monitorear y se pueden analizar desde un punto de vista gráfico, ya que no se deberán analizar tablas con miles y miles de datos. Mediante una representación gráfica de la información, el proceso de monitoreo de las diferentes fincas productoras de café, se vuelve un proceso sencillo y amigable para el usuario, el cual, no solo puede ser usado para procesos de análisis de producción, sino también como un proceso de mercadeo para sus productos, ya que si se le muestra a los clientes, de dónde viene y cómo se está produciendo el café que ellos están tomando, se puede justificar de una mejor manera el valor del producto.

Los requerimientos específicos a cumplir con la construcción de la base de datos geográfica, son los siguientes:

- Se conformará un Sistema de Información Geográfica (SIG) de las parcelas a monitorear, debidamente georeferenciadas, en donde se presentará la ubicación exacta de cada una de ellas.

- La base de datos geográfica estará conformada de diferentes capas de información espacial, cada una representando información específica de características importantes del sistema, como tipo de café, límites geográficos, cantidad y tipo de sombra, etc.
- Todas las capas de información espacial tendrán asociada información descriptiva que pueda ayudar a modelar la realidad geográfica de cada parcela de café.
- Todas las capas de información generadas podrán ser consultadas y visualizadas a través de un *software* capaz de interpretar la información de un SIG tal como *ArcGis Desktop*, *ArcReader* o cualquier otro *software* para sistemas de información geográfica.

4.2. Diseño conceptual de la base de datos geográfica

En ésta fase de la construcción, identificaremos y caracterizaremos cada una de las diferentes capas temáticas, identificando y especificando cada uno de los elementos que utilizaremos en nuestro diseño.

4.2.1. Identificación de los productos de información

Dentro de los productos de información identificados para el sistema están los siguientes:

- Base de datos geográfica
- Mapas
- Reportes de mapas

4.2.2. Identificación de las capas temáticas

Las capas temáticas contenidas dentro de la base de datos geográfica representarán los siguientes elementos:

- Límites geográficos de Guatemala
- Límites geográficos de las fincas

- Altitud de la parcela
- Dueños
- Tipos de café sembrado
- Temperatura
- Sombras
- *Raster* del área

4.2.3. Especificación de rangos de escala y representaciones espaciales

Los rangos de escalas para todas las capas se encontraran dentro de los siguientes límites, todo en grados decimales:

- *Oeste*: -90.849510
- *Este*: -90.670970
- *Norte*: 14.626370
- *Sur*: 14.455210

Para esto se usó el sistema de coordenadas GCS_WGS_1984.

4.2.4. Agrupación de representaciones en arreglos de datos (*datasets*)

Para el mejor manejo de las capas se definirán tres *datasets*, los cuales agruparán el conjunto de capas definidas.

Los *datasets* que se definen son:

- Geografía: Estará conformado por todas aquellas capas que se relacionan con la geografía física de las parcelas, tales como los límites geográficos y altitudes.
- Administración: Este *dataset* se conformará por aquellas capas que de una u otra forma se relacionan con el manejo del café y propiedad.
- Imaginería: Como su nombre lo indica, en este *dataset* se agruparán todas aquellas capas que impliquen imágenes de tipo *raster*.

4.3. Diseño lógico de la base de datos geográfica

En esta fase de la construcción, se inicia el desarrollo de las especificaciones de representaciones y relaciones, además, se definen las reglas de integridad espacial o reglas de integridad topológica, comúnmente llamadas topologías. Por último, se definen los elementos de la base de datos geográfica y sus propiedades.

4.3.1. Estructura tabular de la base de datos y el comportamiento para atributos descriptivos

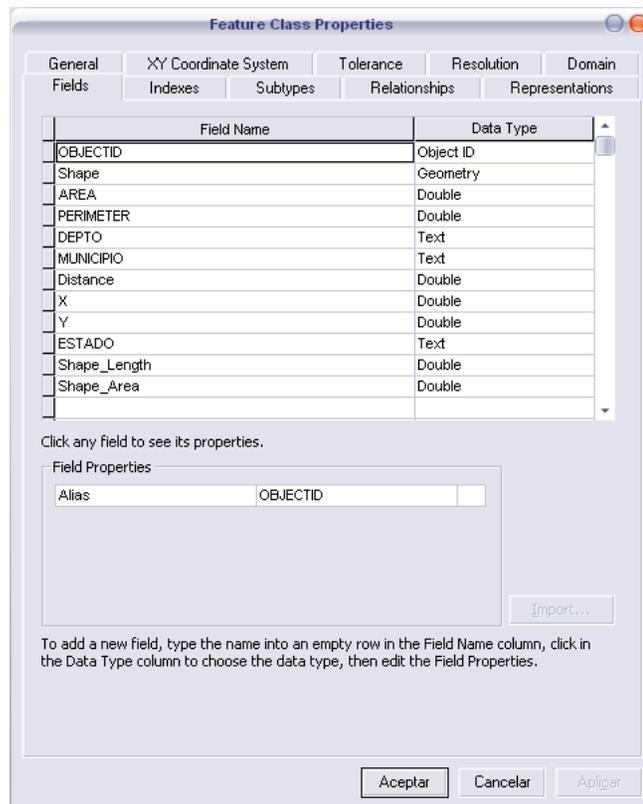
En la construcción de nuestra base de datos geográfica se definieron distintas capas temáticas, las cuales, en conjunto, dan forma a la información que queremos manejar.

A través de las ocho diferentes capas construidas, se definieron diferentes atributos para cada una de ellas, los cuales se detallan de la siguiente manera:

- En la capa “MunicipiosGuatemala”, se definieron cuatro atributos adicionales a los propios de la capa.
 - AREA: Contiene información del área cubierta por el municipio.

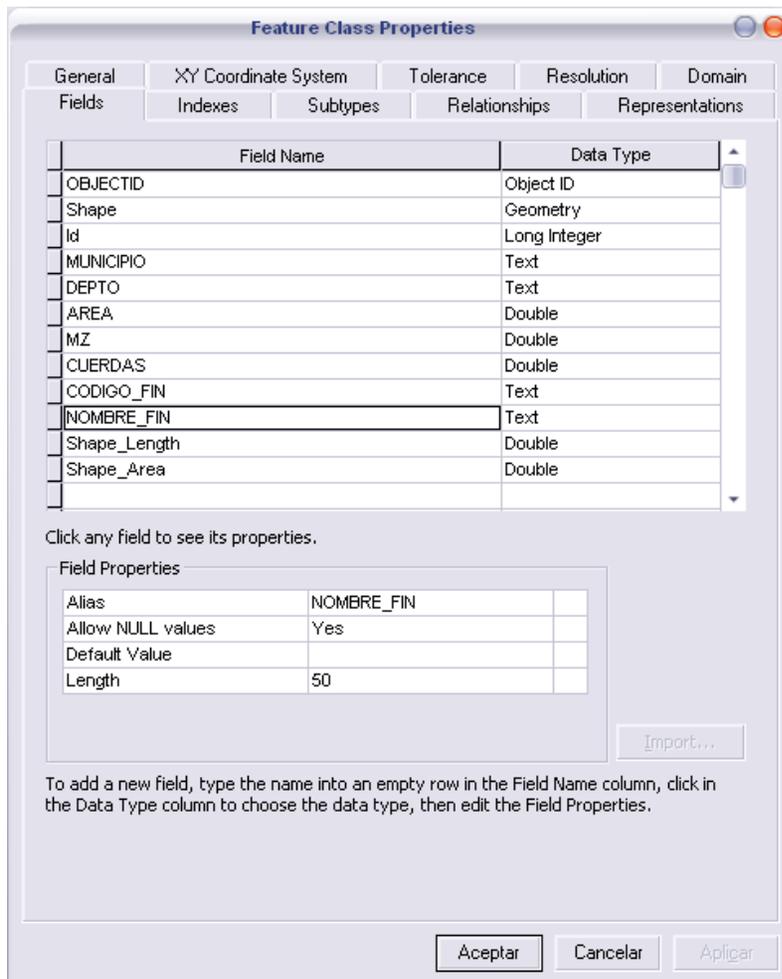
- *PERIMETER*: Contiene información del perímetro que abarca el municipio.
- *DEPTO*: Nombre del departamento al cual pertenece el municipio.
- *MUNICIPIO*: Nombre propio que identifica el municipio.

Figura 16. Definición de atributos de capa “MunicipiosGuatemala”



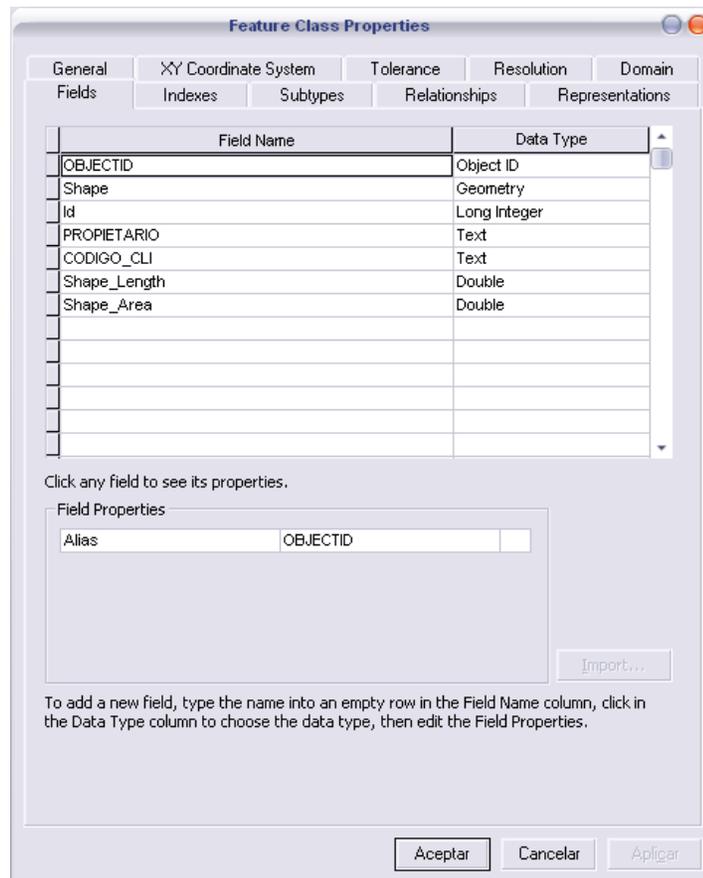
- En la capa “Parcelas”, se definieron siete atributos adicionales a los propios de la capa.
 - MUNICIPIO: Nombre del municipio donde se encuentra ubicada la parcela.
 - DEPTO: Nombre del departamento donde se encuentra ubicada la parcela.
 - AREA: Área expresada metros cuadrados de la parcela.
 - MZ: Área expresada en manzanas de la parcela.
 - CUERDAS: Cantidad de cuerdas con que cuenta la parcela.
 - CODIGO_FIN: Código de la finca en la que se encuentra la parcela.
 - NOMBRE_FIN: Nombre la finca en la que se encuentra la parcela.

Figura 17. Definición de atributos de capa “Parcela”



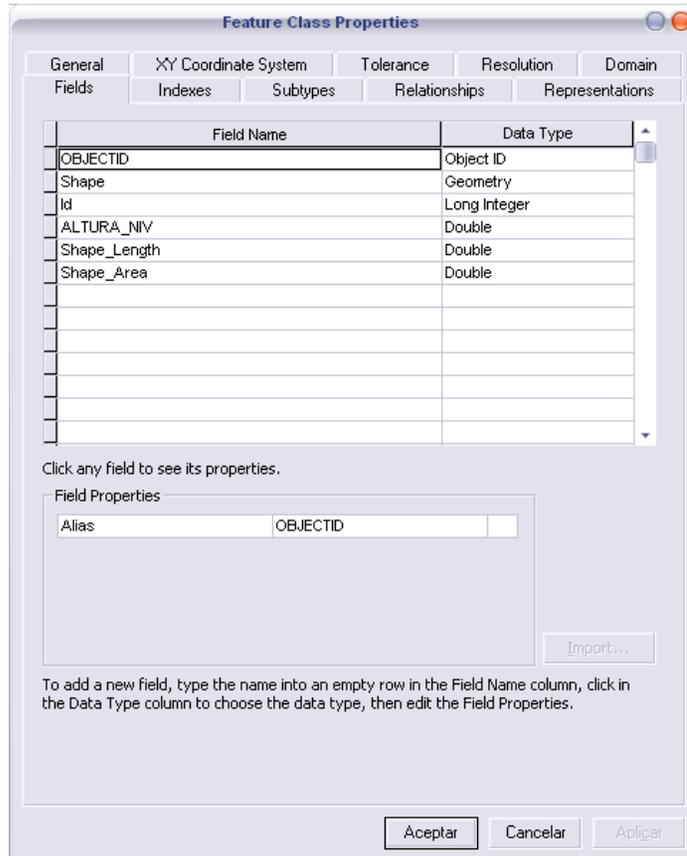
- En la capa “Dueños”, se definieron dos atributos adicionales a los propios de la capa.
 - PROPIETARIO: Nombre del dueño de la parcela.
 - CODIGO_CLI: Código del propietario en la base de datos.

Figura 18. Definición de atributos de capa “Dueños”



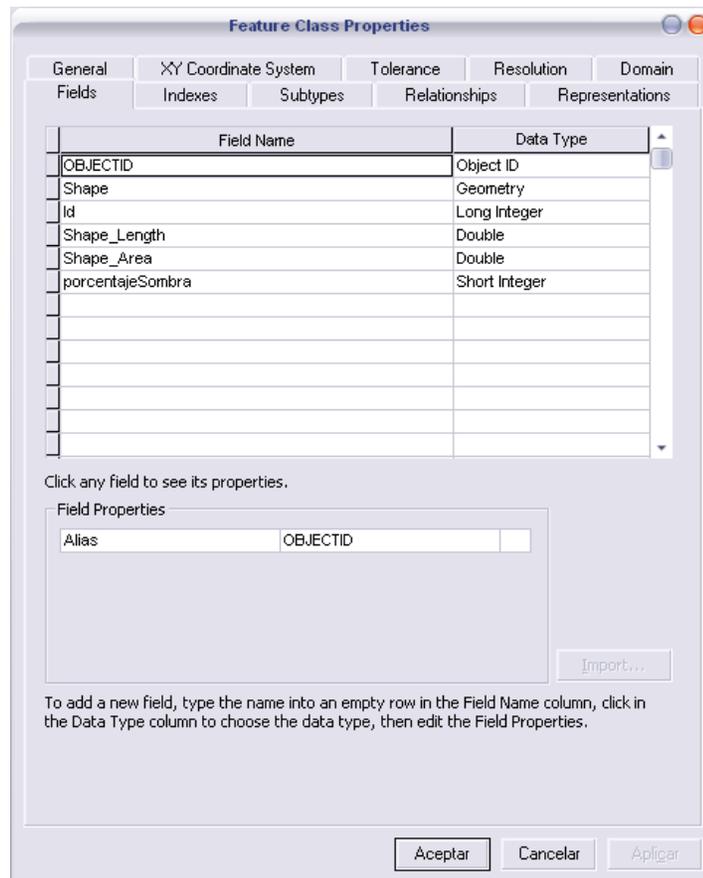
- En la capa “Altitud”, se definió un atributo adicional a los propios de la capa.
 - ALTURA_NIV: Altura promedio sobre el nivel del mar de la parcela, expresada en pies.

Figura 19. Definición de atributos de capa “Altitud”



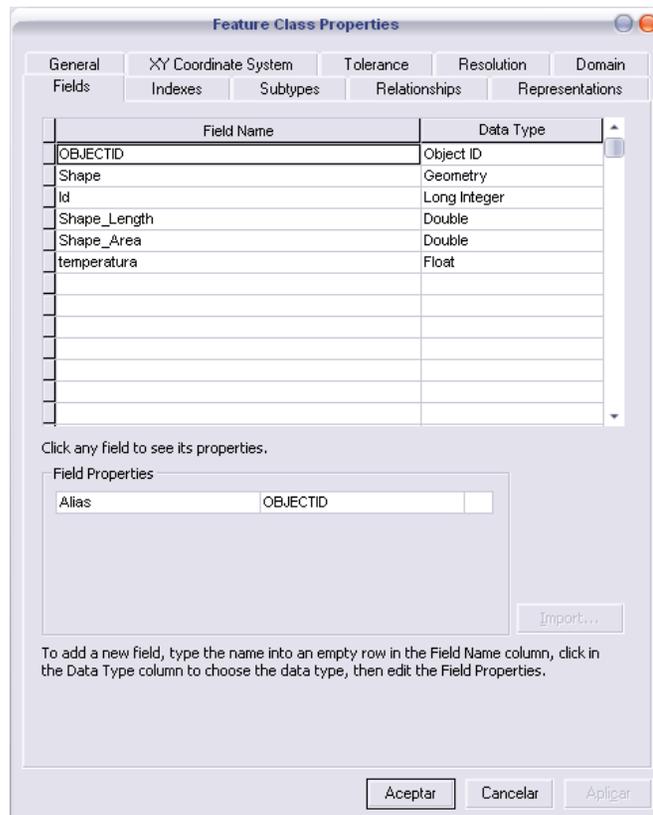
- En la capa “Sombra”, se definió un atributo adicional a los propios de la capa.
 - PORCENTAJESOMBRA: Es el porcentaje de sombra con el que se cubre a las matas de café en la parcela.

Figura 20. Definición de atributos de capa “Sombra”



- En la capa “Temperatura”, se definió un atributo adicional a los propios de la capa.
 - TEMPERATURA: Almacena la temperatura promedio de las parcela, expresada en grados centígrados.

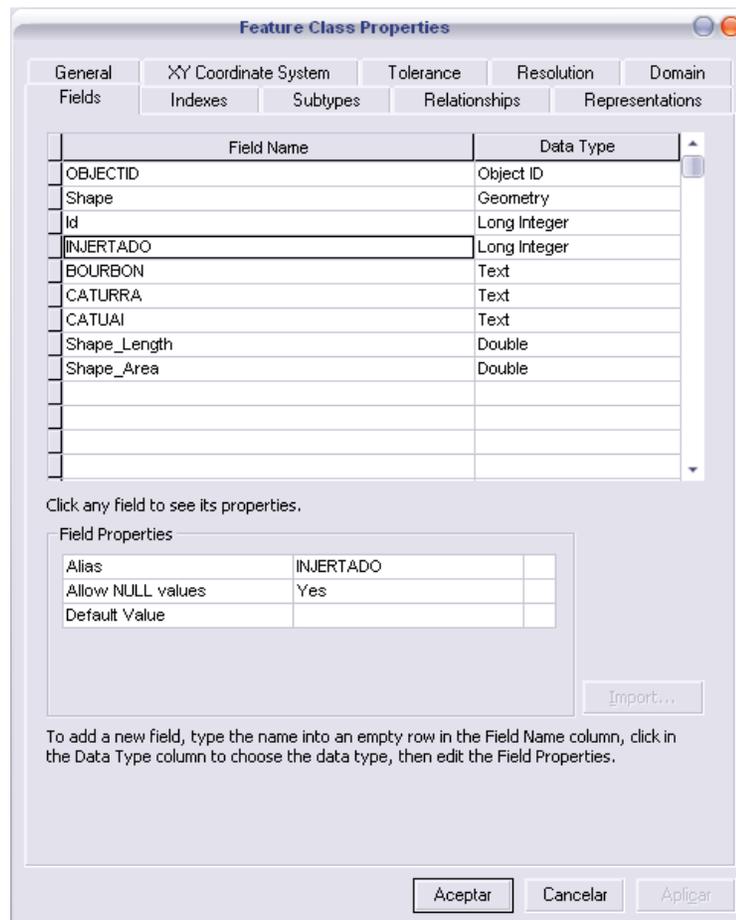
Figura 21. Definición de atributos de capa “Temperatura”



- En la capa “TiposCafe”, se definieron cuatro atributos adicionales a los propios de la capa, los cuales indican el porcentaje del tipo de café que se encuentra sembrado en la parcela.
 - INJERTADO: Indica el porcentaje de café Injertado que se encuentra sembrado en la parcela.
 - BOURBON: Indica el porcentaje de café Bourbon que se encuentra sembrado en la parcela.

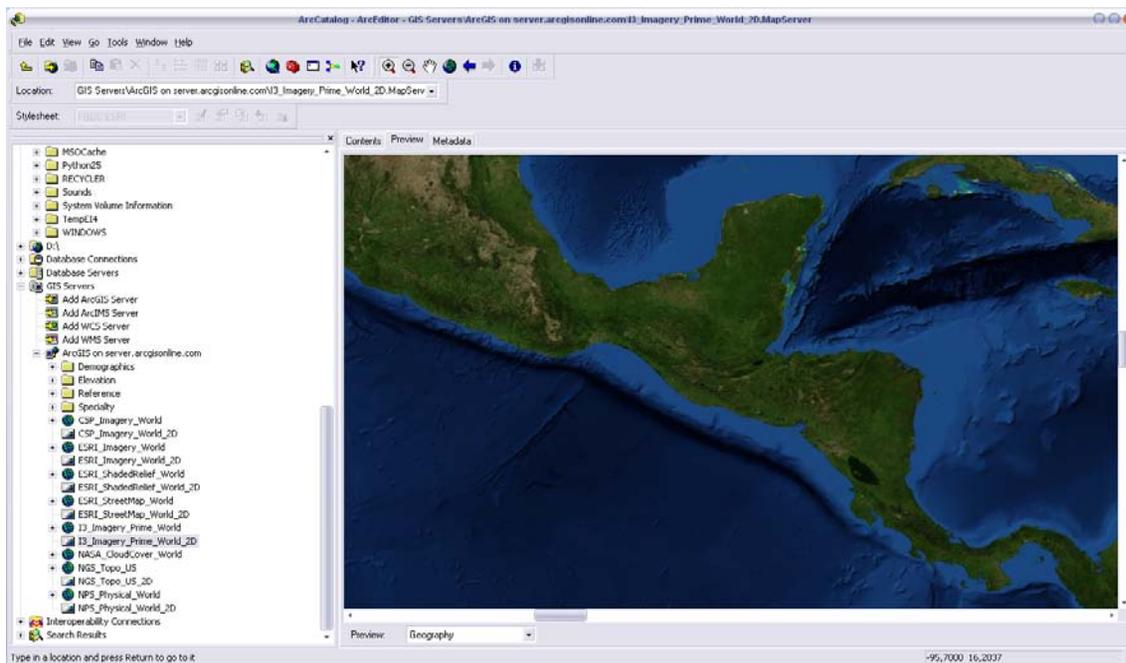
- CATURRA: Indica el porcentaje de café Caturra que se encuentra sembrado en la parcela.
- CATUAI: Indica el porcentaje de café Catuai que se encuentra sembrado en la parcela.

Figura 22. Definición de atributos de capa “TiposCafe”



Por último se encuentra la capa que contiene el *raster* del área, para esto se hizo uso de la imágenaría contenida en un servidor público de ESRI (<http://server.arcgisonline.com/ArcGIS/services>), específicamente el objeto llamado *I3_Imagery_Prime_World_2D*, el cual contiene un *raster* del planeta Tierra en su totalidad.

Figura 23. Raster del área



Cada capa se encuentra definida en tablas de una base de datos relacional, por lo que los atributos de cada capa, pueden ser representados tabularmente.

Figura 24. Estructura tabular de la capa “Dueños”

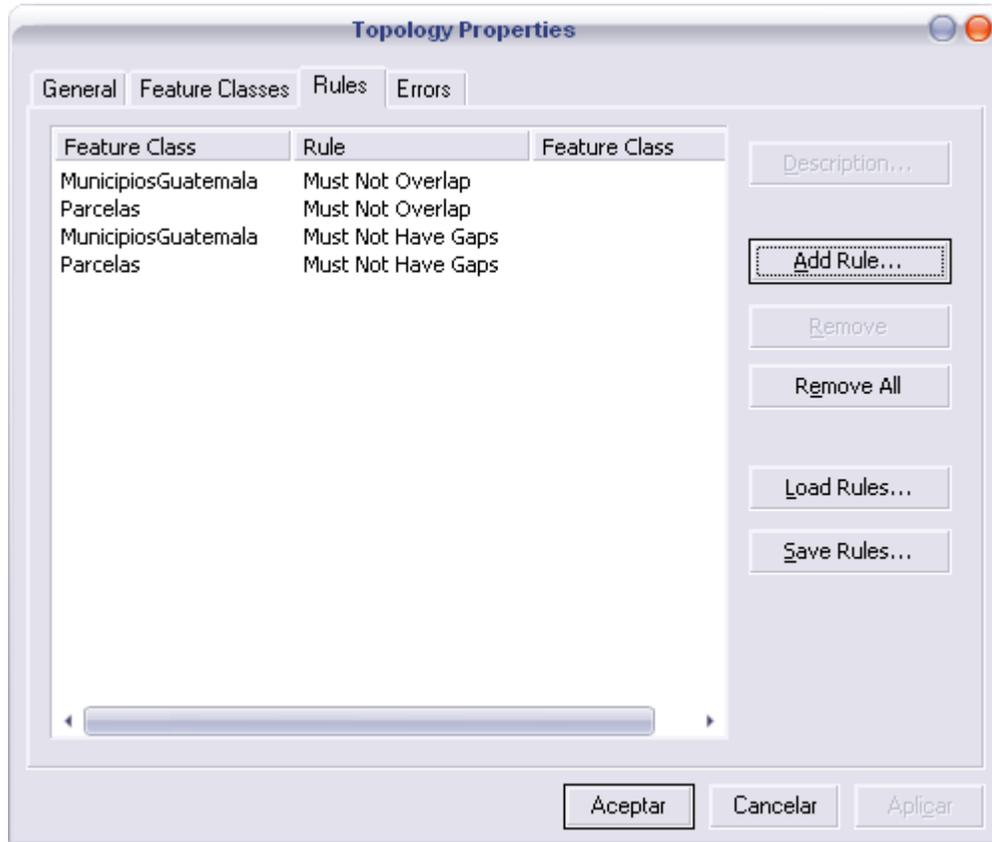
OBJECTID	Shape	Id	PROPIETARIO	CODIGO CLI	Shape_Length	Shape_Area
1	Polygon	0	SAMUEL COLOJON XOC	00605	232436607604752E-03	3.24673900526356E-07
2	Polygon	0	SAMUEL COLOJON XOC	00605	9.526805656551E-03	4.66876847134157E-07
3	Polygon	0	VICTOR RIVERA MARGOLIN	00223	0.00555	1.86532114349E-06
4	Polygon	0	VICTOR VALLE COLOJON	00128	2.67689670014588E-03	3.9653747516270E-07
5	Polygon	0	JOSE LEBRONSO	00128	2.9693357618646E-03	3.97465387696243E-07
6	Polygon	0	JUAN CHARAL PETZERA	00212	5.2055274392392E-03	1.93027344661603E-06
7	Polygon	0	EFRAIN BUCU	00169	2.7816724717457E-03	2.37822485529898E-07
8	Polygon	0	ENRIQUE BUCU RANCHO	00185	3.27128532549543E-03	3.512386324017639E-07
9	Polygon	0	ENRIQUE BUCU RANCHO	00185	8.79539020969938E-04	1.0449857408785E-06
10	Polygon	0	ERNESTO CHAVAC	0	1.94130911047208E-03	4.03846253136694E-07
11	Polygon	0	BASILIO SHOC	00213	3.52584516018264E-03	1.67770563159974E-07
12	Polygon	0	BENITO BUCU	0156	1.53123978971252E-02	3.54829398524478E-07
13	Polygon	0	ABELINO VILLANUEVA	0	1.3821296632889E-05	1.2845375065997E-06
14	Polygon	0	VIRGINIA MEJIA	00066	6.45894140496468E-03	2.2845375065997E-06
15	Polygon	0	VIRGINIA MEJIA	00066	1.0111966535184E-02	5.84639637438679E-06
16	Polygon	0	PEDRO GALINDO	00228	4.38933178153763E-03	1.09394991247779E-06
17	Polygon	0	ANTONIO HERNANDEZ	00301	3.05804840343006E-03	3.69546995744864E-07
18	Polygon	0	DARIO HERNANDEZ	00040	4.32331396547026E-03	8.12180693787724E-07
19	Polygon	0	DARIO HERNANDEZ	00040	4.2507715726431E-03	8.47956200262952E-07
20	Polygon	0	EDUARDO GOMEZ	00043	3.10343336667482E-03	3.47597119252463E-07
21	Polygon	0	EDUARDO GOMEZ	00043	3.53872557914879E-03	4.1619857190158E-07
22	Polygon	0	EDWIN ROBERTO GONZALES SULE	00127	1.84746338894096E-03	2.09879335157316E-07
23	Polygon	0	MANUEL ANTONIO HERNANDEZ	00048	2.53483458976152E-03	3.66626434492852E-07
24	Polygon	0	MANUEL ANTONIO HERNANDEZ	00048	3.1151951686357E-03	5.63120376368378E-07
25	Polygon	0	SAMUEL CARRILLO	00082	7.44864188506050E-03	1.44677474357351E-06
26	Polygon	0	MANUEL FRANCISCO CARRILLO	00050	1.01041083903032E-02	2.88773315943559E-06
27	Polygon	0	HERLINDO CARRILLO GONZALES	00023	9.06358129340729E-03	2.8929072298389E-06
28	Polygon	0	JOSE SALVADOR CARRILLO	00052	0.020583796795665	6.81731220407030E-06
29	Polygon	0	EMILIO CARRILLO	00053	1.76753093958685E-03	1.83001518949698E-07
30	Polygon	0	EMILIO CARRILLO	00053	1.11058704371045E-02	5.26387481546248E-06
31	Polygon	0	EMILIO CARRILLO	00053	1.96807096493966E-03	1.38783958742931E-07
32	Polygon	0	ISABEL HERNANDEZ	00094	0.012350016224431	4.15953168154088E-06
33	Polygon	0	MARTA DE YDRO	00074	4.11758912875244E-03	5.8324662403424E-07
34	Polygon	0	MAX DAVID TRES	00095	3.9593545790188E-03	2.08633579459344E-06
35	Polygon	0	HILCO MORALES	00071	3.00863878115293E-02	3.46810316016344E-06
36	Polygon	0	HILCO MORALES	00071	3.00863878115293E-02	3.46810316016344E-06
37	Polygon	0	HILCO MORALES	00071	2.1683145182786E-03	2.75788355495567E-07

4.3.2. Propiedades espaciales de los arreglos de datos (*datasets*)

Para este problema se identificaron tres reglas básicas con las que debe cumplir la topología, todas con una tolerancia de 0.001 grados.

- Las parcelas no se pueden superponer unas con otras, ni tener agujeros.
- Las construcciones y elementos fijos, no se pueden traslapar unos con otros.
- Los límites de las parcelas deben coincidir con las líneas de las parcelas.

Figura 25. Reglas de topologías creadas



Todas estas reglas fueron definidas claramente durante el período de diseño de la base de datos geográfica.

4.3.3. Diseño propuesto de la base de datos geográfica

Partiendo del patrón de diseño de bases de datos geográficas para el diseño de SIG de parcelas, se utilizó la siguiente estructura:

Figura 26. Diseño de la base de datos geográfica



Como podemos observar en la Figura 26, ArcMap nos despliega en forma de árbol la estructura de nuestra base de datos geográfica.

4.4. Diseño físico de la base de datos geográfica

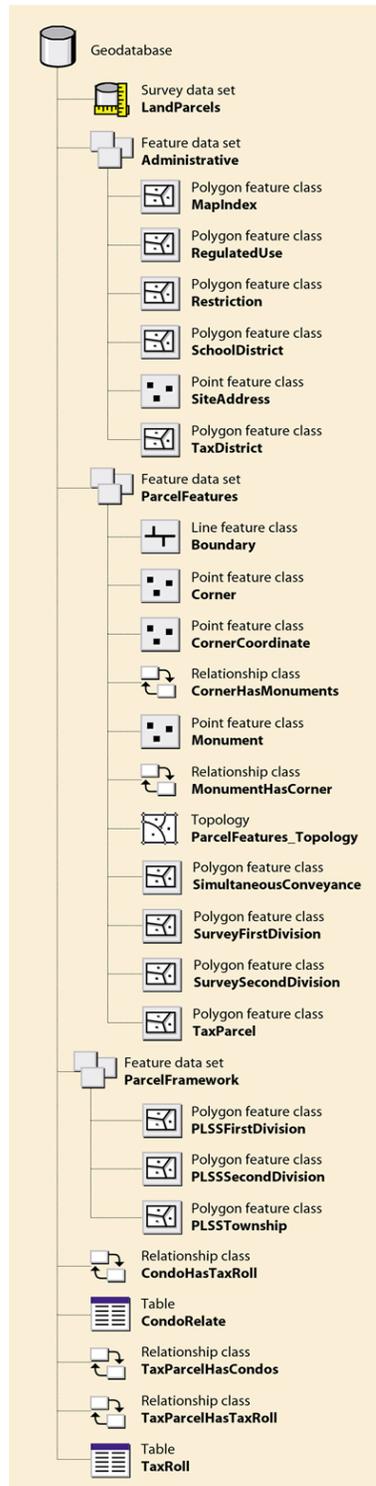
En esta fase de la construcción, se prueba y refina el diseño a través de una serie de implementaciones iniciales; en ésta fase también se documenta el diseño.

4.4.1. Implementación, utilización de prototipos, revisiones y refinamiento del diseño

Partiendo del patrón de diseño de bases de datos geográficas para parcelas definido por ArcGis, se implementó una base de datos con tres *datasets* principales, los cuales agrupan por categorías las capas definidas previamente.

La figura 26 muestra la estructura final implementada en la base de datos, en donde se muestran los tres *datasets*, con sus respectivas capas incluidas en cada una de ellas.

Figura 27. Patrón de diseño de una base de datos geográfica para parcelas



4.4.2. Documentación del diseño

Como buena práctica de diseño, se recomienda el uso de simbologías y de etiquetas para identificar y diferenciar claramente la información mostrada en los mapas.

Con la ayuda de la herramienta, se logró documentar adecuadamente cada capa, de modo que la lectura de los datos sea lo más fácil posible. El uso de colores distintivos, degradados y etiquetas ha sido de gran utilidad para llevar a cabo la tarea de documentar el diseño.

Figura 28. Uso de colores para identificar departamentos

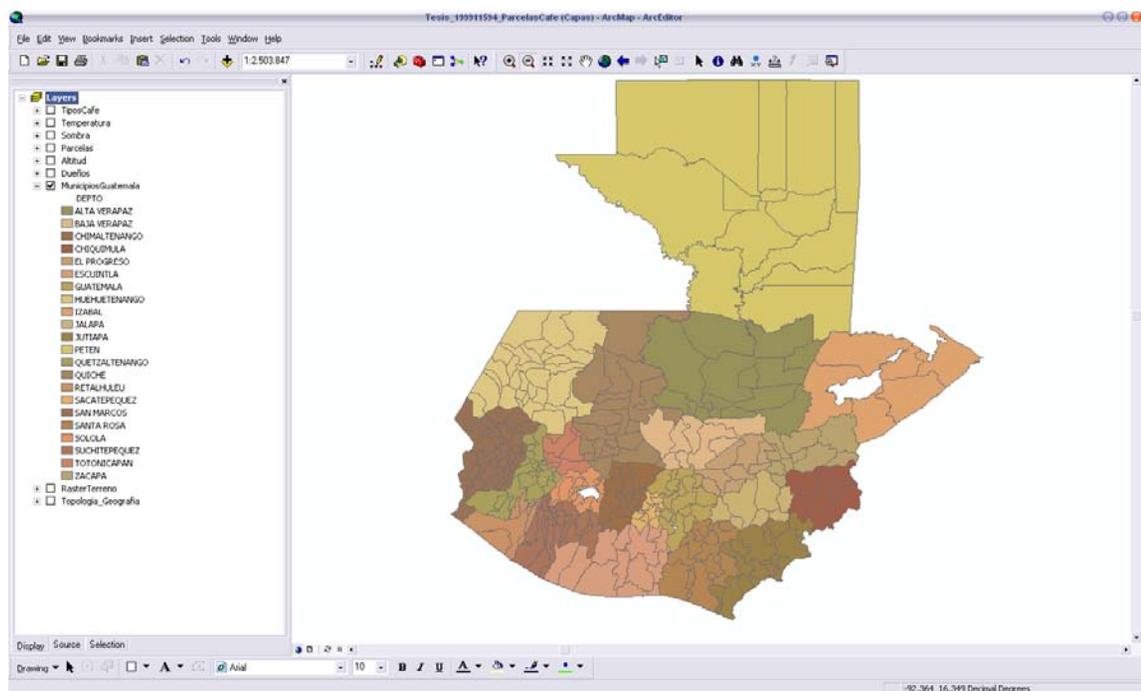


Figura 29. Uso de degradados para identificar las temperaturas promedio

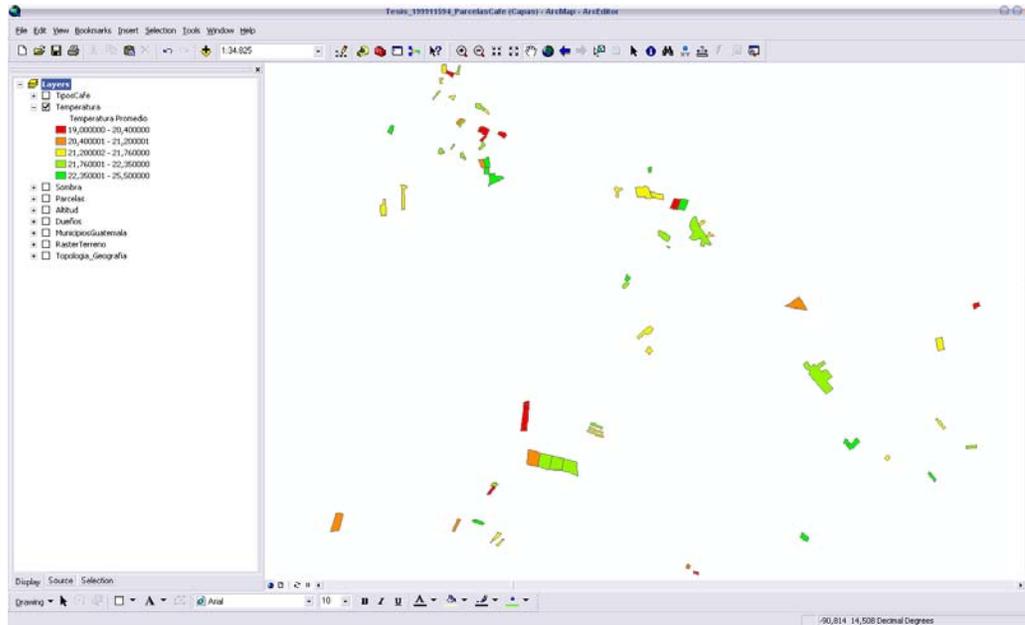
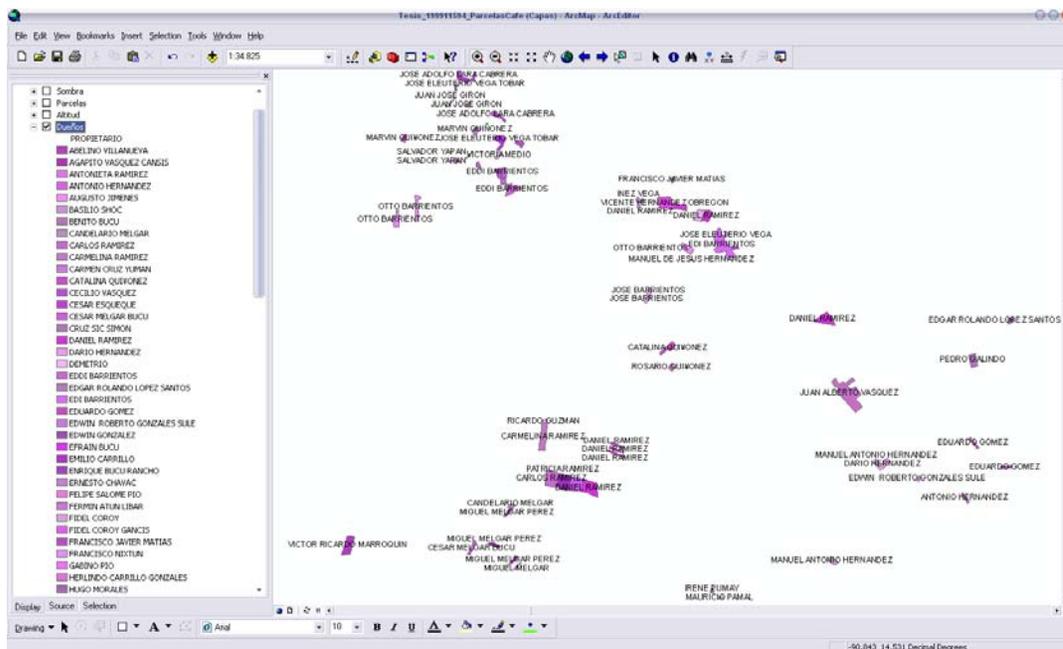


Figura 30. Uso de colores distintivos y etiquetas para propietarios



En un SIG (Sistema de Información Geográfica), la construcción final de la base de datos geográfica tiene como resultado una serie de mapas georeferenciados con un conjunto de información asociada. A continuación se muestran una serie de imágenes de la base de datos geográfica generada:

Figura 31. Panorama general de parcelas de café

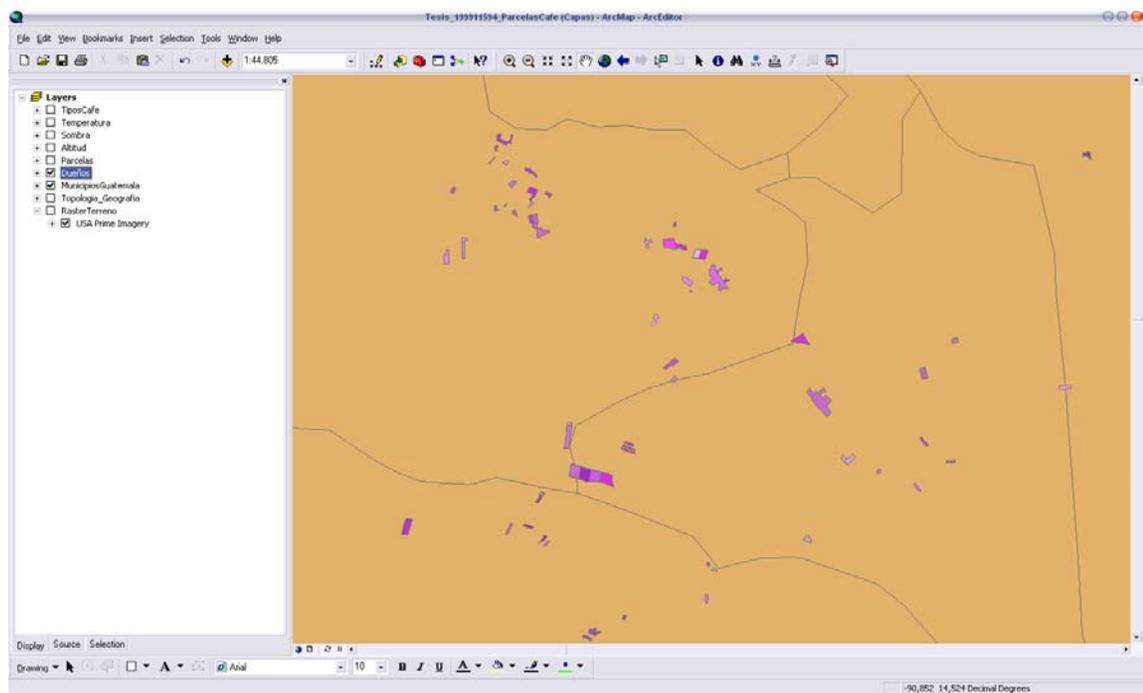


Figura 32. Visión ampliada de una sección de la base de datos

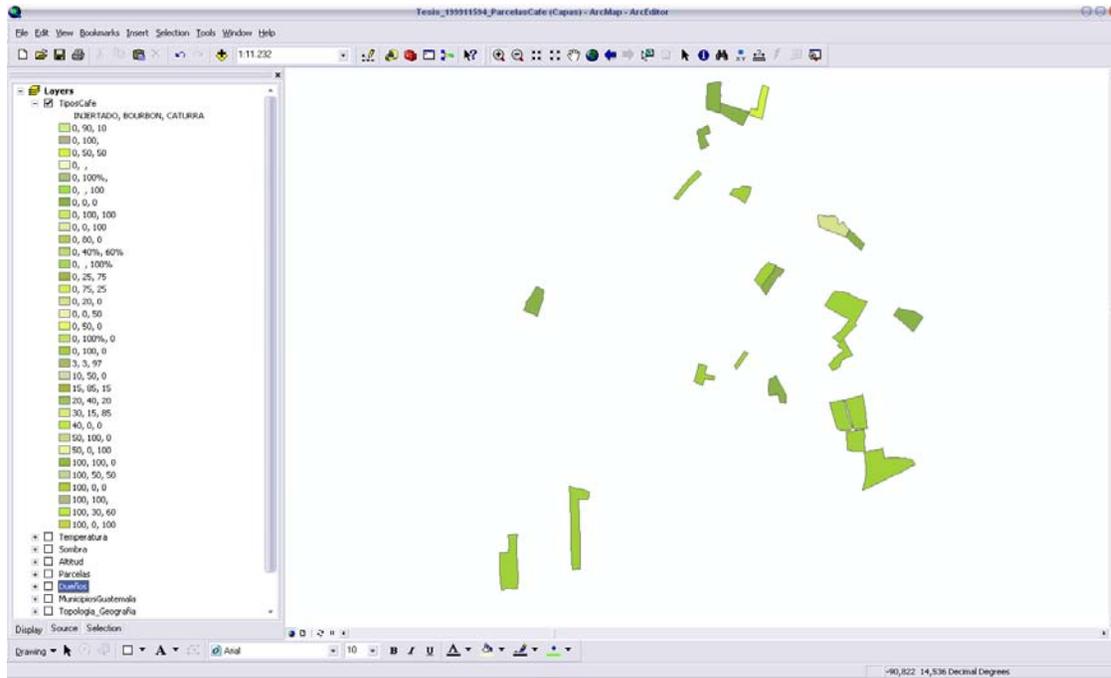


Figura 33. Información específica de una parcela

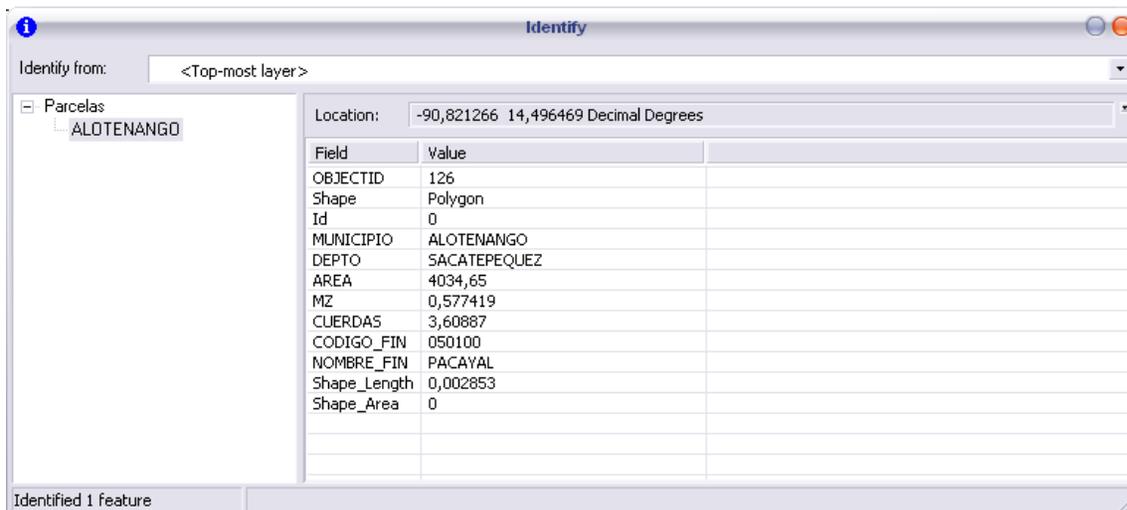
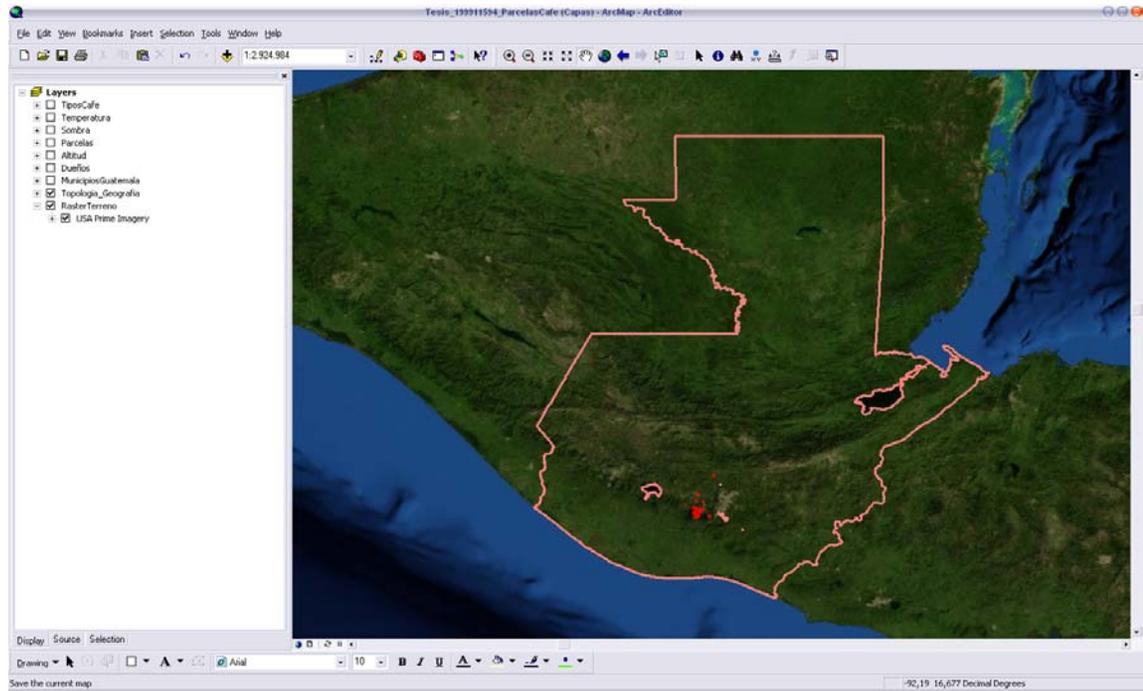


Figura 34. Raster y límites del terreno



4.5. Extracción de información de la base de datos geográfica

Una vez construida la base de datos geográfica, podemos proceder a extraer información de esta, para lo cual nos apoyaremos en la herramienta *ArcMap* de ESRI, la cual nos proporciona muchas ventajas para realizar dicha tarea.

El proceso de extracción de información lo podemos realizar en tres sencillos pasos, dependiendo del nivel de presentación que le queramos dar a nuestra información consultada de la base de datos. En el primer paso consultaremos la base de datos en búsqueda de información relevante para nosotros, en donde se presentan los datos señalados en una capa; en el siguiente paso aislaremos los datos consultados para una mejor visualización de la información, y por último, podemos exportar nuestros datos aislados, para hacerlos transportables y/o presentables en diferentes formatos.

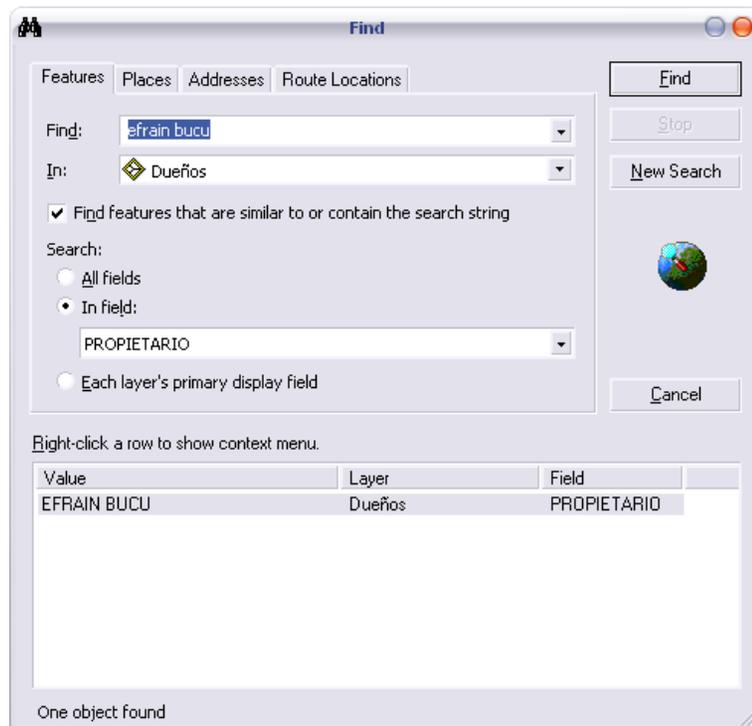
4.5.1. Consulta de información geográfica

Para la consulta de información geográfica, dado que utilizamos una estructura relacional en nuestra base de datos, podemos hacer uso del *SQL* común, para lo cual *ArcMap* de ESRI nos proporciona una interfaz sencilla de utilizar, además de otra herramienta de búsqueda de datos puntuales dentro de una capa.

Para ejemplificar la consulta de datos dentro de *ArcMap*, se asumen tres situaciones en las cuales se mostrará paso a paso el proceso a seguir.

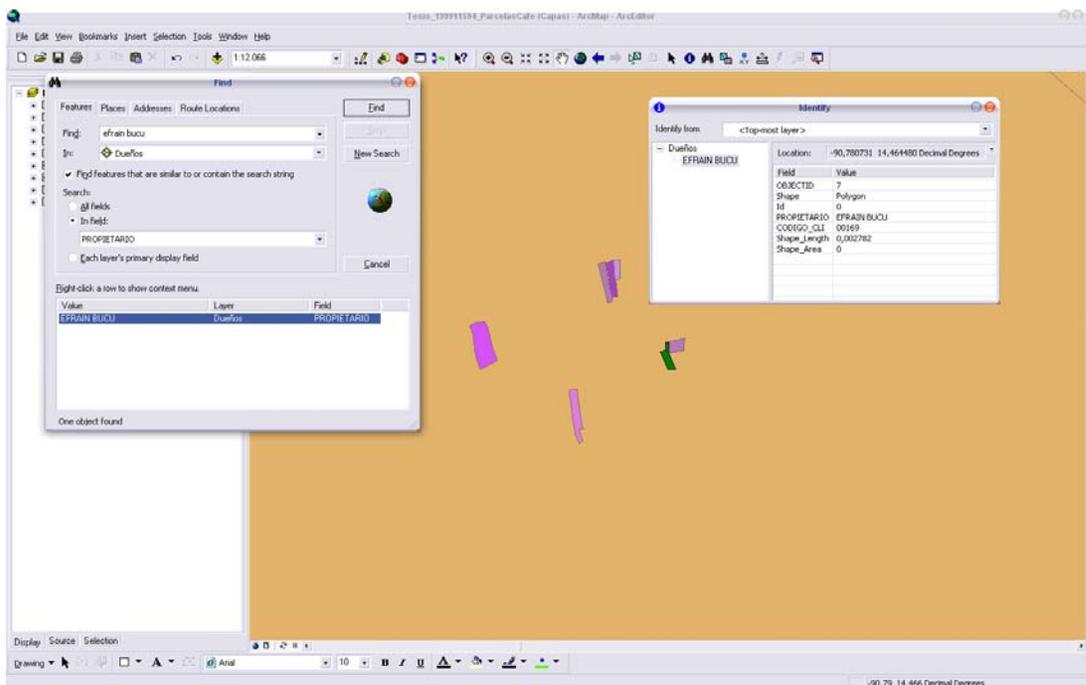
- Se desea encontrar la o las parcelas cuyo dueño es el Señor Efrain Bucu. Para este caso utilizaremos la búsqueda sencilla de *ArcMap*, la cual es abierta presionando el ícono de los binoculares ubicada en la barra de herramientas o mediante el menú *Edit*, opción *Find*. Una vez abierta la opción, ingresamos el criterio de búsqueda, indicando que deseamos buscar sobre la capa Dueños y el campo PROPIETARIO. Nos debe quedar como sigue:

Figura 35. Criterios de búsqueda de datos puntuales en *ArcMap*



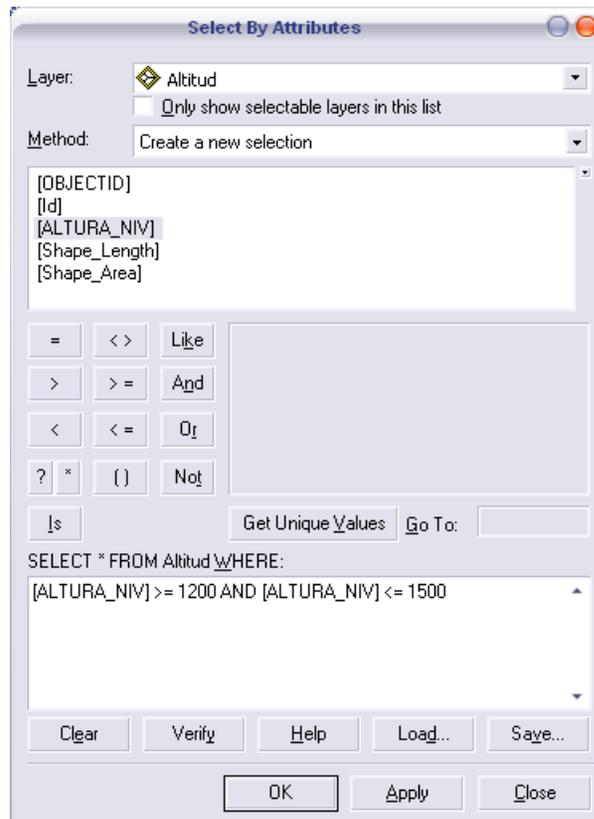
Luego nos acercamos a una escala 1:25 y damos doble clic sobre el resultado de la búsqueda y nos llevará a la ubicación exacta de la parcela y la resaltará con color verde.

Figura 36. Resultado de búsqueda de datos puntuales en ArcMap



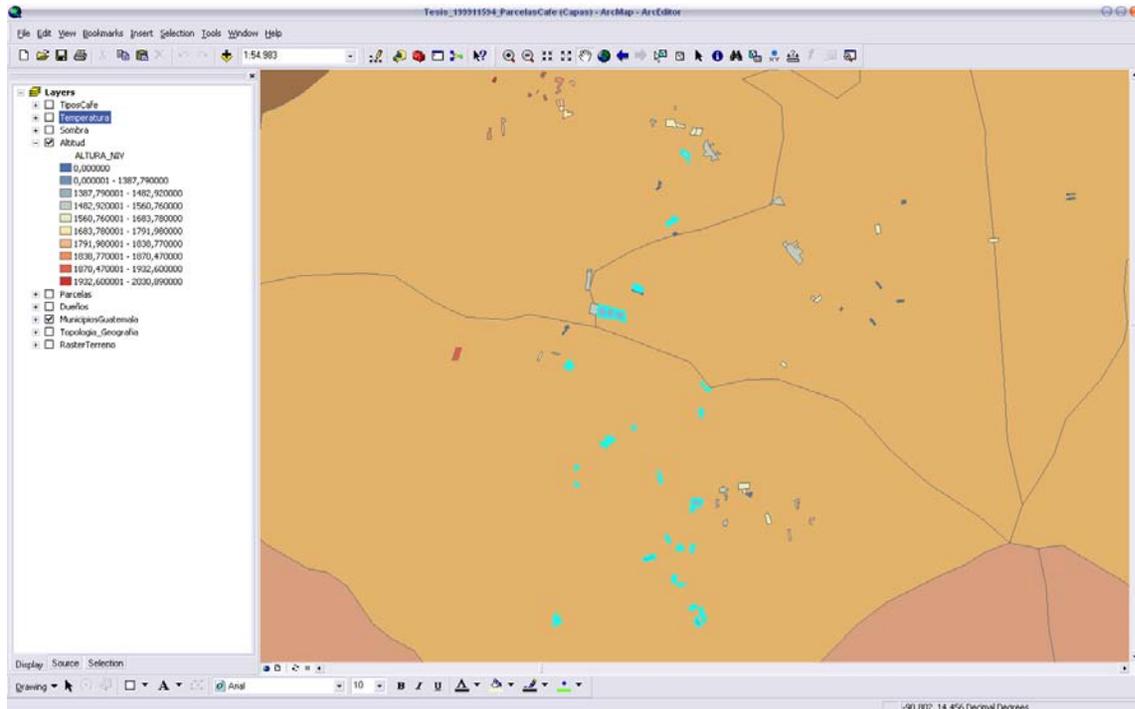
- Se desea encontrar todas aquellas parcelas cuya altura se encuentre entre 1,200 y 1,500 pies sobre el nivel del mar. Para este caso, utilizaremos la búsqueda por SQL de la herramienta, para lo cual iremos al menú *Selection* de *ArcMap*, y escogeremos la opción *Select by Attributes*. Una vez abierta la opción, escogemos la capa *Altitud*, luego ingresamos la condición de búsqueda, que en este caso es “[ALTURA_NIV] >= 1200 AND [ALTURA_NIV] <= 1500”. Nos debe quedar como sigue:

Figura 37. Criterios de búsqueda de datos por SQL en ArcMap



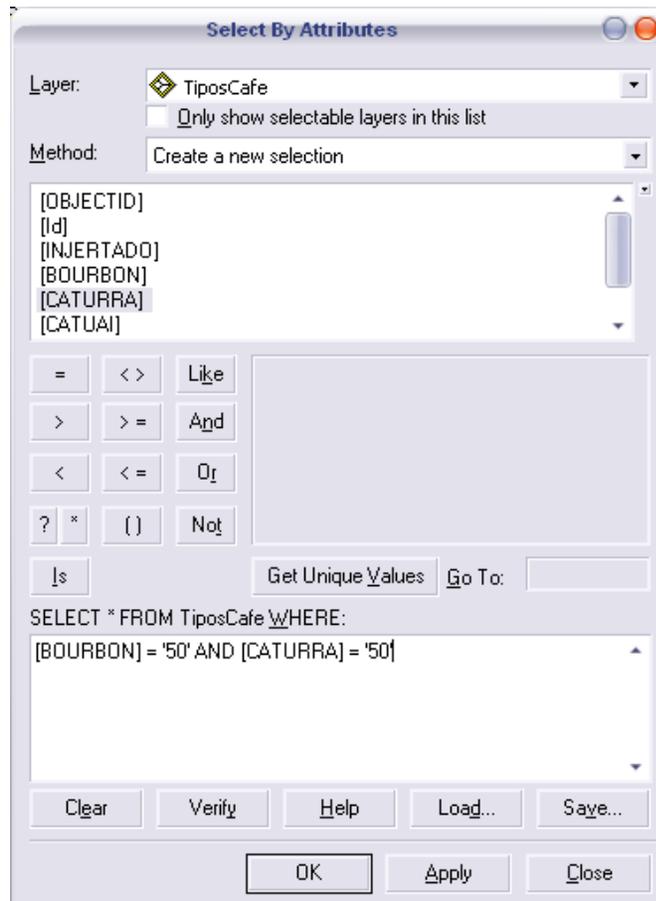
Luego presionamos el botón *OK* y se nos resaltarán con color celeste en pantalla todas aquellas parcelas que cumplen con las condiciones definidas.

Figura 38. Resultados de búsqueda de datos por SQL en ArcMap



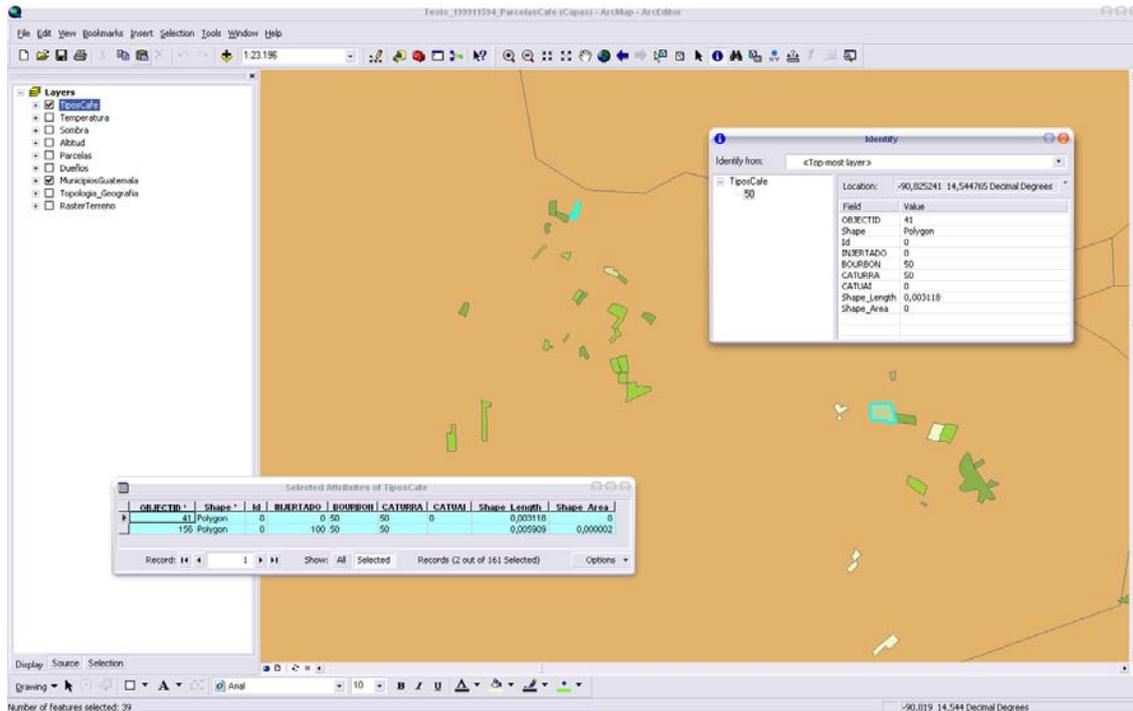
- Se desea encontrar todas aquellas parcelas cuya plantación contenga el 50% de café Bourbon y 50% de café Caturra. Para este caso, volveremos a utilizar la búsqueda por SQL de la herramienta, para lo cual iremos al menú *Selection* de *ArcMap*, y escogeremos la opción *Select by Attributes*. Una vez abierta la opción, escogemos la capa *TiposCafe*, luego ingresamos la condición de búsqueda, que en este caso es "[BOURBON] = '50' AND [CATURRA] = '50'". Nos debe quedar como sigue:

Figura 39. Búsqueda de parcelas por tipos de café



Luego presionamos el botón *OK* y nuevamente se nos resaltarán en color celeste todas aquellas parcelas que cumplen con la condición, que en este caso son solamente dos.

Figura 40. Resultados de búsqueda de parcelas por tipos de café



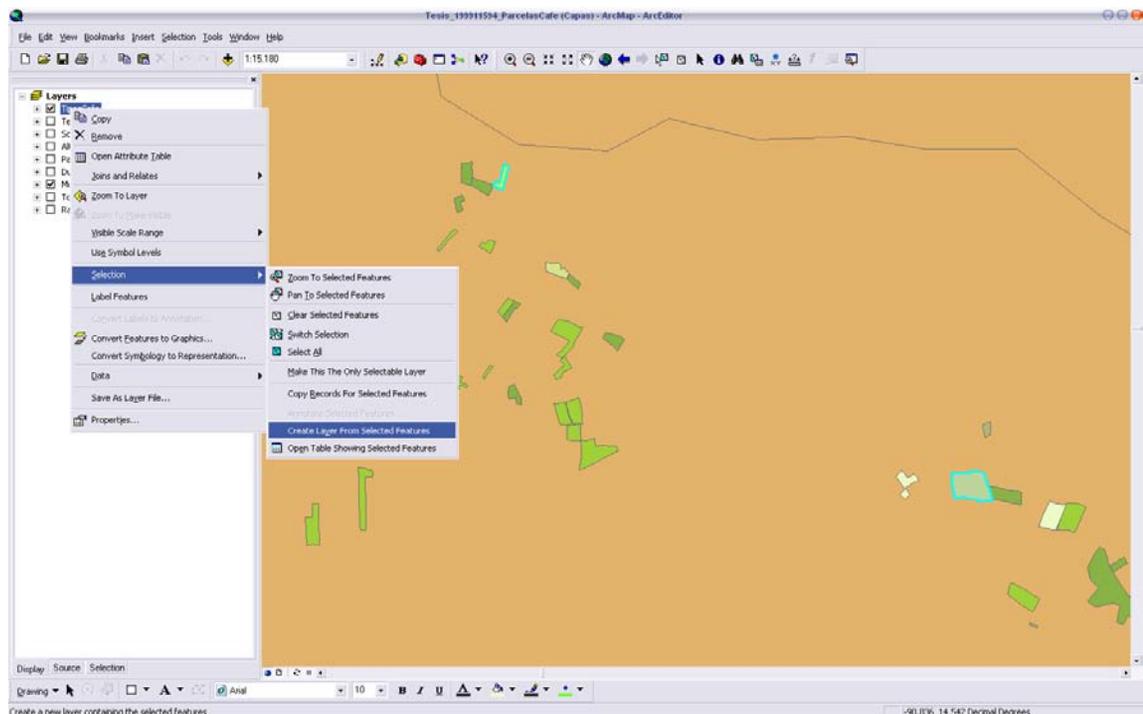
4.5.2. Aislamiento de la información geográfica consultada

Quando ya tenemos identificados nuestros elementos geográficos de acuerdo a ciertos criterios de búsqueda, podemos aislar dichos elementos en una capa completamente nueva, la cual es incluida dentro de la visualización general de los datos.

Para ejemplificar este proceso, se tomará como referencia la búsqueda número tres del apartado anterior, en donde se desean encontrar todas aquellas parcelas cuya plantación contenga el 50% de café Bourbon y 50% de café Caturra.

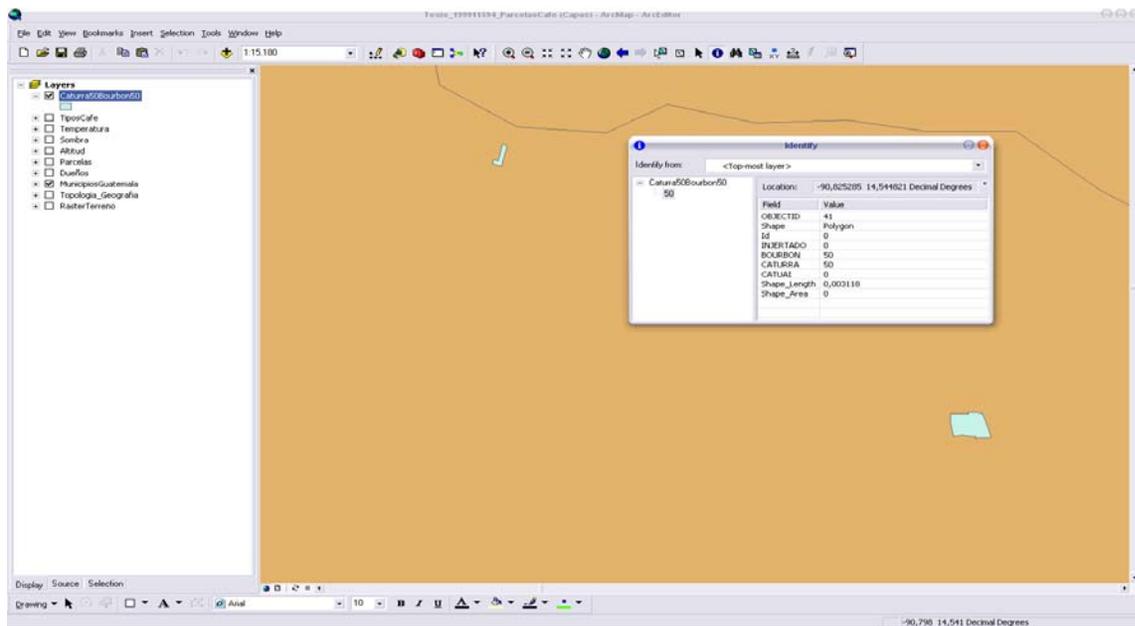
Primero ejecutaremos la búsqueda de acuerdo a los criterios especificados. Una vez seleccionados los elementos geográficos en la capa seleccionada, damos clic derecho sobre la capa seleccionada, que en este caso es TiposCafe, y luego escogemos la opción *Selection* y luego la opción *Create Layer from Selected Features*.

Figura 41. Creación de nueva capa a partir de elementos seleccionados



Luego renombramos la nueva capa con el nombre “Caturra50Bourbon50” y seleccionamos visualizar solamente la nueva capa.

Figura 42. Elementos geográficos de búsqueda aislados



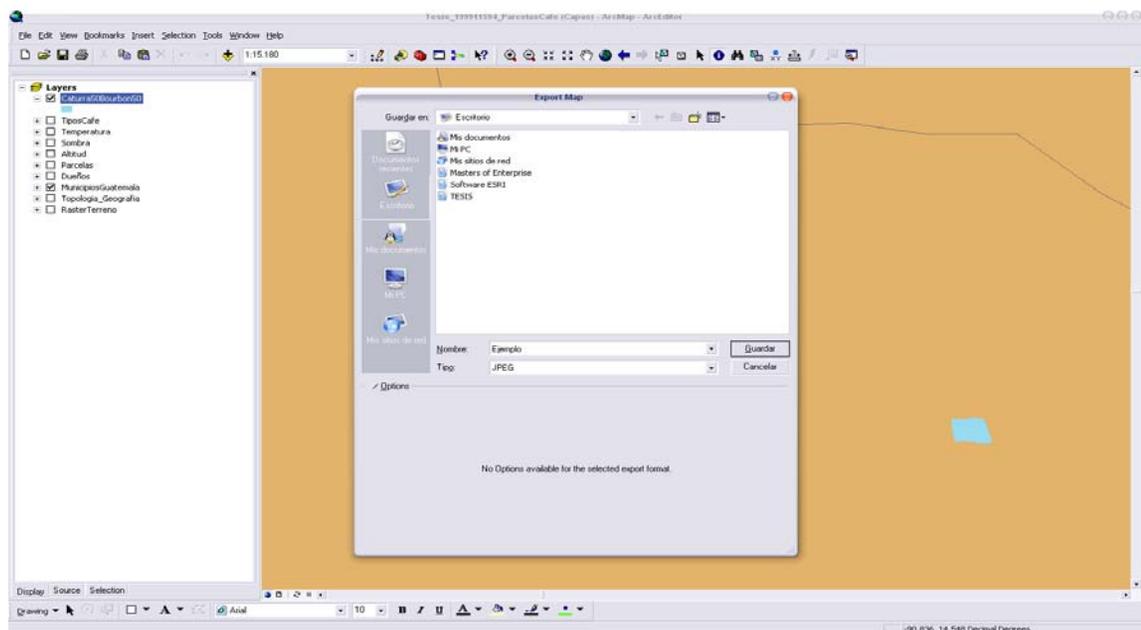
4.5.3. Exportación de la información geográfica aislada

Cuando ya tenemos la información geográfica seleccionada y aislada en una sola capa, podemos exportarla a un *shapefile*, el cual puede ser leído por diferentes visores de uso gratuito, o bien, ser presentado en una aplicación web o de escritorio desarrollada en casa mediante algún componente que lea

archivos de este tipo (.shp). O en caso que deseemos convertir el mapa en un archivo de imagen, también podemos exportarlo a diferentes formatos.

Para convertir la capa en un archivo de imagen, seleccionamos el menú *File*, opción *Export Map*, y escogemos una ubicación, nombre y tipo de archivo (jpg, bmp, tiff, png, gif, etc.) al cual se desea exportar el mapa, y presionamos el botón Guardar.

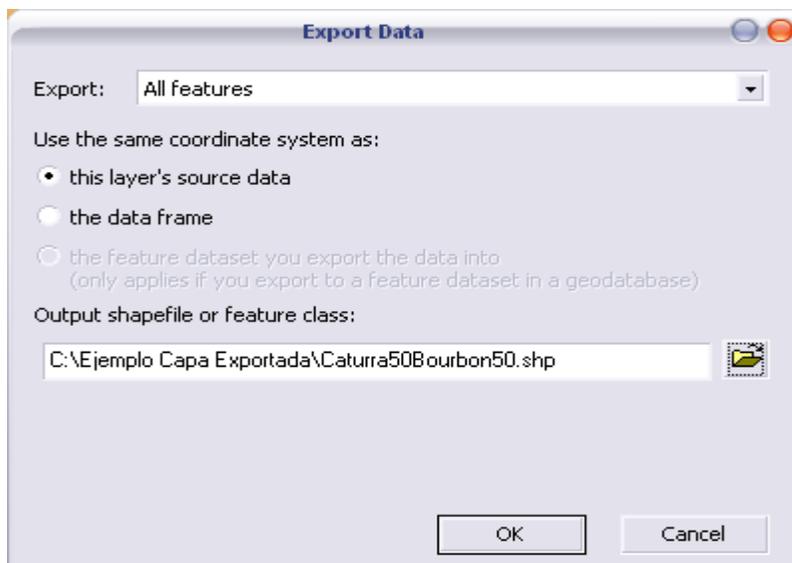
Figura 43. Exportación de mapas a archivos de imágenes



La desventaja principal de convertir la capa a un archivo de imagen, es que se pierde toda la información geográfica asociada al mapa, para lo cual, lo más recomendable es transportar el mapa en un archivo de tipo *shapefile*, el

cual contiene toda la información que se le haya asociado al mapa, tanto geográfica, como de negocio. Para realizar esta tarea debemos dar clic derecho sobre la capa que deseamos exportar, en este caso exportaremos la capa creada a partir de la búsqueda, llamada “Caturra50Bourbon50”, escogemos la opción *Data* y luego la opción *Export Data*, después escogemos una ubicación para guardarlo y presionamos el botón *OK*.

Figura 44. Exportación de mapas a archivos de tipo *shapefile*



Para visualizar los archivos de tipo *shapefile*, existen varias aplicaciones gratuitas, las cuales pueden ser descargadas de Internet. Para efectos de ejemplo, utilizaremos *ArcGIS Explorer* de ESRI, el cual puede ser descargado gratuitamente de <http://www.esri.com/software/arcgis/explorer/index.html>.

Para visualizar el archivo *shapefile* generado en *ArcGIS Explorer*, abrimos la aplicación, luego en el menú *File*, opción *Open*, escogemos la opción *Shapefiles* del lado izquierdo y ubicamos el *shapefile* que generamos, lo escogemos y presionamos el botón *Open*.

Figura 45. Abrir archivo *shapefile* en *ArcGIS Explorer*

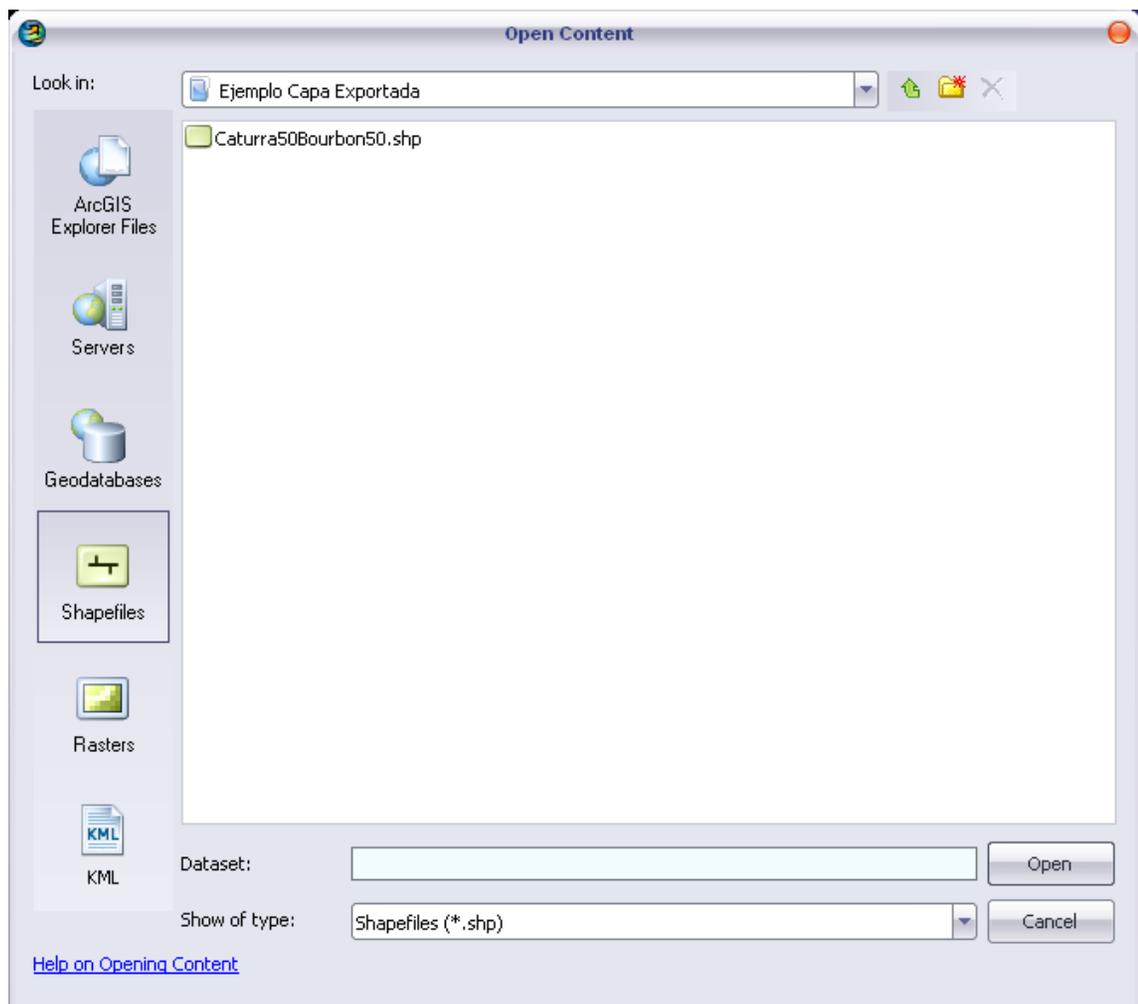
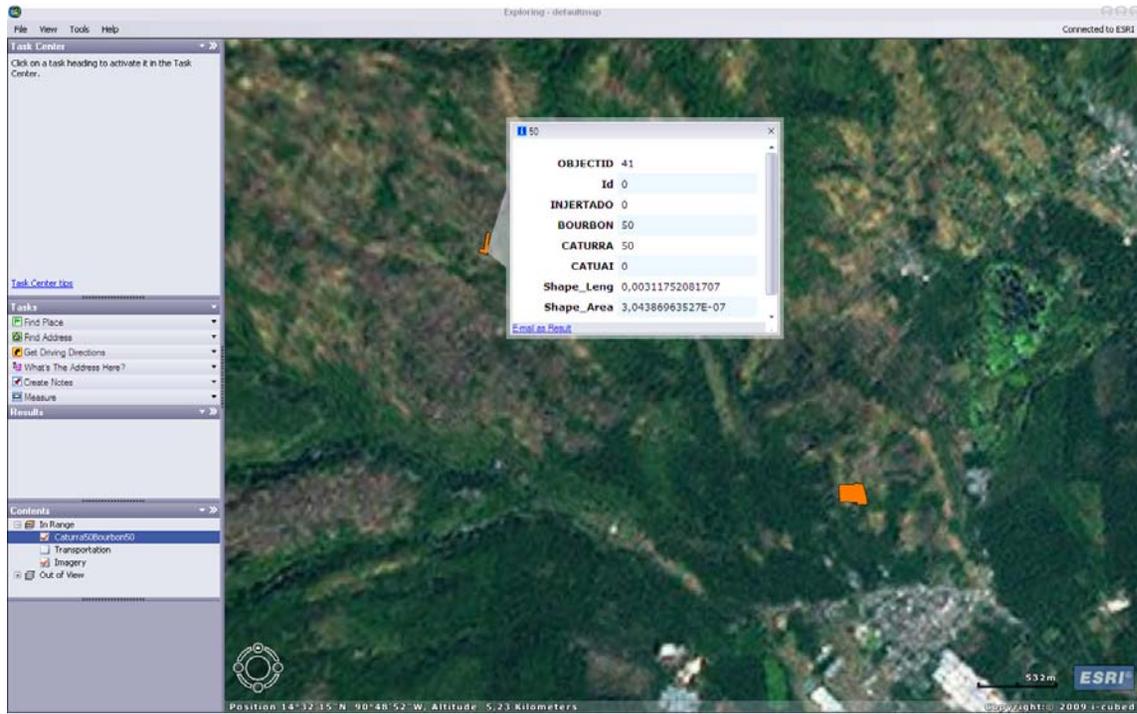


Figura 46. Archivo *shapefile* cargado en *ArcGIS Explorer*



CONCLUSIONES

1. Las bases de datos geográficas, igual que los demás sistemas de computación deben ser construidas mediante un método sistemático, el cual garantice un producto de calidad.
2. La utilización de patrones de diseño y plantillas son una buena práctica en la construcción de bases de datos geográficas.
3. Una buena práctica en el método de recolección de datos para una base de datos geográfica, es el uso de Sistemas de Posicionamiento Global o GPS por sus siglas en inglés.
4. Una base de datos geográfica, permite el almacenamiento masivo, de información geográficamente importante, como mapas, redes viales, propiedad territorial, divisiones y fronteras, etc.

RECOMENDACIONES

1. Debido a que el objetivo general fue crear una guía detallada para la creación de bases de datos geográficas, se sugiere utilizar los conceptos presentados para la creación de nuevas bases de datos geográficas en otro contexto que no sea catastro.
2. Es aconsejable utilizar los diagramas de flujo presentados, como una serie de pasos sistemáticos para la creación de bases de datos geográficas de cualquier tipo desde cero.
3. Como caso práctico se creó una base de datos geográfica para el manejo de parcelas de café, en el departamento de Sacatepéquez, se recomienda su utilización como base para la creación de un SIG (Sistema de Información Geográfica) para el manejo de parcelas de café a un nivel geográfico más amplio.

BIBLIOGRAFÍA

1. ANACAFE – Asociación Nacional del Café. Página de Internet <http://portal.anacafe.org/portal/Home.aspx?secid=5>, mayo de 2007.
2. Arctur David y Zeiler Michael. “Designing Geodatabases”. ESRI Press. 2004.
3. “Building a Geodatabase: ArcGIS 9”. ESRI Press. 2004.
4. ESRI - Manuales de ArcGis Desktop. Página de Internet <http://edn.esri.com>, abril 2007.
5. ESRI. Periódico ArcNews. ESRI Press. Vol. 28 No. 3. 2006.
6. ESRI - Soporte de ArcGis Desktop. Página de Internet <http://support.esri.com>, abril 2007.

7. Foro *GIS* de Gabriel Ortiz. Página de Internet <http://recursos.gabrielortiz.com/index.asp?destino=diccionario&termino=SIG>, junio de 2008.
8. Guía Miguelín – Historia del Café. Página de Internet <http://www.guiamiguelin.com/cafe/elcafe.html>, mayo de 2007.
9. Indekeu Rivas Juan Miguel. “Implementación de un Sistema de Información Geográfico, del conjunto de edificios de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos”. USAC. 2006.
10. *KAM GIS Dictionary* (KAM Diccionario de SIG). Página de Internet <http://www.kam.to/kam/services/gisdictionary.cfm>, junio de 2008.
11. Máquinas de café. Página de Internet <http://www.maquinas-de-cafe.com/variedad-de-cafe.htm>, mayo de 2007.
12. Mundo del Café – Diccionario de Café. Página de Internet <http://www.mundodelcafe.com/diccionario.htm>, mayo 2007.
13. *Starbucks Portal of the company* – Portal de la compañía. Página de Internet <http://www.starbucks.com/aboutus/overview.asp>, mayo de 2007.

14. Wade Tasha y Shelly Sommer. "A to Z GIS: An Illustrated Dictionary of Geographic Information Systems". ESRI Press. 2006.

15. Wikipedia, La Enciclopedia Libre - Escala. Página de Internet http://es.wikipedia.org/wiki/Escala_%28cartograf%C3%ADa%29, junio de 2008.

16. Wikipedia, La Enciclopedia Libre - Latitud. Página de Internet <http://es.wikipedia.org/wiki/Latitud>, junio de 2008.

17. Wikipedia, La Enciclopedia Libre - Longitud. Página de Internet http://es.wikipedia.org/wiki/Longitud_%28cartograf%C3%ADa%29, junio de 2008.

18. Wikipedia, La Enciclopedia Libre - Polígono. Página de Internet <http://es.wikipedia.org/wiki/Poligono>, junio de 2008.