ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

"Cartografía Geológica de un Sector de la Península de Santa Elena mediante Sistemas de Información Geográfica"

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN MINAS

Presentada por:

Juan Carlos Pindo Macas

GUAYAQUIL – ECUADOR

2007

AGRADECIMIENTO

A mi Madre, por cada una de sus oraciones durante mi ausencia; a mi Padre por cada uno de sus callos para darme lo que necesitaba. A mis hermanas y hermanos: Gladis, por sus atenciones; Marlene, por su fe inquebrantable en mi; Piedad, por acompañarme siempre a dar el primer paso; María, por su infinita bondad; Kléber, por su seriedad y apatía fingida; Amparito, por su esperanza en mí; Toño, por su cariño desde niño.

A la Sra. Anita A., una mecenas del siglo veintiuno; a la Dra. Elizabeth Peña, por su apoyo en los momentos de necesidad. Al Dr. Paúl Carrión, por su dirección en este trabajo y otros más.

A mis primeros e inolvidables amigos en Guayaquil: Geovanny P., Mariela M., Sandy O., Ulises C., Daniel R., Byron H., Wellington M.

A mis amigos de carrera y, por lo tanto colegas: Angélica B., Paola R., Rocío E., Eduardo R., Carlos G., Jorge C.

A Sorayita por su aliento constante. A Glenda L., a Mauricio C., a Miguel G. y a la Dra. Cecilia P., por apoyarme en mis ideas iniciales. A Samantha J., por su ayuda en los primeros capítulos.

Y por sobre todas las cosas a Dios por haberme permitido conocer a estas maravillosas personas.

DEDICATORIA

A Monse, por supuesto… donde esté.

A Luisa y Martín.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

_____	_____
Ing. Edison Navarrete C.	Dr. Paúl Carrión M.
SUB DECANO DE LA FICT	**DIRECTOR DE TESIS**
PRESIDENTE	
_____	_____
Dr. Fernando Morante C.	Dra. Elizabeth Peña C.
VOCAL	**VOCAL**

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Juan Carlos Pindo Macas.

RESUMEN

El propósito de este proyecto es el diseño e implementación de una aplicación que permite el ingreso y actualización de la información geográfica que tiene la Componente 6 del Programa VLIR-ESPOL y los resultados de las investigaciones de las Subcomponentes Zeolitas, Arcillas y Materiales de Construcción.

El proyecto integra múltiples datos del sector de estudio en una base de datos mediante un Sistema de Información Geográfica y permite una administración efectiva, búsqueda, análisis y mapeo de estos datos textuales del terreno.

El sistema estará diseñado con una interfaz interactiva mediante un mapa digital de un área de la Península de Santa Elena. Esta área está comprendida por lo siguientes mapas topográficos, Salinas, Zapotal, Santo Tomás, Chanduy y Punta de Piedras. La información geológica ha sido tomada de los resultados del Proyecto ORSTOM-ESPOL, los cuales se encuentran en mapas geológicos escala 1:50.000, que ha sido integrados al sistema como información base. La aplicación realizada en el software ArcGis provee de herramientas para el análisis y presentación de resultados que ahora son complicados y requieren de mucho tiempo para realizarlas.

ÍNDICE GENERAL

Pág.

RESUMEN……VI
ÍNDICE GENERAL……..VII
ABREVIATURAS……..X
SIMBOLOGÍA……XI
ÍNDICE DE FIGURAS……XII
ÍNDICE DE TABLAS……...XV
INDICE DE MAPAS……XVI

CAPÍTULO 1

1. INFORMACIÓN PRELIMINAR……...1
3.1. Antecedentes……1
4.1. Planteamiento del Problema y Justificación……3
5.1. Elaboración de Hipótesis……5
6.1. Objetivos……5
7.1. Metodología del Proyecto……6
8.1. Ubicación del Área de Estudio……10

CAPÍTULO 2

2. MARCO DE REFERENCIA……..11
3.1. Reseña Histórica……11
4.1. Los Sistemas de Información Geográfica……..19
5.1. Componentes Básicos de los SIG……...22
3.2.1. El Componente Lógico……..23
4.2.1. El Componente Físico……25

5.2.1. Los Datos……25
6.2.1. El Personal Técnico que Maneja los SIG……..26
7.2.1. Los Procedimientos……26
6.1. La Información Geográfica……26
3.2.1. Los Componentes de la Información Geográfica……..27
2.6.3.1. La Variable Espacial……27
2.6.3.2. La Variable Temática……27
4.2.1. La Estructura de la Información Geográfica……..28
2.6.4.1. La Estructura Espacial del Modelo Raster……28
2.6.4.2. La Estructura Espacial del Modelo Vectorial……30
5.2.1. La Representación Cartográfica de la Información Geográfica….32
2.6.5.1. Características y Contenidos de los Mapas……32
2.6.5.2. Los tipos de Mapas……..37

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA DE DESARROLLO DE UN SIG……42
3.1. El origen de los datos en un SIG……42
4.1. Los Procedimientos de Captación y Conversión a Formato Digital de la Información Espacial……44
3.2.1. Los Procedimientos de Observación Directa……45
4.2.1. El Empleo de Fuentes Secundarias……46
5.1. La Entrada de la Información Temática……..48
6.1. La Presentación de la Información Vectorial……49
7.1. Principales Tipos de Análisis a Realizar en un SIG……..50
3.2.1. La Selección y Recuperación de la Información Geográfica……..51

CAPÍTULO 4

4. EL FUNCIONAMIENTO DE ARCGIS……55
3.1. Los Elementos de ArcGis……56

4.1. El Modelo de Datos de ArcGis……57
5.1. Los Componentes de ArcView……59
3.2.1. La Interfaz de ArcMap……59
4.2.1. La Interfaz de ArcCatalog……62
6.1. Principales Herramientas de Edición de ArcView……64

CAPÍTULO 5

5. DESARROLLO DE UN SIG PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS MINERALES NO METÁLICOS DE LA PENÍNSULA DE SANTA ELENA.....66
3.1. Los Objetivos del Proyecto……...68
4.1. Creación de la Base de Datos del Proyecto……..70
5.1. Edición y Análisis de los Datos……77
6.1. Presentación de los Resultados……..86

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES……91
Conclusiones……..91
Recomendaciones……..93

MAPAS……..95
BIBLIOGRAFÍA……96

ABREVIATURAS

°	Grados Decimales.
’	Minutos.
Ha	Hectáreas.
Km	Kilómetros.
Km^2	Kilómetros Cuadrados.

SIMBOLOGÍA

UTM	Proyección Transversal de Mercator (por sus siglas en inglés).
PSAD_56	Datum Provisional para Sudamérica de 1956.
SIG	Sistemas de Información Geográfica.
CAD	Dibujo Asistido por Computadora (por sus siglas en inglés).
WGS_84	Datum Geodésico Universal de 1984.
GPS	Sistema de Posicionamiento Global.
TIN	Red de Triangulación Irregular (por sus siglas en inglés).
PSE	Península de Santa Elena.
CMYK	Combinación de colores para dispositivos de Impresión.
DWG	Extensión de Archivos Digitales provenientes de AutoCAD.
MDE	Modelo Digital de Elevaciones.

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1 Problema Inicial y Solución Propuesta. ……7

Fig. 1.2 Esquema Metodológico Fase I y Fase II……8

Fig. 1.3 Esquema Metodológico Fase III y Fase IV……..…..9

Fig. 1.4 Mapa de Ubicación del Área de Estudio……..10

Fig. 2.1 Cronología de la Evolución de los SIG y sus principales acontecimientos de desarrollo……..12

Fig. 2.2 Distribución de productos SIG a nivel mundial para el año 2001……16

Fig. 2.3. Componentes de un SIG. ……..……23

Fig. 2.4 Formato de almacenamiento Raster. ……...29

Fig. 2.5 Archivo tipo Raster……...29

Fig. 2.6 Elementos Vectoriales de un SIG……..30

Fig. 2.7 Visualización de atributos por colores. ……38

Fig. 2.8 Visualización de atributos graduados. ……38

Fig. 3.1 Fuente de Datos de los SIG. ……44

Fig. 4. 1. Tipos de datos vectoriales que soporta ArcGis……...58

Fig. 4. 2. Archivos elementales de un Shapefile……..59

Fig. 4.3. Interfaz de Trabajo de ArcMap……...60

Fig. 4.4. Vista de Marco de Datos en ArcMap……..…..61

Fig. 4.5. Presentación para salida en Impresora……62
Fig. 4.6. Interfaz de Trabajo de ArcCatalog……63
Fig. 4.7. Vista previa en formato tabular de datos y, vista de información espacial en la interfaz ArcCatalog……64
Fig. 4.8. Principales Herramientas de Edición de ArcInfo……65
Fig. 5.1. Organización de la información en directorios y subdirectorios (Vista esquemática y en ArcCatalog)……..71
Fig. 5.2. Proceso de Digitalización en CAD. Cuadro izquierdo: Imagen escaneada y polilíneas. Imagen derecha: Archivo DWG final..74
Fig. 5.3. Integración de las cinco cartas geológicas de la zona de estudio en formato CAD……75
Fig. 5. 4. Proceso de conversión de datos topográficos CAD a SIG…...75
Fig. 5. 5. Parámetros del Sistema de Coordenadas UTM PSAD_5617, Zona 17 Sur……..76
Fig. 5. 6. Modelo Digital de Elevaciones del área de estudio……78
Fig. 5.7. Puntos de control y error para un ajuste de 2do. Orden…….80
Fig. 5. 8. Edición de polilíneas a archivos poligonales……80
Fig. 5. 9. Eliminación de atributos provenientes de CAD……...81
Fig. 5. 10. Descripción de la codificación para unidades geológicas…….83
Fig. 5.11. Enlace de atributos específicos y generales del archivo poligonal……84
Fig. 5. 12. Archivo final con sus respectivos atributos……..85

Fig. 5. 13. Formato para Mapas Geológicos Impresos Escala 1:50.000……....89

Fig. 5.14. Esquema Metodológico para el desarrollo de un SIG Geológico……...90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales Empresas Productoras de Software SIG……24
Tabla 2. Fuente de datos utilizados en el proyecto……72
Tabla 3. Localización y formato de los datos de partida del proyecto….73
Tabla 4. Procesos para extraer los datos de los mapas a CAD……...74
Tabla 5. Procesos para convertir los datos de CAD a SIG…....77
Tabla 6. Procesos para crear el Modelo Digital de Elevaciones……..78
Tabla 7. Procesos para obtener los datos de hidrografía……..79
Tabla 8. Procesos para generar la información geológica……82
Tabla 9. Procesos para generar la información geológica……83
Tabla 10. Combinación CMYK para las Unidades Geológicas……..87
Tabla 11. Patrones de sombreado para Depósitos Aluviales……87
Tabla 12. Patrones de sombreado para los niveles de los Tablazos……88
Tabla 13. Matriz de Codificación para Fallas Geológicas……88

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa Geológico del Área de Estudio. ……95

CAPÍTULO 1

1. INFORMACIÓN PRELIMINAR

1.1. Antecedentes.

En noviembre de 1980, la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) y el Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación (ORSTOM), realizaron un convenio de cooperación técnica para realizar el levantamiento geológico de la costa ecuatoriana a escala 1:50.000, con una duración de 4 años.

Posteriormente, en septiembre de 1984 se realizó el proyecto denominado: “Continuación de las Investigaciones Geológicas y Cartografiado Regional Escala 1:50.000 en zonas preestablecidas de las Provincias del Guayas y Manabí”, auspiciado por el Consejo Nacional de Universidades y Escuelas Politécnicas (CONUEP), lo que permitió financiar la etapa final del Proyecto ESPOL-ORSTOM. Como resultado de estos proyectos se logró la elaboración de 31 cartas geológicas escala 1:50.000 que abarcan un área de 10.500 Km^2.

Por otro lado, en abril del 2003 inicia el Programa de Investigación en Aplicaciones de Materiales no-metálicos el cual es llevado por la

Componente 6 del Programa VLIR – ESPOL, para proveer de soluciones científicas a la problemática de los materiales no-metálicos en la costa ecuatoriana y que tiene como uno de sus objetivos la construcción de una base de información que contemple la ocurrencia de estos materiales en la zona.

Para cumplir con estos objetivos se crea la Subcomponente Ordenación Territorial, cuya principal misión es el levantamiento de la cartografía digital de un sector de la Costa Ecuatoriana a escala 1:50.000. Esta cartografía comprende mapas topográficos y geológicos de la zona con información de vías de comunicación, topografía, hidrografía, centros poblados, formaciones geológicas, estructuras geológicas y cortes geológicos.

Como resultado de las investigaciones realizadas hasta el momento por la Componente 6 en el área de arcillas y zeolitas en la zona, existe amplia información que es necesario visualizar gráficamente para planificar futuros proyectos, campañas de muestreo, selección de áreas potenciales para explotación minera, planes de ordenamiento del territorio, etc.

La integración de estos datos en un Sistema de Información Geográfica, conjuntamente con los mapas geológicos digitales servirá como una herramienta ágil para los procesos de ingreso, búsqueda y actualización de la información geográfica por parte de los investigadores de la componente que realizan sus trabajos en el área de estudio.

1.2. Planteamiento del Problema y Justificación.

Un Sistema de Información Geográfica (SIG), es un sistema diseñado para trabajar con datos referenciados mediante coordenadas geográficas y espaciales, así como un conjunto de operaciones para trabajar con estos datos. Este sistema es usado para reproducir las características presentes en la superficie terrestre y analizar los eventos que tienen lugar en la misma. Considerando que por lo menos el 70% de los datos que se manejan en toda operación, tienen una referencia geográfica como su denominador (*Longley et al., 2001*).

La preparación y análisis de los mapas geológicos y topográficos tradicionalmente han consistido en la superposición de estos para producir mapas temáticos y escoger manualmente áreas de coincidencia tanto para restricciones como para oportunidades en un determinado proyecto (*Burrough P, 1985*).

Los investigadores planifican las salidas de campo para las campañas de muestreo manualmente, delineando los puntos y rutas en esos mapas base. Las dificultades con el método de superponer manualmente los mapas se empeoran cuando se trabaja con mapas que están publicados en diferentes escalas o proyecciones geográficas. Las múltiples capas incluidas en el análisis, así como la alta probabilidad de incluir un error humano en el análisis complica aún más el proceso (*Tepera M, 2002*).

En la ESPOL, los investigadores de la Componente 6 del Proyecto VLIR-ESPOL como parte de los objetivos por cumplir están realizando constantemente campañas de muestreo, salidas de campo,

interpretación de análisis de muestras de campo, actualización de la información geológica, consultas de información de proyectos precedentes, planificación conjunta de proyectos con organismos de otros países, así como también intercambio de información con estudiantes de universidades afines al proyecto y que tienen como área de estudio la zona de la Península de Santa Elena (*Paredes C., 2005*).

La Componente tiene mapas topográficos y geológicos, así como datos de las muestras tomadas en el campo con sus respectivos resultados e interpretaciones distribuidos en múltiples bases de datos que utilizan las subcomponentes en sus investigaciones. El actual sistema que se está utilizando impide la integración de los datos de manera eficiente y hace que las tareas de interpretación de los mismos sean difíciles de explotar en toda su magnitud, considerando el valor que estos representan.

Múltiples sistemas han sido utilizados para las tareas de búsqueda y análisis de los puntos de muestreo y sus resultados, sin embargo la actualización de la cartografía es ineficiente y por consiguiente demanda un rango considerable de tiempo (*Pindo J., 2005*).

La incorporación de un SIG para la Componente 6 permitirá a los investigadores tomar mapas impresos en diferentes formatos y de distintas fuentes, y digitalizarlos fácilmente; además ayudará con el análisis de múltiples datos y los resultados serán presentados en una interface visual amigable mediante capas. El método propuesto será más rápido que los actuales, permitiendo la flexibilidad para tratar con múltiples variables simultáneamente. Finalmente, el sistema será diseñado para responder a preguntas acerca de los siguientes tópicos:

- Diagnóstico de la situación actual de la zona de estudio.

- Crear una base de datos de recursos minerales no metálicos.

- Delinear áreas de recursos minerales susceptibles de explotación.

- Seleccionar sitios para proyectos de desarrollo y preservación del medio ambiente.

1.3. Elaboración de Hipótesis.

Para el presente proyecto se utilizará una hipótesis general que se traduce en la siguiente:

- El ingreso de la información geológica en formato de sistemas de Información Geográfica agilizará y optimizará las labores de cartografiado que realiza el personal de la Componente 6 del Programa VLIR-ESPOL.

1.4. Objetivos.

- El objetivo general del proyecto es diseñar un sistema para la gestión de la Cartografía Geológica de una zona de la Península de Santa Elena mediante un software de Sistemas de Información Geográfica.

Objetivos Específicos.

- Generar mapas topográficos digitales escala 1:50.000, mediante la digitalización de las Hojas Topográficas: Salinas, Zapotal, Santo Tomás, Chanduy y Punta las Piedras editadas por el Instituto Geográfico Militar.

- Convertir los mapas geológicos del Proyecto ESPOL-ORSTOM escala 1:50.000 a formato digital de las hojas: Salinas, Zapotal, Santo Tomás, Chanduy y Punta las Piedras.

- Desarrollar la base de datos con la información geológica del área de estudio que contemple Formaciones, Edad, Codificación y abreviaturas estandarizadas.

- Integrar la información geológica, topográfica y bases de datos del área de estudio en un Sistema de Información Geográfica, utilizando el software ArcGis.

1.5. Metodología del Proyecto.

La realización de este proyecto abarca cuatro fases, las cuales se describen a continuación:

Fase I.- Comprende la identificación y delimitación del problema, se trata de determinar la situación actual, a quienes afecta, cómo se podría mejorar y definir las restricciones para las posibles soluciones.

Fase II.- Comprende la investigación bibliográfica, disponibilidad de información base (mapas), consulta de proyectos similares o en áreas afines

y con esta información realizar un análisis preliminar del proyecto, a continuación se procede a realizar una selección preliminar del software a utilizar, el mismo que depende de la disponibilidad en el medio, del costo, de los requerimientos de equipos informáticos y de la utilización en otras entidades públicas o privadas para la fácil difusión de los resultados.

Fase III.- En esta fase se procede a seleccionar y delimitar el área de estudio y a continuación generar la cartografía de base, así como la geología y generación de las bases de datos. Esta es la operación que consume más tiempo y costo, adicionalmente es donde se puede introducir errores que incidirán en el proyecto final, razón por la cual es necesario prestar especial cuidado a la hora de generar y editar la información.

Fase IV.- Comprende básicamente el ajuste final, así como la generación de mapas con la información y simbologías adecuadas. Es de recalcar que esta fase se realizará durante todo el tiempo que esté disponible la aplicación, ya que a medida que se realizan nuevos proyectos y por ende se alimente más información, el sistema se actualiza lo que a su vez hace que el mismo disponga cada vez de información adicional.

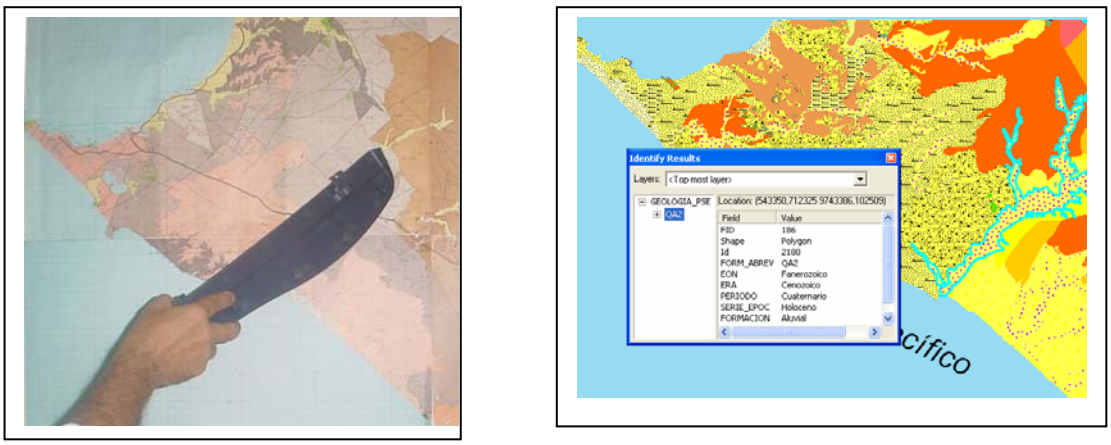


Fig. 1.1 Problema Inicial y Solución Propuesta (***Pindo J.***, *2007*).

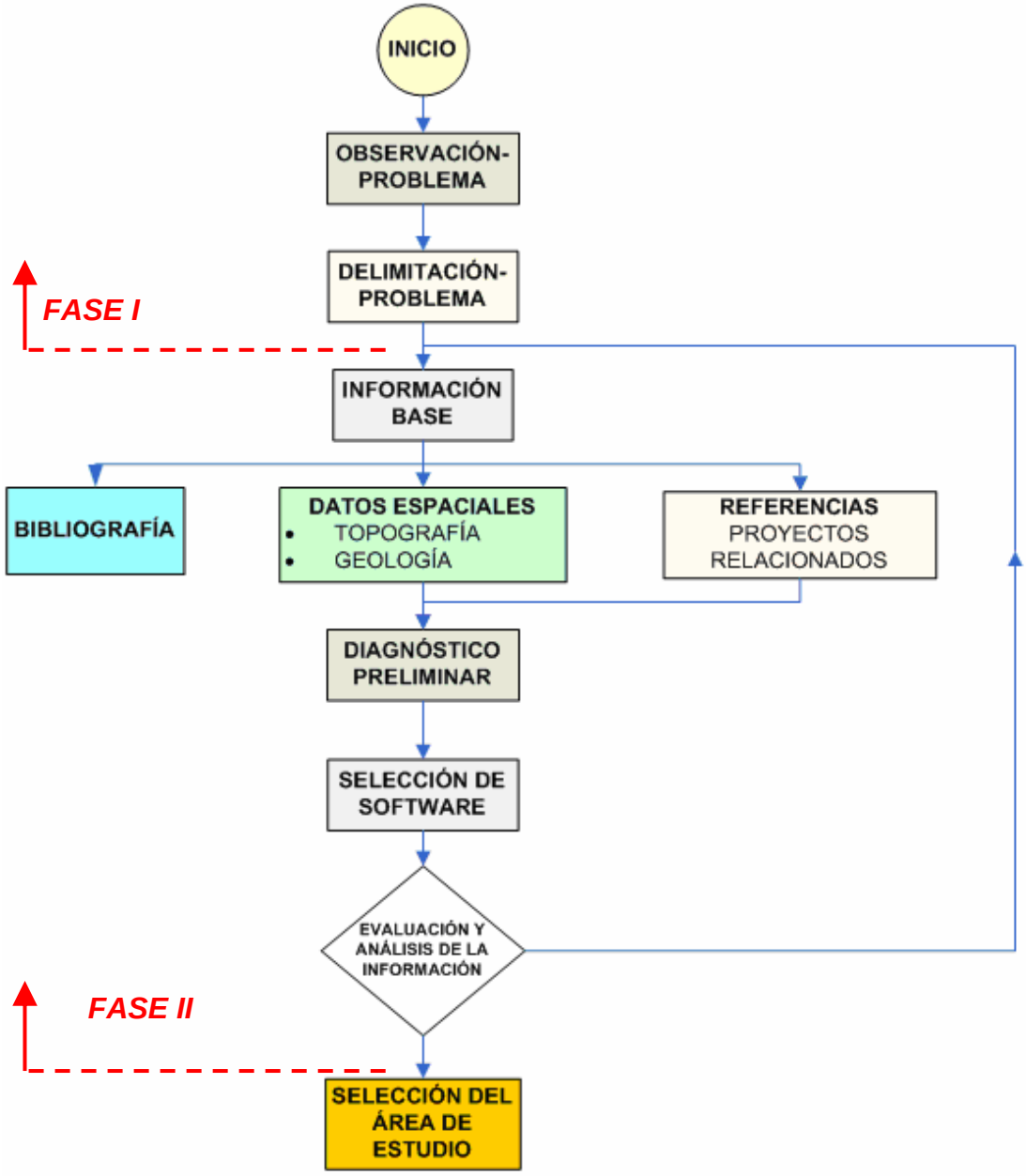


Fig. 1.2 Esquema Metodológico Fase I y Fase II (***Pindo J.**, 2007*).

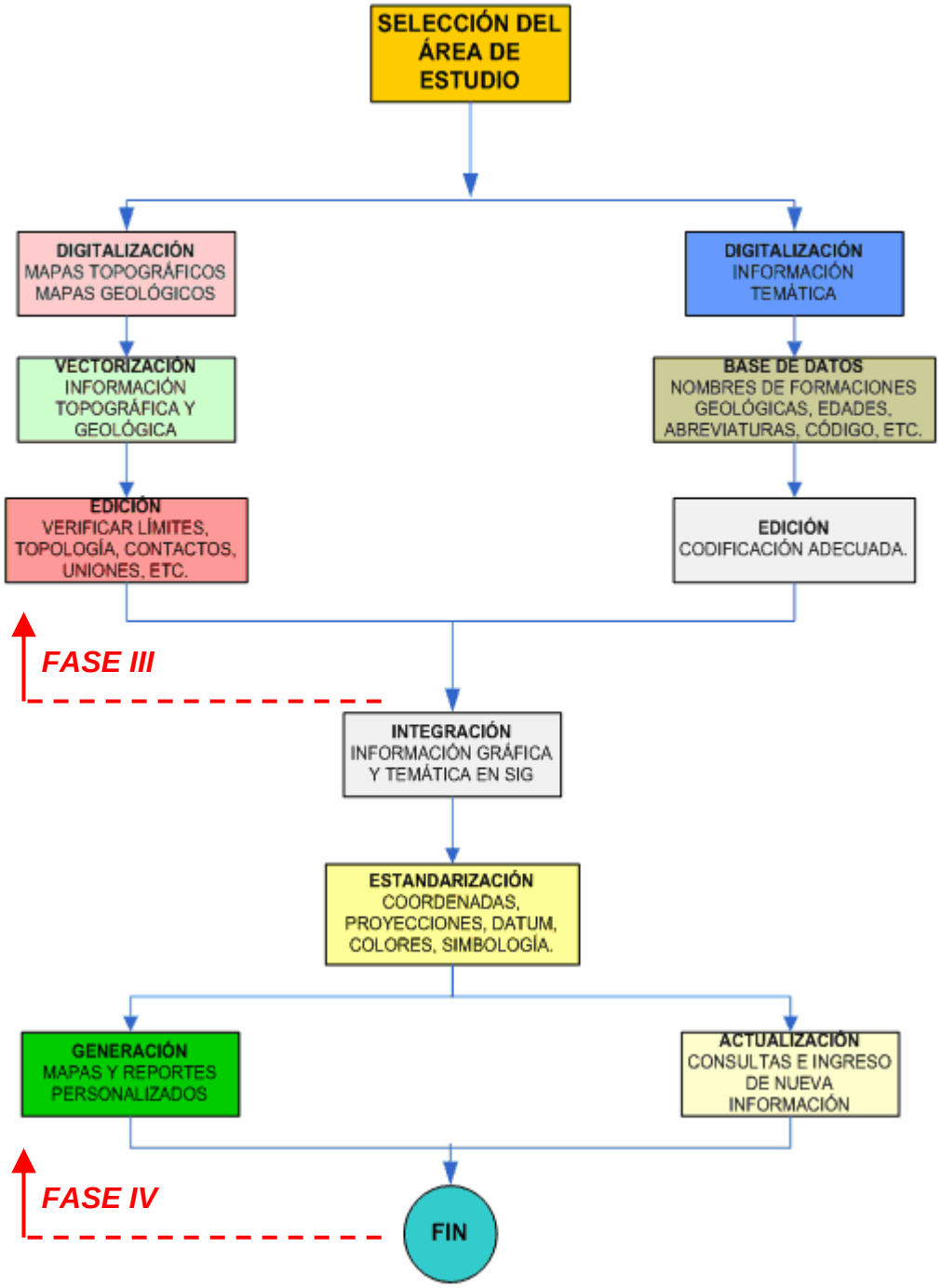


Fig. 1.3 Esquema Metodológico Fase III y Fase IV (***Pindo J.**, 2007*).

1.6. Ubicación del Área de Estudio.

El área se encuentra ubicada en la región costera, dentro de la provincia del Guayas, que corresponde al Suroeste de la Costa Ecuatoriana. La región se encuentra comprendida entre los meridianos 81°01' y 80°15' de Longitud Oeste y entre los paralelos 2°30' y 2°10' de Latitud Sur, abarcando una superficie aproximada de 1.248,90 Km^2. Está integrada por las Hojas Topográficas: 3487-III Salinas, 3487-II Zapotal, 3486-IV Santo Tomás, 3486-I Chanduy y 3486-II Punta de Piedras, editadas por el Instituto Geográfico Militar. La ciudad más importante es Salinas, la misma que se encuentra a una distancia de 163 Km. de la ciudad de Guayaquil y a 651 Km. de la capital de la república, Quito. El límite Occidental de la zona está cubierto en su totalidad por el Océano Pacífico.

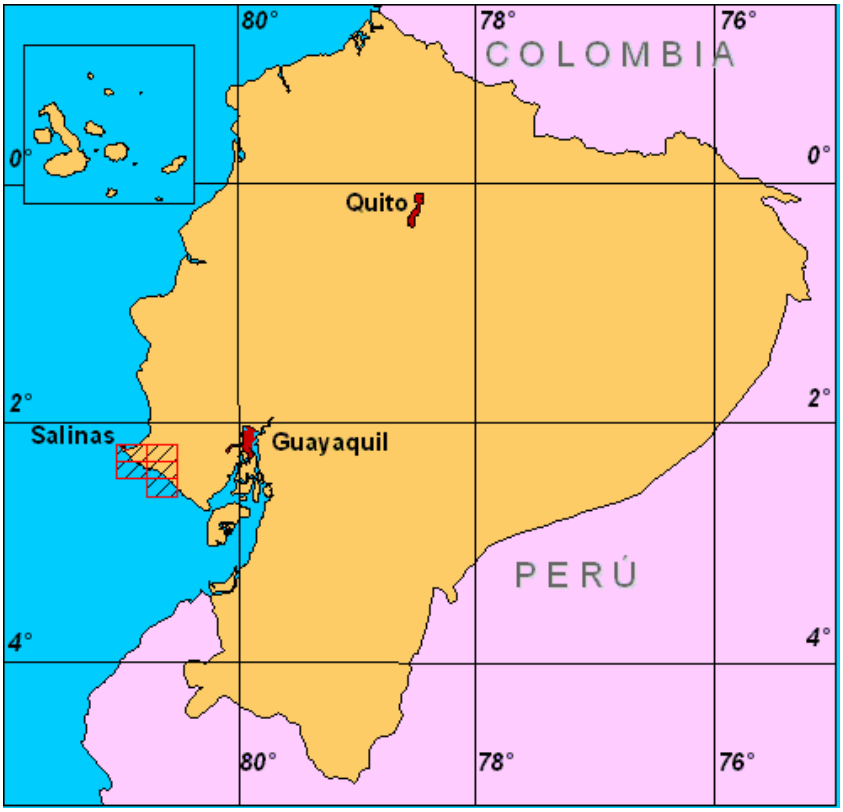


Fig 1.4 Mapa de Ubicación del Área de Estudio (***Pindo J.***, *2007*).

CAPÍTULO 2

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Reseña Histórica[1].

El desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica, se puede establecer en una cronología compuesta por cinco períodos, que son los que vamos a describir a continuación y se detallan en el gráfico adjunto.

La primera etapa en el desarrollo de los SIG abarca entre los finales de los años cincuenta y comienzos de los setenta, del siglo anterior, considerada como la etapa pionera, uno de los principales referentes es el software canadiense CGIS (Canadian Geographical Information System). La aparición de los SIG no estuvo ligada, en sus comienzos, al mundo académico, sino que más bien fue el resultado de la conjunción de múltiples factores como la necesidad de disponer de un sistema que permitiera un tratamiento específico de la cartografía, los avances técnicos de la época y la visión de las entidades públicas para su aplicación, que hicieron posible su surgimiento y posterior despegue.

---

[1] *Basado en el Libro: Sistemas de Información Geográfica de J. Santos Preciado*

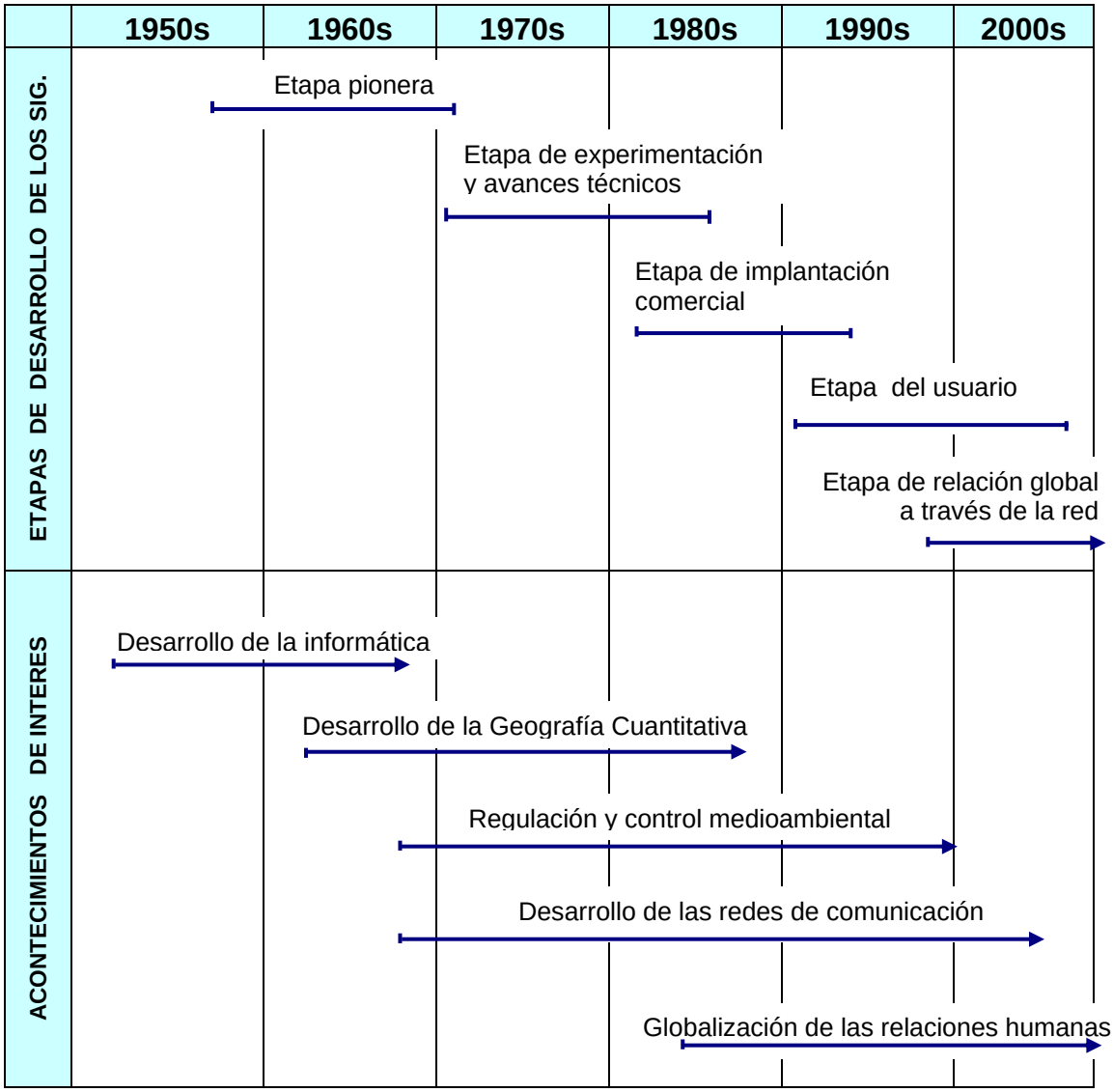


Fig 2.1 Cronología de la Evolución de los SIG y sus principales acontecimientos de desarrollo. (Fuente: Foresmam, T. M., 1998)

La segunda etapa se caracteriza por los avances técnicos experimentados por los SIG, lo que supuso un progreso considerable en el desarrollo del software propio a este tipo de sistemas. El papel desempeñado por las instancias gubernamentales, en su apoyo decidido a la investigación, y su posterior aplicación en el campo de la problemática medioambiental y el control

de los recursos naturales, promovieron un florecimiento sin precedentes de la tecnología de los SIG, lo que iba a promover un avance trascendental, previo a la posterior implantación en la sociedad. Un ejemplo de aquello se da en los Estados Unidos con la política de la NEPA (National Environmental Policy Act), dirigida al control de los usos del suelo y a la protección medioambiental, que incrementó la investigación en el campo de los Sistemas de Información Geográfica, así como el uso de los mismos en la gestión del territorio y en la valoración de los impactos ambientales. Estas iniciativas, que tuvieron lugar, de manera trascendental durante las décadas de los años setenta y ochenta, generó importantes avances en el desarrollo de las estructuras, almacenamiento y gestión de las bases de datos.

La tercera etapa del desarrollo de los SIG es la de su implantación comercial. Desde mediados de los años ochenta, comienzan a surgir productos SIG en el mercado, como consecuencia del abaratamiento de los costes y de la difusión de los posibles campos de aplicación. Es el momento de la aparición de múltiples empresas de fabricación y distribución comerciales, como ESRI. Los avances de la etapa anterior, que propiciaron el desarrollo de los SIG vectoriales, unido a los progresos de la industria del hardware, que contribuyó con el paso del tiempo a la generalización de las computadoras personales, la mejora de los dispositivos para las salidas gráficas o el desarrollo de los equipos de digitalización, hicieron de los SIG un mercado en permanente expansión.

Este desarrollo comercial de los productos SIG promovió la puesta en el mercado de sistemas cada vez más elaborados, que daban una respuesta mas adecuada a las demandas de los potenciales consumidores, de manera que muchas de las empresas que fabricaban sus propios programas, modificaron su estrategia de producción, para adquirir SIG ya elaborados, de

procedencia comercial. El diseño de estos sistemas ha ido simplificando con el tiempo el funcionamiento e interfaz de relación con el usuario.

La cuarta etapa, conocida por algunos autores como la fase del usuario, es considerada como el momento en que los Sistemas de Información Geográfica, una vez implantados en el mercado de forma rápida y eficaz, generaron una feroz competencia entre las diversas compañías dedicadas a la venta de este tipo de productos.

Un elevado número de empresas, dedicadas a la promoción SIG, o bien surgen en este momento o bien desarrollan sus actividades unos niveles inimaginables hasta entonces. Destacan, entre otras, las sociedades como ESRI, Intergraf, Strategic Mapping, MAPINFO, la mayor parte de ellas norteamericanas, que dominaban, en este momento la mayor cuota del mercado mundial.

El crecimiento del número de personas e instituciones, interesadas por los artículos generados por el sector, dirigió una atención especial al usuario con objeto de no perder su cuota de mercado, de modo que se amplió el campo de aplicación de los SIG, abriendo nuevas perspectivas de uso de los SIG en las instituciones de carácter público, para múltiples servicios municipales y otras administraciones competentes, de ámbito regional o nacional, interesadas en la gestión de los recursos naturales; en las infraestructuras lineales, como carreteras, vías de ferrocarril o tendidos eléctricos; en la planificación territorial y planeamiento urbano; o en la administración del catastro, como herramienta de ayuda a la toma de decisiones en materia fiscal. Este interés se hacía extensivo al campo de la actividad privada, en actividades como el geomarketing, dirigidas a favorecer las estrategias empresariales de conocimiento del mercado.

La última etapa de expansión de los SIG, es la fase de la relación global a través de las redes de comunicación a distancia, el uso del correo electrónico, Internet y las redes de banda ancha, modificando el panorama en las relaciones sociales. Este hecho está generando un profundo impacto de la tecnología digital en la sociedad, que, sin duda, afecta al desarrollo de los SIG, ya que se promueve una comunicación más abierta entre los individuos, que se complementa con la rapidez y eficacia en la transmisión y el acceso a la misma.

En el momento presente, los SIG permanecen aún bajo el dominio de los profesionales trabajando como especialistas de los gobiernos municipales y regionales, o en el mundo de la empresa privada. Sin embargo, no resulta difícil imaginar que se abran nuevas perspectivas en el uso de los SIG que afecten a la vida diaria de gran parte de la población, como los sistemas de navegación para automóviles, u otras áreas de aplicación práctica.

Principales hitos de la evolución de los Sistemas de Información Geográfica

La difusión de los SIG en la sociedad comienza cuando los productos elaborados tuvieron aceptación en el mundo de los negocios. Esta circunstancia da la oportunidad para el despegue de la producción de sofware comercial. La generalización en el uso de los SIG ha tenido mucho que ver con ese momento, en que su puesta en el mercado superó la masa crítica necesaria como para iniciar un proceso sin vuelta atrás,

El ejemplo más paradigmático de todos cuantos se puede encontrar, respecto a una empresa dedicada a la producción y venta de software SIG, es el de ESRI. La empresa ESRI (Environmental Systems Research Institute) nació en 1969, el período de los años setenta constituyó una fase de lento

crecimiento. A mediados de los setenta, la empresa puso en el mercado un sistema vectorial, que era un punto de apoyo intermedio para la gran expansión comercial de los años ochenta. Justo en 1982, ESRI presentó el sistema ARC/INFO, uno de los productos SIG que han hecho famosa a la empresa. Este sistema se apoyaba en la idea, ya presente en el CGIS canadiense, de separar la información espacial de los atributos. ARC/INFO tenía un funcionamiento doble, con el empleo de bases de datos relaciónales (INFO), que soportaban la información de los atributos, y un especializado software para el manejo de los objetos geográficos, a partir de elementos individuales o arcos (ARC). El éxito de ESRI tiene que ver con su olfato comercial lo que ha procurado su permanencia en el mercado, su primitiva aplicación en el campo de los recursos naturales se amplió a otros muchos sectores de aplicación, como el de los transportes, los estudios de mercado o el sector educativo. De esta manera, ESRI ha reforzado su posición en el mundo SIG con unas ventas del software cercanas a los 427 millones de dólares, el 34,6% de todo el mercado SIG mundial.

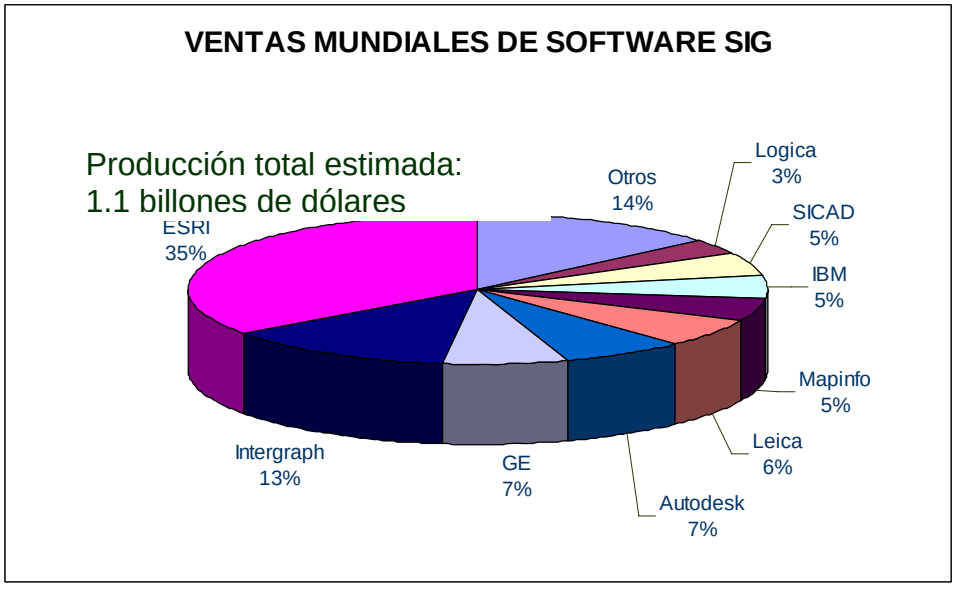


Fig. 2.2 Distribución de productos SIG a nivel mundial para el año 2001 (Fuente: ESRI, Preciado J. M. Madrid 2004.)

El crecimiento de ESRI ha sido parejo al de toda la industria SIG, que durante el 2001, alcanzó 1.1 billones de dólares y consiguió un crecimiento del 14,3% sobre el año anterior. ESRI ha sido el líder mundial de los SIG en los principales sectores del mercado; el 57% del sector transportes, 53% en el sector público y un impresionante 67% en el sector educativo. Además ha llegado al 49% del mercado cartográfico, el 48% del sector de recursos naturales y el 41 % del sector privado.

Incidencia de la demanda en el desarrollo de los SIG

La demanda de los Sistemas de Información Geográfica creció rápidamente, desde finales de los años ochenta y comienzos de los noventa del pasado siglo. Entre los factores que inciden en esta expansión del mercado de los SIG podemos citar, en primer lugar, la cantidad de información disponible que se ha incrementado de manera exhorbitante, conjuntamente con la capacidad de los dispositivos de almacenamiento (CDs, DVDs, discos duros, y dispositivos extraíbles) y los procedimientos de transferencia de archivos cada vez más veloces (Internet de banda ancha, redes locales). En segundo lugar, el costo de los equipos informáticos ha disminuido sobremanera, animando a los usuarios, en el tratamiento de la información georreferenciada, a la utilización de sistemas cada vez más potentes. Finalmente, las nuevas áreas de aplicación de los SIG, sobre todo en el campo de la protección y gestión de los recursos naturales, protección del medio ambiente y planificación y ordenación del territorio, abrieron nuevas perspectivas de empleo a esta clase de herramientas informáticas, en un nivel hasta entonces desconocido.

Este nuevo panorama del campo de aplicación de los SIG ha afectado a las empresas del sector privado, pero sin duda, ha repercutido, en mayor proporción, en las instituciones públicas. Un breve repaso a alguno de los

nuevos usos de los SIG nos descubre su utilización en sectores en los que hasta ahora se habían utilizado otros métodos de trabajo, como los que se describen a continuación:

Sector bancario: localización de red de sucursales en función de las características de la población. Estudio de modelos de mercado potenciales. Estudio de riesgos en la gestión de seguros. Seguimiento de inversiones y de los resultados del mercado bancario en su dimensión territorial.

Sector de estudios de mercado: segmentaciones de mercado, distribución territorial de la población y de sus características socioeconómicas

Sector sanitario: seguimiento de estudios epidemiológicos. Planificación de la red de asistencia sanitaria en relación con la población que habita una zona. Análisis de la distribución geográfica de los perfiles sanitarios de la población.

Sector logístico: gestión de flota de transporte. Planificación y optimización de rutas. Determinación de centros de distribución. Posicionamiento de puntos de venta y análisis de itinerarios de recogida y suministros. Control de los envíos.

Sector de las telecomunicaciones: planificación de las redes de telefonía móvil, de televisión por cable, análisis de cobertura del medio.

Sector de la comunicación: información sectorial para su transmisión gráfica hacia los sectores deseados de la opinión pública. Análisis de los efectos de las campañas de publicidad y promoción. Teletrabajo, educación a distancia, tiempo libre, información sobre ocio.

Sector de franquicias: localización de nuevos puntos de venta, captación de clientes potenciales.

Sector del automóvil: de los 14,5 millones de turismos que se matricularon en Europa en el año 2000, cerca del 47 por 100 ofrecían la opción de contar con un navegador. En muy pocos años será una necesidad.

Sector medioambiental: para realizar inventarios de suelos o controlar el tipo del uso del mismo.

Sector geológico y minero: para monitorear el drenaje ácido de las minas en las aguas superficiales. Compañías de consultoría minera están utilizando los SIG para crear bases de datos tridimensionales con el propósito de monitorear depósitos de desechos nucleares, programas de exploración minera, y acuíferos.

2.2. Los Sistemas de Información Geográfica.

Es difícil dar con una definición precisa y única de este tipo de sistemas, hasta el punto que cada autor ofrece una diferente. A continuación se describen algunos de los conceptos más usados, a través del tiempo:

Coodchild (1985): «Sistema que utiliza una base de datos espacial para generar respuestas ante problemas de naturaleza geográfica».

Burrough (1986): «Potente conjunto de herramientas para recolectar almacenar, recuperar a voluntad, transformar y presentar datos espaciales procedentes del mundo real».

Tomlinson (1987): Sistema digital para el análisis y manipulación de todo tipo de datos topográficos, a fin de aportar material útil para las decisiones territoriales».

NCC1A (1990): «Sistema de hardware y software, diseñado para realizar la captura, almacenamiento, manipulación, análisis, modelización y presentación de datos, referenciados espacialmente, para la resolución de problemas complejos de planificación y gestión».

Felicísimo (2003): «Conjunto de software de ordenador, hardware y periféricos que transforman datos referenciados geográficamente e información sobre localizaciones, interacciones espaciales y relaciones geográficas de las entidades fijas o dinámicas que ocupan un espacio en los entornos naturales o construidos».

En estas definiciones se identifican los principales elementos que se consideran en un SIG: el tipo de tecnología empleada (de carácter informático), la información que se maneja (información geográfica, de base espacial o georreferenciada), las operaciones que se realizan (captura, almacenamiento, gestión y análisis y presentación de resultados) y, finalmente, la problemática que se intenta resolver (problemas territoriales y medioambientales).

En síntesis un Sistemas de Información Geográfica se puede definir como “un sistema para la gestión, análisis y visualización de información geográfica”.

¿Para Qué Sirven los Sistemas de Información Geográfica?

La utilidad de los SIG basa en su capacidad para responder a cuestiones relacionadas con problemas de índole espacial, ya que sus herramientas están orientadas a responder consultas acerca de múltiples tópicos, los cuales se pueden resumir en seis grandes tipos de cuestiones. Según Rhind (1990), estas serían las siguientes:

Localización directa. ¿Qué existe en un lugar concreto del territorio?, es una de las consultas elementales y se trata de conocer qué atributos posee una determinada zona representada en el mapa. Por ejemplo, podríamos conocer el nombre de una formación geológica, su extensión, localización, edad geológica, etc.

Localización condicionada. ¿Qué parte del territorio cumple con ciertos criterios de ubicación?, se trata de determinar cuál es la parte del espacio que cumple con uno o varios condicionamientos geográficos utilizados como criterios de selección relacionados con un problema concreto. Por ejemplo, seleccionar el lugar más apropiado para localizar una industria no contaminante, considerando como criterios de localización la topografía, proximidad a los centros poblados, cercanía a la ubicación de las materias primas, etc.

Tendencias. ¿Cómo ha variado una determinada característica del terreno con respecto al tiempo?, en este tipo de cuestiones se trata de la comparación entre situaciones temporales distintas, referidas al mismo territorio de modo que permitan conocer la evolución de fenómenos a través del tiempo. Esta variación de la realidad se suele realizar, contrastando dos o varias imágenes, en diferentes momentos del tiempo. Un ejemplo de esta

aplicación podría ser, conocer la variación del cauce de un río debido a la acción del incremento de su caudal después un Fenómeno del Niño.

Rutas. ¿Cuál es el camino óptimo en el terreno desde un punto hasta otro punto?, Los SIG pueden dar respuesta a estas cuestiones considerando ciertos parámetros como costo o impedancia (distancia, tiempo, pendiente, consumo de combustible, peaje). Una aplicación de esto sería la selección de la ruta óptima para la construcción de una carretera, conocidas las características del territorio (litología, topografía, especies vegetales a proteger), de forma que se evalúe el camino más adecuado, desde el punto de vista de la minimización de los costos ambientales y de construcción.

Pautas. Es posible reconocer algunas regularidades espaciales con el tratamiento de la información geográfica con un SIG. Por ejemplo, se podría conocer la densidad de la población en una determinada ciudad como parte de un análisis demográfico, para establecer políticas de inversión en infraestructura básica por parte de los Gobiernos Municipales.

Modelos. Esto es la representación de la realidad, a partir de un modelo teórico que imite el comportamiento del mundo real. Este tipo de aplicaciones se viene utilizando con los SIG, como herramienta de gestión y análisis, en la reproducción de múltiples fenómenos geográficos, como la difusión de una enfermedad o la dispersión de contaminantes en un acuífero.

2.3. Componentes Básicos de Los SIG.

De acuerdo a la definición de los Sistemas de Información Geográfica, se puede identificar de manera clara cuáles son los elementos principales que los integran. En primer lugar, se encuentran los elementos que forman parte de la tecnología informática; es decir, los programas instalados en los

equipos. En segundo lugar, están todos los equipos en los que se instalarán los programas y se visualizarán los resultados, conocidos como el componente físico. En tercer lugar están los datos de los que se alimentan los equipos informáticos para producir o elaborar los estudios sobre el territorio. A continuación, consideraremos el componente humano, que está conformado por el personal que trabaja con los SIG y es capaz de manejar los componentes anteriores y; en quinto lugar, se tiene la metodología y los procedimientos de trabajo, necesarios para que el factor humano pueda intervenir con unos datos y la tecnología determinada en resolver un proble-ma. Seguidamente se detallará cada uno de estos elementos.

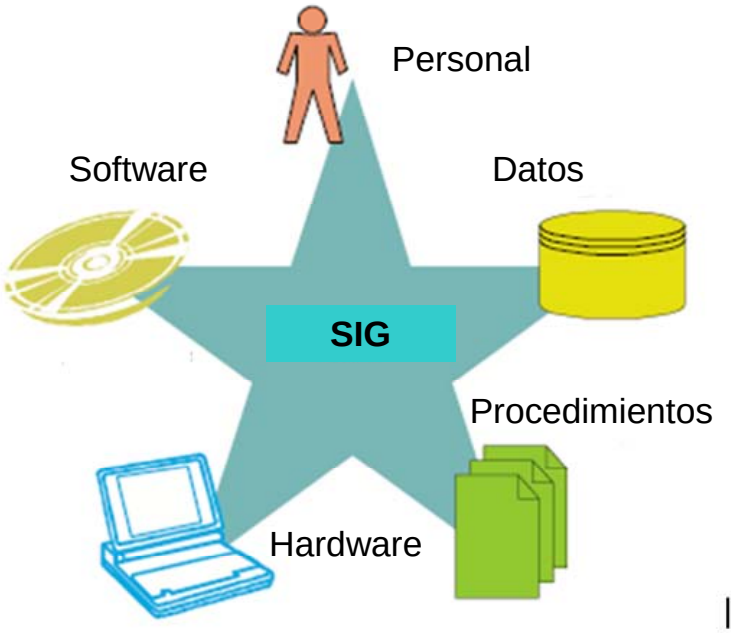


Fig. 2.3. Componentes de un SIG. (Fuente: ESRI, 2003).

2.3.1. El Componente Lógico.

El elemento lógico está formado por el Sistema Operativo y el Software, el cual se halla integrado por diversos programas, ejecutables por las máquinas electrónicas que realizan variadas funciones, como la captura e introducción

de los datos y su almacenamiento organizado en bases de datos; la gestión y análisis posterior, que constituye la etapa de mayor interés, en el caso de los SIG, y finalmente la visualización de la información, tanto en fases intermedias del proceso de trabajo, como en el momento de la presentación de los resultados obtenidos. Otras tareas que competen al software son las de la importación y exportación de los datos, para compartirlos con otras entidades que utilizan software de diferentes proveedores.

Algunos de los Software SIG existentes en el mercado.

Entre los programas de aplicación SIG disponibles en el mercado, podemos citar una amplia variedad, y la selección de uno de ellos depende de la aplicación y de la disponibilidad de recursos, ya que las funcionalidades que ofrecen unos u otros varían sobremanera. Existe un amplio conjunto de empresas productoras de software para SIG, y su mercado cada vez va en expansión por lo que en la presente tabla se presentan los más conocidos hasta la actualidad, con sus respectivas direcciones electrónicas.

Tabla 1.- Principales Empresas Productoras de Software para SIG.

Fuente: Santos J., 2002

Empresas	**Dirección electrónica**
ESRI	www.esri.com/
Infecarto, SA	www.infocarto.es/
Intergraph	www.intergraph.com/
IRITER	www.iriter.com/
label Map GIS	www.labelmap.com/
Nexus Geopraphis	www.ngeografics.com/
RUGOMA, SA	www.rugoma.com/
SOCADE	www.socade.com/
XYZ Sistemas Industriales	www.imapper.com/

Es de aclarar que la mayoría de programas que se detallan tienen un costo por licencia de uso y son de arquitectura cerrada, es decir el usuario no puede modificar su funcionalidad, pero también existe un mercado en expansión del software de uso libre que presentan funcionalidades básicas adecuadas para labores no muy complicadas.

2.3.2. Componente Físico.

Más conocido como el Hardware, comprenden todos los elementos físicos de los equipos informáticos. Considerando la gran cantidad de información que se requiere para realizar un análisis, las computadoras deben estar preparadas para recopilar y guardar esta información, lo que demanda un disco duro de determinada capacidad. Por otro lado, en los análisis se requieren realizar múltiples tareas complejas simultáneamente, por lo que los equipos precisan de una memoria RAM y de una velocidad de cálculo mínimas. En otras ocasiones, la visualización de una imagen en la pantalla requiere de unas características que hagan posible la reproducción gráfica o cartográfica de que se trate con un mínimo nivel de detalle. La relación entre cada uno de estos elementos se presenta el siguiente gráfico:

2.3.3. Los Datos.

El segundo componente de los SIG son los datos. Un proyecto SIG procesa cualquier tipo de información que tenga una ubicación espacial. Esta información es muy diversa, pueden ser fotografías aéreas o imágenes satelitales, una colección de contornos del terreno o registros legales de los propietarios del terreno. Cierta información también puede provenir de la cartografía clásica, tales como los mapas impresos o de lugares no esperados como de una compañía privada que posea una base de datos de sus clientes con sus direcciones domiciliaras o de trabajo.

2.3.4. El Personal Técnico que Maneja los SIG.

Cuando se refiere al personal técnico, se debe diferenciar entre quienes construyen la aplicación SIG y los usuarios finales. En el primer grupo están todos los técnicos especializados como cartógrafos, geólogos, ingenieros informáticos, programadores y consultores especializados en cada una de las ramas que involucre el proyecto. En el segundo grupo están todos los usuarios que mantendrán un contacto permanente con la aplicación, tales como el personal de los municipios que cobran los impuestos de acuerdo al catastro o usuarios de Internet que no necesariamente poseen conocimientos técnicos acerca de SIG, como el caso de la aplicación Google Earth.

2.3.5. Los procedimientos.

Un SIG adecuado debe cumplir sobre todo con un plan bien elaborado y obedecer un conjunto de reglas para su elaboración. La ejecución de estas reglas garantiza que los productos finales cumplan con los requisitos del proyecto, ya que abarcan desde la captura de la información, su procesamiento, análisis y resultado final. Estas reglas dependen del tipo de proyecto y de cada organización particular.

2.4. La Información Geográfica.

Se denomina información geográfica a los datos provenientes del terreno que tienen extensión, límite y ubicación con relación a un punto de referencia. Los límites pueden ser un aspecto identificable en el terreno, como un afloramiento, una línea de falla, una carretera o ser límites imaginarios impuestos por el hombre, como por ejemplo la división política de un país.

2.4.1. Los Componentes de la Información Geográfica.

En esencia, la forma en que los SIG gestionan la información geográfica es mediante un objeto gráfico enlazado a una tabla de datos en los que se almacena la información o las características a considerar de los elementos provenientes del terreno. Por lo tanto, cada objeto en un SIG se encuentra enlazado entre dos tipos de variables que pueden ser:

- Espaciales (Gráficos).
- Temáticos (Alfanuméricos).

2.4.1.1. La Variable Espacial.

Es la representación de los objetos gráficos asociados con ubicaciones específicas en el mundo real. La representación de los objetos se hace por medio de puntos, líneas o polígonos. Como ejemplo podemos citar:
Punto: Un punto de triangulación.
Línea: una carretera.
Polígono: una Formación Geológica o la extensión de un Municipio.

2.4.1.2. La Variable Temática.

Se conoce como variable temática a los atributos de cada entidad geográfica, esta puede estar relacionada al medio físico (litología, relieve, clima, vegetación, suelo, hidrografía) o humano (características sociales, económicas, políticas, culturales). Se la conoce también como variable alfanumérica. Normalmente esta información es almacenada en tablas, en las que cada fila, denominado registro, representa a un objeto determinado y cada columna denominado campo, contiene las características o atributos de dicho objeto. La forma en que se enlaza la información alfanumérica y la

variable espacial es mediante un campo que contiene un identificador común denominado entre los datos geográficos y temáticos.

2.4.2. La Estructura de la Información Geográfica.

La base de datos espacial de un SIG, es la representación digital del mundo real en base a objetos discretos. La información sobre estos objetos, de naturaleza temática y espacial, expresada de forma numérica, origina una colección de datos referenciados que actúa como modelo de la realidad. Las directrices y normas necesarias para la obtención de la información, en este formato, constituye lo que se denomina modelo de datos. Dos son los modelos básicos sobre los que se basa toda la arquitectura de los Sistemas de Información Geográfica: el modelo raster y el modelo vectorial, que los describimos a continuación.

2.4.2.1. La Estructura Espacial del Modelo Raster.

Muchos de los datos geográficos que están disponibles y son de fácil acceso están en formato raster. La estructura raster es una matriz de celdas espaciadas regularmente que tiene asociada información temática. Su uso está orientado para modelar fenómenos y variables continuas, tales como los datos de temperatura o elevación de una zona, o datos discretos espaciales como el uso de suelo o tipo de vegetación. Para la ubicación de la información, se toma como referencia la esquina inferior izquierda, el ancho y la altura de cada celda, que generalmente son cuadrados y de igual valor para toda la matriz, de modo que la localización de las mismas queda definida a partir de la columna y fila en la que se encuentra.

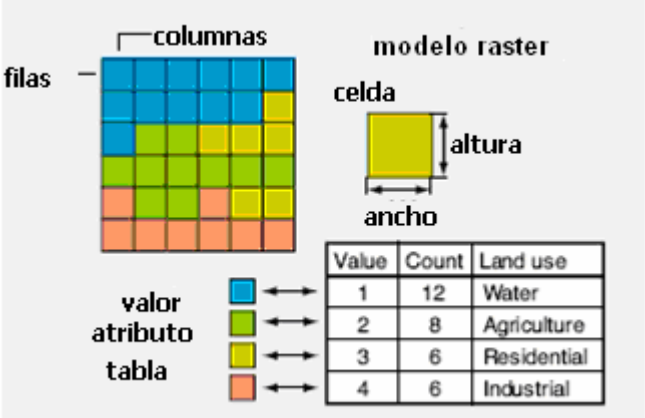


Fig. 2.4 Formato de almacenamiento Raster. (Fuente ESRI).

El modelo raster contiene uno de los tres tipos de información: datos temáticos, datos espectrales e imágenes.

Los datos temáticos almacenados como raster pueden representar un fenómeno particular como la extensión un incendio, concentración química, pendientes del terreno o elevación.

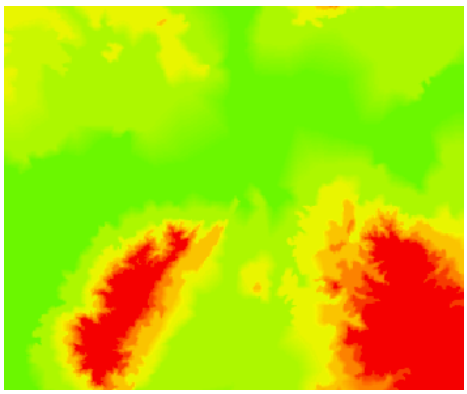


Fig. 2.5 Archivo tipo Raster (***Pindo J.***, *2007*).

El uso más común del modelo raster es para representar las imágenes de la tierra adquiridas mediante fotografías aéreas o imágenes satelitales. Estas imágenes pueden tener múltiples bandas o capas que poseen más de un valor para cada celda, estos valores son comparados con modelos

espectrales conocidos, de modo que se puede determinar el tipo de rocas, vegetación, suelo, etc. Finalmente el modelo raster puede contener gráficos, tales como un mapa escaneado.

2.4.2.2. La Estructura Espacial del Modelo Vectorial.

En el modelo vectorial, los elementos geográficos son representados mediante puntos, líneas y polígonos y es ampliamente aplicado en objetos discretos con una geometría y frontera definida. Los puntos, como objetos adimensionales, quedarían representados por un par de coordenadas (x_1,y_1). Las líneas y polígonos se construirían a partir de estas unidades elementales; en el caso de las líneas está formada por una sucesión abierta de puntos (x_1,y_1), $(x_2,y_2)\ldots(x_n,y_n)$; y los polígonos de igual manera, pero con la diferencia de que las coordenadas del primero y del último de los puntos coinciden.

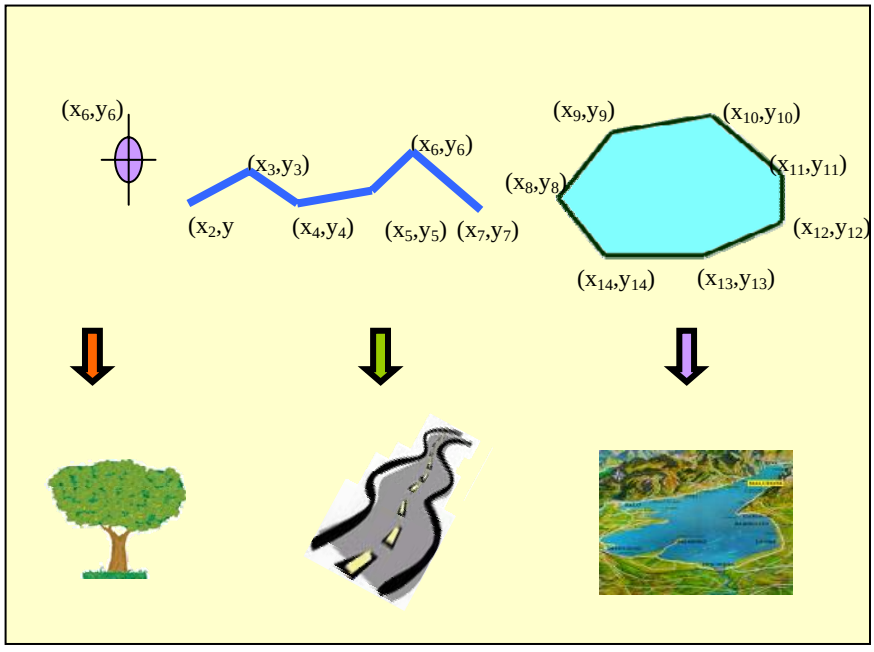


Fig. 2.6 Elementos Vectoriales de un SIG (***Pindo J.***, *2007*).

En el modelo vectorial, se debe diferenciar entre estructuras de datos cartográficas y topológicas. Las primeras revelan únicamente, la forma y posición de los objetos espaciales, por lo que solamente se necesita de las coordenadas para definir a los objetos (puntos, líneas y polígonos), mientras que en la estructura topológica, para su definición se requiere de la conectividad de los arcos en las intersecciones y las relaciones de contigüidad entre polígonos (unión, intersección, vecindad, pertenencia).

Georreferenciación de los objetos geográficos

La georreferenciación consiste en asignar las coordenadas de localización de un objeto (imagen o mapa) con respecto a un sistema de coordenadas conocido, tales como latitud/longitud, UTM. Mediante esta operación es posible la superposición de múltiples capas de información de una misma zona, provenientes de diversas fuentes, tales como geología, geomorfología, datos hidrográficos, etc. sin el riesgo de cometer errores de desplazamiento o que provengan de diferentes sistemas de referencia. Existen dos formas de asignar la localización espacial de los objetos o entidades geográficas.

La georreferenciación directa utiliza un sistema de ejes de coordenadas, respecto a los cuales determina la posición de cada punto de manera absoluta. Los sistemas más utilizados son el sistema terrestre de coordenadas esféricas y diversos sistemas de coordenadas planas, resultado de la proyección de las posiciones de los puntos de la superficie terrestre sobre una superficie (plano, cilindro, cono), que pueda desarrollarse sobre un plano. Cada punto es posible localizarlo mediante un par de coordenadas denominadas longitud y la latitud, en el caso de coordenadas esféricas.

La georreferenciación indirecta, también conocida como geocodificación, cada objeto queda localizado por un código de carácter descriptivo y no por

un sistema de coordenadas, de manera que esta información permite establecer la localización en un paso posterior. La dirección domiciliaria con los portales es uno de los sistemas más utilizados de georreferenciación indirecta. El conocimiento de la posición geocodificada de los portales permite, fácilmente, convertir la misma a coordenadas absolutas.

2.4.3. La Representación Cartográfica de la Información Geográfica.

El medio de interacción entre nuestra percepción y los datos geográficos es a través de los mapas. Los mapas permiten identificar modelos, relaciones y tendencias de objetos espaciales. Las personas han usado los mapas a través de la historia; hasta años recientes, estos eran exclusivamente documentos impresos en papel o láminas especiales.

Con la extensa utilización de las computadoras y el desarrollo de los SIG, los mapas se han convertido en documentos que resultan familiares ya sea a través de medios impresos, como en presentaciones interactivas en las computadoras, es decir, han abandonado su naturaleza estática para convertirse en una presentación dinámica de datos geográficos. Su valor, en la actualidad, se ha visto aumentado ante la posibilidad de almacenar su contenido en soporte digital, lo que hace posible su tratamiento informático, de modo que algunas variables del medio físico como la topografía, geología, pueden ser adquiridas de la realidad y suministradas a los SIG y, posteriormente mediante el tratamiento adecuado presentar en mapas impresos.

2.4.3.1. Características y Contenido de los Mapas.

En síntesis, un mapa es «una representación geométrica plana, simplificada y convencional, de toda o una parte de la superficie terrestre, con una

relación de similitud proporcionada, a la que se llama escala» (Joly, F., 1982).

Para que sea efectivo, un mapa debe proporcionar la suficiente información para su interpretación. Para cumplir con este requisito, los mapas deben observar ciertos principios de diseño gráfico: escala, referencias, simbología, tipografía, cuadrícula de coordenadas, etc.

El mapa como representación geométrica plana

La representación de los datos geográficos en un mapa, involucra como primer paso la transformación o correspondencia de los puntos de la superficie terrestre sobre un plano, lo que implica dos consideraciones a tomar en cuenta:

- La delimitación precisa de cada punto de nuestro planeta.
- La relación entre los puntos de la Tierra y el plano.

Para ello, debemos tener presentes dos circunstancias de gran importancia: la forma real de la Tierra y la manera de establecer la correspondencia entre la superficie de un esferoide y un plano.

La forma real de la Tierra (Elipsoide, Geoide, Datum).

Como se conoce, la Tierra no es una esfera, sino más bien una esfera achatada por los polos, adicionalmente, considerando las irregularidades de la superficie, su forma no puede ser representada por una superficie geométrica regular única.

Para resolver este problema, cada zona a cartografiar adopta un modelo matemático de manera que en esa área los puntos de la superficie coincidan lo mejor posible con el modelo escogido. La superficie utilizada para la

aproximación es la que se genera por la revolución de una elipse alrededor de uno de sus ejes y se denomina Elipsoide.

Debido a la necesidad de utilizar un sistema común para todas las zonas de la tierra, en la que cada parámetro quede definido no solamente por sus valores geométricos, sino que se utilice un factor universal para cada punto, se ha definido el término Geoide, que es la superficie teórica de la tierra que une todos los puntos que tienen igual gravedad.

Por lo expresado anteriormente, cada zona de la tierra tendrá un elipsoide de referencia, lo que supone la existencia de múltiples elipsoides para definir los puntos de la tierra, por esta razón se define otro parámetro, el cual nos proporciona mayor información. Este es el Datum, conocido como el punto tangente al elipsoide y al geoide donde ambos coinciden. Por lo tanto el Datum representa un origen y situación de un sistema de coordenadas válido para una determinada zona de la tierra, no extrapolable a toda la superficie terrestre.

Principales sistemas de proyección

La proyección consiste en pasar al plano la red de meridianos y paralelos, utilizando un sistema de proyección. La elección del sistema depende de las necesidades de cada usuario, ya que estos generan deformaciones que pueden afectar de forma especial a las superficies, a los ángulos o a las distancias.

Los sistemas que conservan las distancias a lo largo de direcciones especiales, son los equidistantes. Las proyecciones conformes conservan los ángulos, estos es, el ángulo que forman las líneas en la esfera al cortarse y el representado en el plano es el mismo, conservan además la forma de la

figura pero no su área. Por último, hay proyecciones que conservan la superficie o área de cualquier figura sacrificando los ángulos, se denominan equivalentes.

Los sistemas de proyección se pueden clasificar en cuatro grandes grupos:

- Cenitales o acimutales. Resultan de proyectar la superficie del globo sobre un plano, desde un centro de perspectiva. Estas proyecciones poseen simetría radial respecto a un punto central.

- Cónicos. En este sistema, se proyecta la red geográfica sobre un cono que posteriormente, se desarrolla sobre un plano. Su característica es que los meridianos aparecen como rectas y los paralelos como arcos de círculos concéntricos. Es utilizado para zonas situadas en latitudes medias y es imposible representar toda la esfera terrestre en este sistema.

- Cilíndricos. Sistema en que la superficie donde se proyectan los puntos de la tierra es un cilindro que, posteriormente se desarrolla sobre un plano. Los meridianos y paralelos aparecen como rectas, con la característica de que los meridianos están igualmente espaciados, mientras que la separación de los paralelos aumenta progresivamente a medida que se alejan de la línea ecuatorial.

Entre las proyecciones cilíndricas más utilizadas está la transversal de Mercator o también denominada U.T.M. (Universal Transverse Mercator). Esta consiste en utilizar un cilindro tangente a un meridiano, a lo largo del cual todos los puntos proyectados mantienen su escala. En el sistema UTM, se utilizan múltiples cilindros de proyección, para esto se divide franjas entre

meridianos espaciados 6º de longitud denominados husos. De esta forma, se tienen 60 husos para cubrir toda la superficie. Para minimizar los errores a la hora de proyectar los puntos, se define un meridiano central equidistante 3º a cada extremo de los husos. El origen de coordenadas del sistema UTM, se encuentra localizado en la intersección de la línea ecuatorial con el meridiano central, este punto se asignan las coordenadas arbitrarias de x (este) 500.000 e y (norte) 10’000.000, de esta manera se elimina la posibilidad de encontrar valores negativos a la izquierda del meridiano central o hacia debajo de la línea ecuatorial.

Una vez definidos todos estos parámetros, un punto geográfico quedará perfectamente definido si se conocen sus coordenadas, el huso en el que se encuentra y el Datum de referencia.

El otro punto a considerar para la representación de los datos geográficos es la relación existente entre las distancias presentes en la realidad y la representada en los mapas. A esta relación se denomina escala y generalmente se expresa por una fracción cuyo numerador es la unidad y el denominador es las unidades de la realidad representadas en el mapa. Así por ejemplo, para la escala 1:50.000 nos indica que un centímetro en el mapa impreso representa 50.000 centímetros en el terreno o lo que es lo mismo 500 metros.

2.4.3.2. Los Tipos de Mapas.

Desde el punto de vista de la información que contiene un mapa, se puede clasificar en dos grandes grupos:

- Mapas Temáticos.
- Mapas Topográficos.

Los mapas temáticos

Los mapas temáticos representan los datos espaciales con relación a un tema o aspecto determinado: geología, litología, temperatura, usos del suelo, volumen de población. Dependiendo de las variables que representan estos mapas pueden ser de tipo cualitativo y cuantitativo.

En los mapas temáticos cualitativos, únicamente se reflejan atributos de manera nominal, para lo cual se emplean diferentes signos: gráficos de diferente tamaño y colores para datos puntuales (puntos de triangulación, puntos de recolección de muestras, capitales de provincias), líneas de espesores, formas y colores variados para datos lineales (carreteras, redes hidrográficas) y tramas y colores para elementos superficiales (formaciones geológicas, provincias).

Los mapas temáticos cuantitativos permiten expresar valores numéricos, que representan la cantidad de una variable determinada. Los valores pueden ser absolutos o relativos (relación entre variables). Los métodos de dibujo usados para visualizar esta información son los siguientes:

a) Representación de datos, mediante colores. Es una manera de visualizar un atributo mediante un conjunto de colores. Cada color representa una escala de valor determinada, de esta manera se puede observar la variación del atributo en cada objeto.

Fig. 2.7 Visualización de atributos por colores. (Fuente ESRI).

b) Representación de datos, mediante símbolos graduados. Consiste en representar los valores numéricos de un atributo mediante un tamaño relativo al valor o rango de valor del atributo que representa.

Fig. 2.8 Visualización de atributos graduados. (Fuente ESRI).

c) Representación de fenómenos mediante símbolos proporcionales. Este método es similar al anterior con la diferencia que no existe una clasificación de los valores y la dimensión de cada símbolo varía en proporción exacta al valor del atributo representado.

Los mapas topográficos

Los mapas topográficos son denominados también mapas base. Estos son elaborados directamente del terreno, y contienen información sobre la mayor

parte de los elementos del medio que se representa, circunstancia que permite la construcción de mapas temáticos más específicos, al seleccionar alguna de las variables que en ellos vienen representadas.

La información topográfica del territorio ecuatoriano proviene del IGM, está proyectado en el Sistema UTM, y la mayoría de los mapas se encuentran en el Datum Provisional América del Sur de 1956, aunque los mapas recientes están proyectados en el sistema universal WGS de 1984, para la zona 17 Sur.

La información contenida en los mismos es variada:

- Formas de relieve: colinas, montañas, valles, llanuras, mesetas, líneas de cumbre, etc.
- Altitudes y pendientes.
- Agua: cursos de agua de distinto orden, superficies de agua, cauces artificiales, red de drenaje.
- Vegetación: en forma de usos del suelo, con poco nivel de detalle.
- Estructuras artificiales: como infraestructuras (red vial de distintas categorías, ferrocarril, tendidos eléctricos), edificaciones aisladas y poblaciones urbanas de distintos tamaños, división administrativa, explotaciones mineras y otros elementos singulares (cuevas, monumentos).

De toda la información presente en estos mapas, las que revisten de mayor importancia para la geología y minería son: el relieve y la hidrografía. Por este motivo, realizaremos una descripción más detallada de estos elementos.

- El relieve

Se representa mediante curvas de nivel. Estas fueron utilizadas por primera vez por Cruquius en el año 1728, y se han venido usando para destacar las variaciones de altitud sobre la superficie terrestre, mediante la unión de los puntos de igual altura sobre el nivel del mar, por medio de isolíneas. El resultado es el mismo que si la superficie topográfica se cortase mediante planos horizontales y las secciones de intersección se proyectasen sobre el plano del cuadro.

Las cotas de las curvas sucesivas son equidistantes, viniendo indicadas por números uniformemente crecientes o decrecientes. La equidistancia es de 20 metros, en el mapa de escala 1:50.000, y de 10 metros, en el de escala 1:25.000.

Mediante una interpretación adecuada se puede conocer la variación de la topografía, identificar elevaciones, depresiones, cuencas, etc. si las curvas son abundantes y aparecen bien unidas, el terreno presenta desniveles bruscos y viceversa.

La hidrografía

Representa la existencia de las aguas, sean éstas marinas o continentales. En la mayor parte de los mapas, están representadas mediante líneas de color azul. Respecto a la hidrografía continental, existen dos grupos de fenómenos representables: las corrientes de agua y las superficies acuáticas, diferenciando, dentro de cada una de ellas, según sean naturales o construidas por la acción humana. Las corrientes naturales de agua son los ríos, arroyos, torrentes, quebradas. Las corrientes artificiales (canales, acequias, cauces) se marcan en el mapa algún signo distintivo. Las

superficies artificiales, como lagos, lagunas, charcas, se representan como los mares. Conviene diferenciar los que no son permanentes, que se señalan con trazo discontinuo. Otros elementos hidrográficos singulares: pozos, manantiales, fuentes, estanques, utilizan signos convencionales, que se pueden identificar claramente mediante la leyenda del mapa.

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA DE DESARROLLO DE UN SIG.

Como se describirá a continuación, existen múltiples técnicas de captación y transferencia de la información geográfica de un mapa en papel al formato digital. De esta forma, algunas de las variables del medio físico, como la topografía o la geología, por poner dos de los ejemplos de utilización más usuales, pueden ser aprehendidas de la realidad, suministrándolas en un formato, fácilmente reconocible por los Sistemas de Información Geográfica.

3.1. El origen de los datos en un SIG.

Uno de los problemas importantes de los SIG en general es la accesibilidad y el conocimiento de las fuentes de datos. Muchos de los datos debido a su naturaleza se encuentran centralizados y son complicados obtenerlos, aunque debido a la difusión de Internet, cierta información básica se encuentra cada vez más disponible, como es el caso de las imágenes satelitales difundidas por Google Earth. Puesto que la adquisición de datos es costosa y demanda un tiempo considerable, se debe investigar minuciosamente las fuentes requeridas.

Los resultados de un SIG son una función de los datos que se hayan introducido en el sistema; esto significa que las eventuales deficiencias de los datos se duplicarán progresivamente, de forma exponencial, a medida que aumente su uso. Por este motivo, se recomienda que desde el principio de la planificación del SIG se preste gran atención al personal y los procedimientos necesarios para garantizar que todos los datos utilizados sean absolutamente fiables.

Hay que elaborar sistemas para perfeccionar la verificación, corrección y/o actualización de los datos. El acceso a éstos, su digitalización y los otros procedimientos de adquisición deben ser objeto de un profundo examen y una atenta vigilancia, y hay que analizar a fondo la estructura que conviene dar a los datos para asegurar su almacenamiento eficiente, su potencial de integración y su fácil gestión.

Existen múltiples fuentes de datos, sin embargo en todo SIG los datos provienen, ya sea de uno o de la combinación de las siguientes fuentes:

Digitales.- Suministradas por organismos públicos o privadas que poseen información del área de estudio. Esta información normalmente está en formatos diversos por lo que es necesario su posterior procesamiento.

Analógicos.- Es una de las principales fuentes de datos para los SIG, debido a su facilidad para obtenerlas. Estos datos comprenden principalmente mapas impresos, los cuales pueden ser de diferentes tipos y de variadas fuentes. Entre estos podemos citar a mapas geológicos, políticos, topográficos

Datos de Campo.- Provienen de observaciones y mediciones realizadas directamente en el terreno.

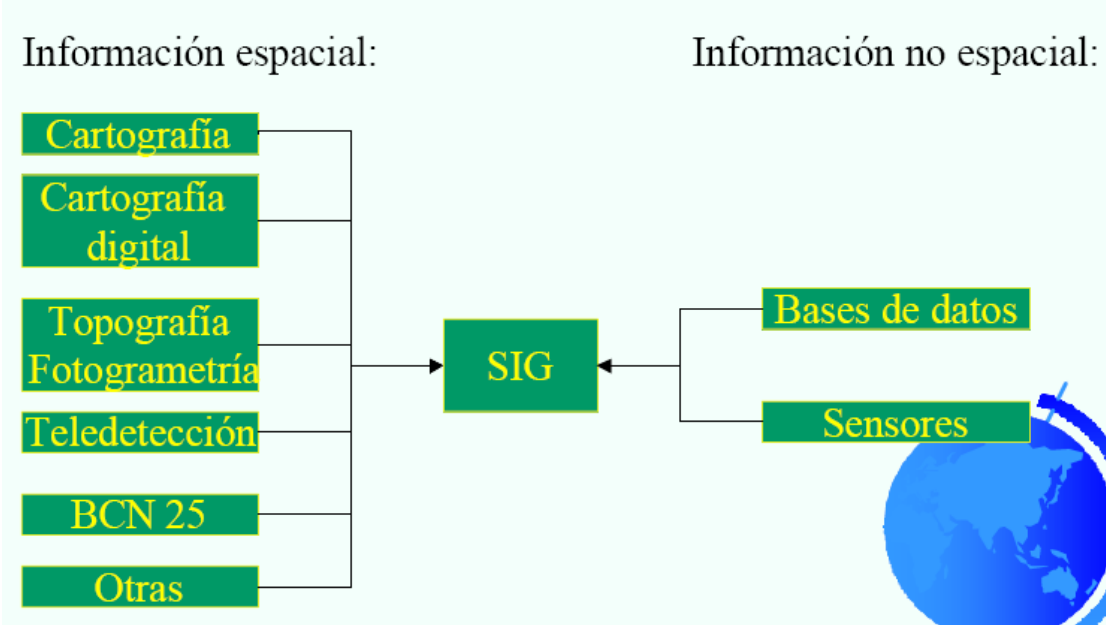


Fig. 3.1 Fuente de Datos de los SIG. (Fuente: Dávila J., IGN, 2005).

3.2. Los Procedimientos de Captación y Conversión a Formato Digital de la Información Espacial.

Antes que los datos geográficos sean ingresados en un SIG, los datos deben ser convertidos a un formato digital conveniente. En el caso que la información espacial provenga de otro organismo, pero que la misma ya se encuentra en formato digital, únicamente corresponde realizar las tareas de edición y ajustes para ingresarla al SIG. Sin embargo, si la información proviene de datos de campo o de mapas impresos, el proceso para ingresar estos datos se los denomina como método de captación por observación directa y método captación secundaria, respectivamente.

3.2.1. Los Procedimientos de Observación Directa.

La toma directa de información georreferenciada, en formato vectorial, consiste en la captación, lo más exacta posible, de las coordenadas geográficas de puntos situados sobre la superficie terrestre. Estos procedimientos sirven para elaborar una base de datos fiable, de zonas de las que no se dispone de otra fuente de información, lo que obliga a realizar un esfuerzo, muchas veces imprescindible, para su construcción. Las limitaciones inherentes a este tipo de métodos de captación de la información se derivan del elevado coste de su obtención, lo que restringe su uso a aquellos casos en los que es imposible obtener información por otra vía, o es necesario un nivel de detalle que no se encuentra disponible a la escala que se está trabajando.

Una de las técnicas muy utilizadas es el levantamiento topográfico y planimétrico mediante Estaciones Totales o teodolitos convencionales. Este método es muy aplicado en los SIG catastrales que requieren un buen nivel de detalle o también en a generación de los modelos digitales del terreno ya sea mediante curvas de nivel o superficies raster, de zonas en que la variación altimétrica es importante.

Otra técnica que permite obtener información de un punto del terreno, es el GPS o Sistema de Posicionamiento Global, el cual proporciona las coordenadas espaciales de un punto sobre la superficie terrestre, con gran precisión. Es utilizado para tomar lecturas de puntos de interés para los proyectos SIG, ya sean muestras, sondeos, afloramientos.

3.2.2. El Empleo de Fuentes Secundarias.

Constituyen los métodos más sencillos de obtener la información en formato vectorial. El procedimiento más usual es el de registrar la información, a partir de documentos analógicos, normalmente mapas, que permiten la transferencia de los elementos espaciales: puntos, líneas y polígonos, por registro de sus coordenadas, y su posterior almacenamiento en un archivo digital, este procedimiento es conocido como digitalización.

Para digitalizar un mapa, se usa una mesa conocida como tablero digitalizador, donde se ubica el mapa a reproducir, un cursor o puntero conectado a la computadora, que permite trazar los puntos sobre un objeto geográfico de interés, registrando sus coordenadas. El contorno curvo de cualquiera de estos objetos puede ser reproducido, mediante una línea quebrada, integrada por la sucesión de puntos digitalizados. La reproducción del objeto será más fiel cuanto mayor sea el número de puntos seleccionados para su dibujo. Antes de iniciar a digitalizar, se debe configurar el software para el registro de coordenadas y el mapa en el tablero debe estar dispuesto de tal manera que no exista distorsiones que afecten en lo sucesivo. El siguiente paso, es el establecimiento de puntos de control. Si el mapa contiene cuadrículas de referencia se pueden utilizar las intersecciones de estas como referencia, caso contrario se deben seleccionar entre cuatro a diez puntos sobresalientes o fácilmente identificables en el mapa. Los puntos escogidos deben estar lo más separados entre sí para tener una distribución uniforme de las distorsiones generadas por el ajuste.

La digitalización mediante tablero permite almacenar la información de cinco maneras diferentes: puntos, líneas, polígonos independientes,

polígonos dependientes. Según los dos primeros procedimientos, cada punto o cada línea serían almacenadas de forma independiente al anterior. Los polígonos independientes deben ser digitalizados separadamente, de manera que algunas de las líneas (las comunes) se digitalizan dos veces, con el consiguiente aumento del trabajo y del riesgo de error (al no coincidir los tramos comunes). Esta circunstancia se evita con los polígonos dependientes, ya que en este caso las líneas coincidentes de dos polígonos se digitalizan una sola vez, evitando los errores de superposición.

Otro procedimiento de digitalización, y por ahora el más utilizado, consiste en incorporar un archivo de imagen al software para luego mediante el desplazamiento del cursor en cada objeto identificable en la imagen y que sea de interés, registrar su forma o contorno. La imagen base puede ser una fotografía aérea, imágenes satelitales o el resultado de convertir el mapa a un formato de imagen mediante un escáner. Al igual que en el procedimiento anterior, se deben registrar los puntos de control adecuados para la georreferenciación.

Una vez realizada la digitalización, es necesaria la edición o corrección de errores, derivados de la variación posicional de los puntos captados, respecto a su situación real. Estos errores pueden ser ocasionados por la escala del mapa o documento que sirve de base para la digitalización, ya que para escalas reducidas, una variación pequeña en el mapa genera una desviación muy grande en la realidad. Así, en un mapa de escala 1:50.000, el desplazamiento de un milímetro en el mapa, que parece mínimo, supondría 50 metros en el mundo real. Otro de errores proviene de la falta de correspondencia existente entre el recorrido del cursor captador de la información y el perfil del mapa que se desea digitalizar.

Los errores más comunes procedentes de una incorrecta digitalización se pueden observar el siguiente esquema. Entre ellos se tienen, los ocasionados por la discontinuidad en las uniones *(*undershoots),el sobrepaso *(*overshoots*)*, el duplicado de líneas o arcos y, la producción de lazos *(*loops o knots*)* o espigas (spikes), que afectan a la continuidad de las líneas captadas en el proceso de digitalización.

La corrección de errores se puede realizar durante el proceso de digitalización, o de forma automática por el software del SIG. La comparación visual entre la digitalización obtenida en pantalla y el documento de base de la digitalización puede ser un buen punto de partida para la modificación de los errores cometidos.

3.3. La Entrada de la Información Temática.

Finalizada la tarea de ingreso de datos vectorial, ya sea por el procedimiento directo, o de manera indirecta mediante la digitalización, es preciso concluir el proceso de la entrada de la información añadiendo los atributos a los objetos espaciales.

La mayoría de los SIG poseen algún procedimiento para completar la entrada de las variables temáticas. Generalmente el sistema genera automáticamente algunos campos, como un identificador, el tipo de dato (puntual, lineal, poligonal) y otras variables correspondientes a magnitudes geométricas (longitud de líneas, perímetro, área de polígonos), se pueden calcular mediante sentencias ya definidas. La introducción del resto de variables se realiza, mediante tablas, donde inicialmente se definen los nombres de cada campo y luego se añaden los datos temáticos

correspondientes a cada objeto, usualmente conocido como registro.

Una vez que la información temática ha sido introducida en la base de datos, es aconsejable la depuración de los posibles errores existentes. Algunos pueden obtenerse, realizando consultas a dicha base de datos, sobre valores que queden fuera del campo de realidad de una variable, valores extrañamente elevados o reducidos, o bien fuera de rango. Es frecuentemente, además identificar errores, al observar la representación cartográfica una imagen, ya que es posible la aparición de áreas singulares, fuera del patrón espacial de la manifestación espacial de un fenómeno.

Cuando el número de elementos geográfico es elevado, el ingreso de datos resulta tedioso y aburrido, consumiendo una gran cantidad de tiempo. Por este motivo, los sistemas vectoriales incluyen la posibilidad de enlazar información preparada, desde formatos fáciles de reconocer, como el dBASE. Un procedimiento muy común es utilizar la aplicación de Office, Microsoft Excel o Access para el ingreso de datos, debido a la flexibilidad y facilidad que estas presentan para trabajar con tablas de datos, luego mediante la conversión a formato dBase, enlazar estos datos a los generados previamente durante la digitalización. La condición necesaria es que ambas tablas a juntar (join) deben poseer un campo conocido, representativo del identificador común de los elementos espaciales.

3.4. La Presentación de la Información Vectorial.

La presentación de la información, ya sea como fase inicial de cualquier trabajo de investigación, o como resultado final de análisis, es una de las operaciones más utilizadas en los SIG. La representación de los datos

geográficos puede atender a necesidades de distinto tipo. En unos casos, interesa la exposición de los elementos espaciales, sin referencia alguna a su componente temática, como el mapa de municipios de una región, formaciones geológicas, red hidrográfica. El resultado sería la representación espacial de los puntos, líneas y polígonos, identificativos de los objetos geográficos que interesa particularizar y exponer.

En otros casos, el punto de interés se centra únicamente en la información temática, sin relación con la posición o situación espacial de las entidades geográficas que sirven de soporte a la misma. El resultado puede presentarse, ya sea en tablas de doble entrada o gráficos, que expresen la distribución cuantificada del número de elementos geográficos, de acuerdo a algún criterio de clasificación (diagrama de barras, quartiles).

Finalmente, la representación cartográfica temática permite la representación simultánea de los aspectos temático y espacial. La representación de un mapa de estas características es una de las principales contribuciones de los SIG vectoriales. Es esta capacidad la que ofrece más posibilidades en la práctica. Los SIG vectoriales destacan, precisamente, por la confección de mapas de alta calidad, lo que implica una utilidad de gran valor añadido, a la pura gestión y tratamiento de la información espacial.

3.5. Principales Tipos de Análisis a Realizar en un SIG.

Los Sistemas de Información Geográfica vectoriales poseen un conjunto de funcionalidades que permiten realizar operaciones, no solo de representación cartográfica de la información, de gran interés en trabajos de investigación geográfica, sino también, dar respuesta a variadas preguntas

de la estructura espacial, mediante la gestión y análisis de la información georreferenciada. Estas cuestiones se hallan relacionadas con la selección de elementos que cumplan determinadas condiciones, la localización óptima de actividades, la regularidad de la distribución espacial. Exponemos, a continuación, las funcionalidades que consideramos más interesantes.

3.5.1. La Selección y Recuperación de la Información Geográfica.

La recuperación selectiva constituye una función simple, pero de gran interés, en el análisis y gestión de la información geográfica. Las funciones de recuperación combinan los objetos espaciales con la información temática, pero solo ésta última es modificada, no realizándose cambios, ni en la situación ni en la integridad de los elementos geográficos.

La selección es una operación que trata de recuperar, exclusivamente, las entidades espaciales que cumplan una determinada condición. El resultado es, por tanto, un conjunto de elementos más limitado que el original. La selección puede realizarse, mediante una búsqueda temática o espacial. Coincide, por tanto, con la operación de Selección (Select), manifestada en las bases de datos relacionales, que consistía en la creación de una nueva tabla de atributos y registros, correspondiente, exclusivamente, a los objetos geográficos que satisfacen un requisito predeterminado.

La selección o búsqueda temática

Consiste en la localización de aquellos objetos geográficos que satisfacen una condición de búsqueda, basada en uno o varios de sus atributos. La

operación puede recuperar la información mediante una especificación nominal o por una expresión matemática o lógica. Como ejemplo del primer caso, podríamos citar la búsqueda de las formaciones geológicas que cumplen la condición de pertenecer al Grupo Azúcar. En otro caso, se necesita conocer las formaciones cuya superficie no exceda las 30 Ha., en este caso la búsqueda se basa en un operador relacional, menor que (<).

La búsqueda temática por operadores lógicos o matemáticos puede utilizar operadores denominados booleanos (AND, OR, NOT), relacionales (mayor que, menor que, igual que, mayor e igual que, menor e igual que) o aritméticos (suma, resta, multiplicación, división).

La búsqueda temática puede realizarse de forma mixta, con criterios de ambos tipos o por la aplicación de criterios que afecten a varios atributos a la vez.

La selección o búsqueda espacial

La búsqueda espacial pretende la selección de aquellos objetos geográficos que cumplen una condición, con respecto a un dominio espacial determinado. Así, podríamos conocer cuáles son las ciudades situadas a menos de una distancia de otra dada, o los puntos de muestreo localizados en una proximidad determinada a la vía Guayaquil-Salinas.

La selección o búsqueda mixta

Es la búsqueda combinando criterios de selección temático y espacial. Desde este punto de vista, podríamos plantear la posibilidad de extraer las formaciones geológicas que cumplan la doble condición de superar un área

determinada y estar situadas, además, en la proximidad de una ciudad dada.

La recuperación de la información seleccionada

El resultado de la selección de los elementos espaciales puede tener un carácter virtual o temporal, como paso intermedio en una operación de mayor alcance. Sin embargo, puede resultar de interés individualizar los datos hallados en una búsqueda concreta, en una base de datos independiente, que extraiga los datos espaciales y temáticos, con el objeto de operar, en el futuro, con esta nueva base territorial.

Análisis espacial de proximidad

El análisis de proximidad es usado principalmente par determinar áreas de influencia sobre objetos concretos. Así, se puede conocer la zona de influencia respecto a un objeto que representa una variable del terreno, este objeto puede ser puntual, lineal o poligonal. Es muy utilizado para conocer las áreas sobre las que incide un foco de contaminación puntual, el derrame de sustancias peligrosas en una vertiente o de un servicio de transporte en una vía. Genéricamente se conoce a esta operación, como análisis “buffer”.

Los resultados del buffer suelen ser el punto de partida de análisis posteriores, lo que muestra la capacidad de los SIG en la resolución de problemas complejos. Los pasos a seguir en el análisis buffer son: selección del objeto incidente, ingreso de la distancia de influencia y, finalmente superposición del resultado buffer con las demás capas de información para determinar el resultado o incidencia de la acción del objeto sobre las demás

variables.

El análisis de redes

El análisis de redes es característico de los elementos lineales del modelo vectorial. Los elementos lineales pueden estar formados por una red vial, la red hidrográfica, una red de distribución de agua potable. En todas estas redes, resulta evidente que no todos los segmentos tienen iguales características, habrá tramos que tendrán múltiples valores por cada atributo, tales como diámetros de tubería, materiales, pendientes, ancho de vía. Esta circunstancia nos introduce en un campo específico de análisis, denominado «análisis de redes», que plantea, con vistas a su solución, variados problemas relacionados con la interconexión de lugares en el territorio, a través de un sistema lineal que faculta para su interrelación mutua. Estos problemas tienen una componente práctica muy importante. Así, puede plantearse la determinación de la ruta óptima entre dos puntos, la instalación más adecuada de un servicio público, conocida la red de carreteras o calles de una ciudad y la distribución espacial de la población.

Finalmente existe una amplia de variedad de aplicaciones que debido a su extensión no se detalla en este trabajo, solamente se han descrito los más comunes, pero como se ha mencionado previamente existe un mercado en expansión de los SIG y cada vez aparecen nuevas disciplinas en las cuales se está aplicando y que inicialmente se creía restringidos únicamente para fenómenos de carácter geográfico. Uno de estos casos es el proyecto de financiamiento que se lleva en la FICT-ESPOL, denominado “Aplicación de los Sistemas de Visión Artificial. Optimización del Uso de Reactivos y del Beneficio Mineral”, en el cual una de las herramientas para el análisis mineralógico es una de las herramientas SIG.

CAPÍTULO 4

4. EL FUNCIONAMIENTO DE ARCGIS™.

ArcGIS es un software de Sistemas de Información Geográfica, creado por la empresa ESRI®, que permite realizar cualquier tarea relacionada a los SIG, tanto simple como avanzada, incluyendo la generación de mapas, la gestión, edición, análisis y visualización de datos geográficos, así como datos alfanuméricos. Como todo programa, tiene características específicas para trabajar con los datos geográficos y numéricos, tipo de archivos que soporta así como un conjunto de operaciones para trabajar con los mismos.

En el presente capítulo se describirá la interfaz gráfica, los componentes principales del programa, la forma de añadir datos vectoriales y raster, añadir información temática a los elementos vectoriales, incorporar datos procedentes de otras aplicaciones (importar), generar datos desde ArcGIS para otros programas (exportar), así como las opciones de edición, que son muy comunes en el desarrollo de todo proyecto SIG.

4.1. Los Elementos de ArcGis.

El software ArcGis es escalable para reunir los requerimientos de todo tipo de usuarios, esto es desde un usuario que únicamente está interesado en proyectos sencillos para la creación de datos, hasta usuarios avanzados que trabajan con bases de datos conectadas a servidores potentes y proyectos que involucran análisis y edición avanzada. El software está disponible en tres versiones, cada una con una funcionalidad diferente:

- ArcView permite la creación de mapas de una manera sencilla y proporciona herramientas simples de edición y análisis.

- ArcEditor incluye las características de ArcView, además de un conjunto de herramientas que facilitan la edición y funcionalidades más completas para el análisis.

- ArcInfo amplía la funcionalidad de las dos aplicaciones anteriores, incorporando las herramientas avanzadas para la edición de datos, y el análisis de proyectos complejos, extensiones para proyectos específicos como Geo-estadística, Modelos Digitales del Terreno, Análisis de Redes.

Las tres versiones poseen una arquitectura común de manera que cualquier dato procedente de una de ellas se puede leer, sin ningún proceso adicional en las otras. En conclusión la única diferencia entre las tres es la cantidad de herramientas disponibles para el análisis y edición, lo que supone, por supuesto un incremento en el costo por licencia de cada una de ellas.

Independientemente de cual de los tres productos se haya seleccionado, estas poseen un conjunto de aplicaciones básicas y elementales integradas

para la visualización, edición y análisis de datos geográficos, que son: ArcCatalog, ArcMap, ArcToolbox.

ArcMap es la aplicación central de ArcGis para todas las tareas basadas en los mapas, análisis, edición y cartografiado de datos geográficos. La aplicación ArcCatalog ayuda a gestionar y organizar toda la información de los SIG, tales como datos, mapas, modelos de datos, tablas, conexiones, bases de datos. ArcToolbox contiene un conjunto de herramientas para importar, exportar, editar y convertir datos, así como el geoprocesamiento, análisis geoestadístico.

4.2. El Modelo de Datos de ArcGis.

ArcGis emplea dos tipos básicos de modelos de datos para sus archivos, estos son, las coberturas (coverages) y archivos de formas (shapefiles). Los coverages y los shapefiles emplean un modelo de datos georrelacional que consiste en almacenar los datos vectoriales para los elementos gráficos en archivos binarios con un identificador único para enlazar estos, a tablas de atributos registrados en otros archivos. La regla que debe cumplir el campo identificador es que sea del mismo tipo de variable (numérico entero, texto) en las dos tablas a enlazar.

Las coberturas son utilizadas para almacenar información compleja de un sector que involucra múltiples datos y capas de información sofisticada.

Los archivos de formas, que en adelante se los denominará shapefiles, son los datos elementales de ArcGis y, por lo tanto los más utilizados, por lo que a continuación se realizará una descripción más detallada de los mismos.

Los shapefiles almacenan la posición, forma y atributos de una clase de elementos geográficos de geometría homogénea, es decir únicamente de puntos, líneas o polígonos. Los puntos están formados por un simple par de coordenadas que pueden representar un pozo, un monumento, aunque también se puede almacenar como un conjunto de puntos. Las líneas pueden ser un segmento continuo, una sucesión de segmentos unidos entre sí, o también un conjunto de segmentos que no necesariamente conserva una conexión entre cada uno de ellos. Y, finalmente los polígonos pueden ser simples áreas como una isla, un conjunto de polígonos que representan un objeto particular, como por ejemplo el conjunto de las Islas Galápagos que representan una provincia del Ecuador, o un conjunto de áreas que se superponen entre sí. Es de indicar que ArcGis, diferencia claramente cada tipo de datos de manera muy clara a través de sus íconos, de modo que es posible reconocer con qué tipo de datos se está trabajando por simple inspección (polígonos, polilíneas y puntos).

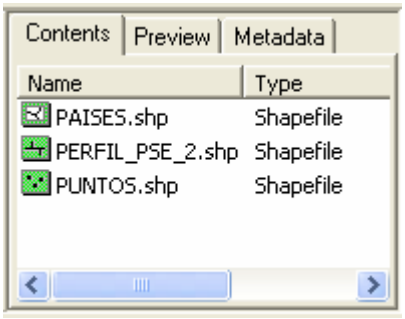


Fig. 4. 1. Tipos de datos vectoriales que soporta ArcGis (***Pindo J.****, 2007*).

El almacenamiento de los shapefiles es en carpetas. Un shapefile consiste de un conjunto de archivos con datos vectoriales y un archivo dBase de extensión dbf que contiene los atributos del shapefile. Cada archivo comparte el nombre del shapefile, lo único que diferencia es su extensión.

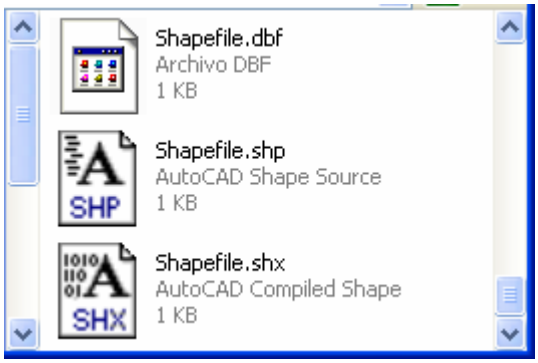


Fig. 4. 2. Archivos elementales de un Shapefile (***Pindo J.***, *2007*).

A los tipos descritos previamente, debemos añadir un conjunto de datos que dadas sus características tiene una gran aplicación para otros tipos de proyectos, pero que debido a la utilización en este caso no es de gran incidencia, estos son: TIN (red de superficie triangular), muy utilizado para representar superficies topográficas generadas a partir de la interpolación de puntos con cotas; GRIDs, superficie raster que contiene información continua, como elevaciones, valores de temperatura, precipitación; CAD, formato de archivo vectorial proveniente de AutoCAD.

4.3. Los Componentes de ArcView.

ArcView es el primero de los tres niveles de funcionalidad disponibles de ArcGis, de los expuestos anteriormente. Como ya se mencionó, está integrado por tres aplicaciones, pero solamente se describirá los dos primeros debido a su aplicación en la realización del proyecto.

4.3.1. La Interfaz de ArcMap

ArcMap ofrece dos tipos de vistas del mapa: la vista de datos geográficos y la vista de impresión. En la vista geográfica se puede trabajar con capas de información gráfica para simbolizar, analizar y compilar el conjunto de datos

SIG. Una interfaz de tabla de contenido ayuda a organizar y controlar las propiedades de dibujo de la información en el marco de datos. La vista de datos es una ventana para un área dada.

En la vista de impresión, se trabaja con páginas de mapas que contienen vistas de datos geográficos así como otros elementos de los mapas, tales como norte, cuadrículas de coordenadas de referencia, escala, simbología.

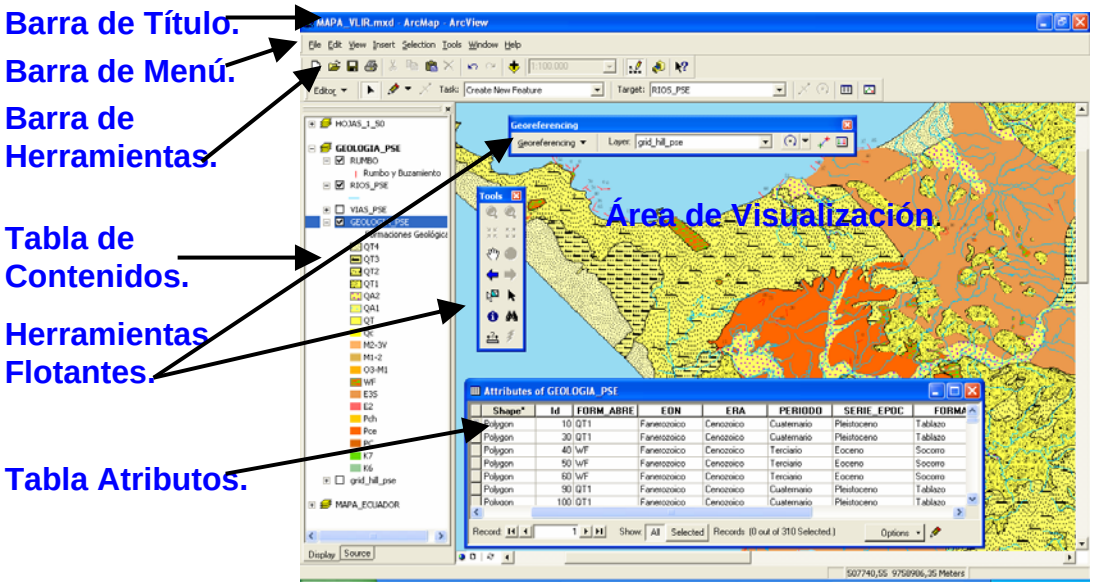


Fig. 4.3. Interfaz de Trabajo de ArcMap (***Pindo J.***, *2007*).

- La barra de título muestra el nombre del mapa.

- Las barras de herramientas son desplegables y dependiendo de la tarea a realizar se debe añadir, entre las más utilizadas, están las de Vista, Edición, Georreferenciación, y Vista de Impresión (Layout).

- La tabla de contenidos muestra las capas de información con su respectivo nombre, tipo y simbología.

- El área de visualizaciones es donde aparecen los elementos del mapa.

Un marco de datos (Data Frame) es un contenedor de capas. Al crear un nuevo mapa, automáticamente se añade un marco de datos predeterminado en la parte de arriba de la tabla de contenidos. Un mapa es el documento que almacena los marcos de datos, las capas y los elementos del mapa como los gráficos y el texto. Un mapa contiene varios marcos de datos, así ejemplo, se puede crear un mapa que contenga un marco de datos con capas que muestren un país entero y otro marco de datos que muestre las capas de una región particular.

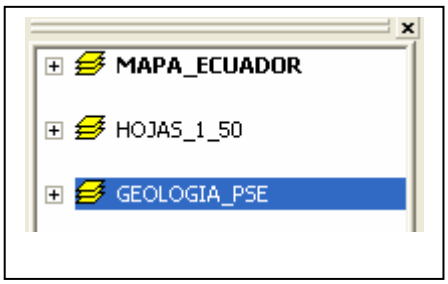


Fig. 4.4. Vista de Marco de Datos en ArcMap (***Pindo J.***, *2007*).

Los marcos de datos nos permiten organizar nuestros datos en agrupaciones lógicas, como temas o áreas geográficas. Es posible que queramos utilizar múltiples marcos de datos para comparar capas que se encuentren juntas, o para crear detalles y generalidades que marquen una posición concreta.

Cuando ya se han realizados todas las tareas de edición y los análisis, se puede pasar a la vista de impresión, donde se incorporan todos los elementos característicos del mapa, tales como norte de referencia, cuadrícula de coordenadas, escala gráfica, leyendas. Cuando todo esté listo podemos enviar nuestra vista a la impresora.

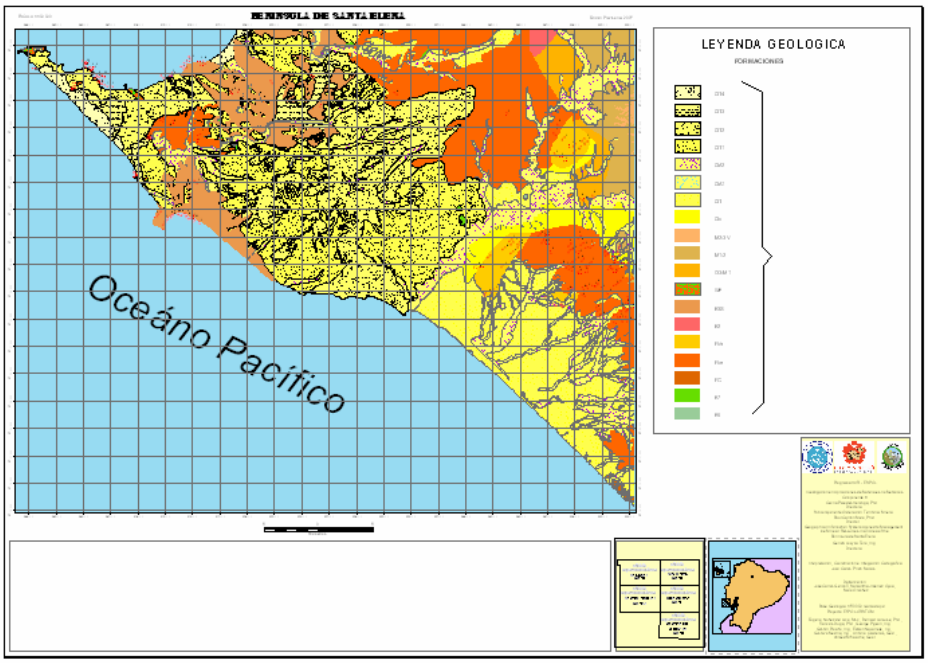


Fig. 4.5. Presentación para salida en Impresora (***Pindo J.***, *2007*).

Una capa no almacena los datos geográficos reales, sino que hace alusión a los datos contenidos en la fuente de datos. Las fuentes de datos pueden ser:

- Conjunto de datos vectoriales (capas de elementos): coverages, shapefiles, archivos CAD, bases de datos.
- Conjuntos de datos raster: grids e imágenes.
- Conjunto de datos tabulares: INFO, tablas dBase.
- Conjunto de datos TIN: TINs.

4.3.2. La Interfaz de ArcCatalog.

ArcCatalog es la aplicación de ArcView que permite explorar, acceder, administrar, y crear datos geográficos, crear conexiones a carpetas en un

disco duro local o compartir datos en una red local. La manera en que se desplaza por los datos es similar al Explorador de Windows de Microsoft. Las herramientas que incluye esta aplicación permiten:

- Explorar y encontrar información geográfica.
- Grabar, ver, copiar, cambiar de nombre a archivos de datos geográficos.
- Definir, exportar e importar esquemas de bases de datos.
- Buscar información geográfica en redes locales y en Internet.
- Crear capas de datos vectoriales con información específica (puntos, líneas, polígonos).

Fig. 4.6. Interfaz de Trabajo de ArcCatalog (***Pindo J.**, 2007*).

El primer paso para trabajar con datos geográficos en ArcCatalog, es crear una conexión con la carpeta en que se encuentran los datos del proyecto. A continuación las herramientas permiten explorar el contenido de los datos de

tres maneras diferentes, utilizando tres pestañas disponibles: la pestaña contenidos, para ver todos los nombres y tipos de archivos contenidos en la carpeta, la pestaña de vista, para ver cada archivo, ya sea el contenido geográfico, como el contenido tabular o temático y la pestaña Metadata, donde se puede observar información adicional del archivo, como descripción de los campos y referencia espacial.

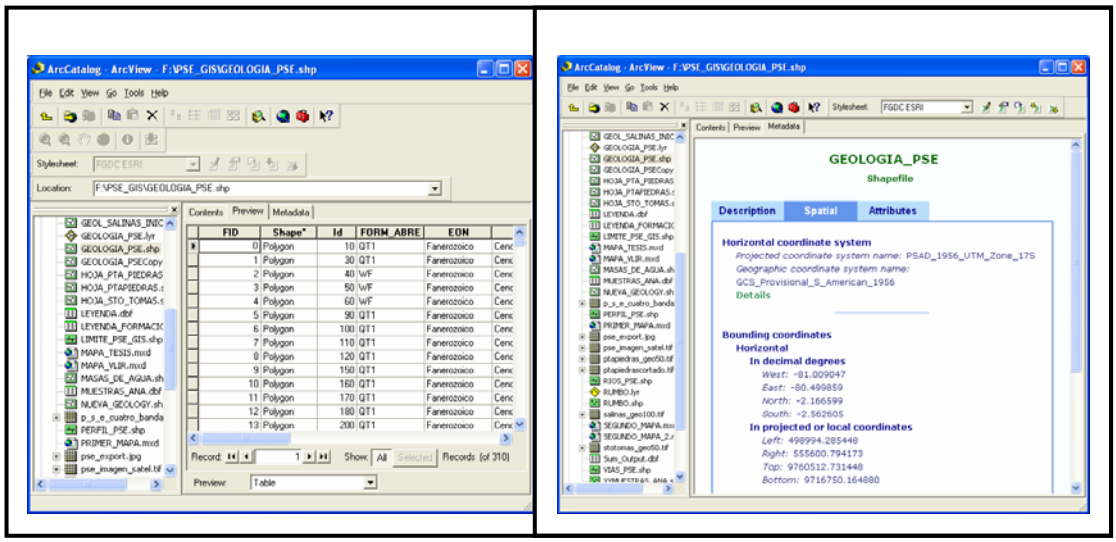


Fig. 4.7. Vista previa en formato tabular de datos y, vista de información espacial en la interfaz ArcCatalog (***Pindo J.**, 2007*).

4.4. Principales Herramientas de Edición de ArcView.

Debido a que todo proyecto, en alguna de sus fases se presenta la necesidad de editar los datos, esto es, ajustar uniones, fronteras, eliminar traslapes, extender líneas faltantes, cortar líneas sobrantes, se considera necesario describir las principales herramientas de edición disponibles, aunque se debe aclarar que tal como se ha definido, ArcView no dispone de las herramientas para realizar una edición avanzada, por lo que la descripción de las herramientas se refiere a las disponibles para la versión de ArcInfo.

Las herramientas que se han utilizado son las de Edición Avanzada para cortar y extender las líneas y las de Topología para la conversión de polilíneas a polígonos.

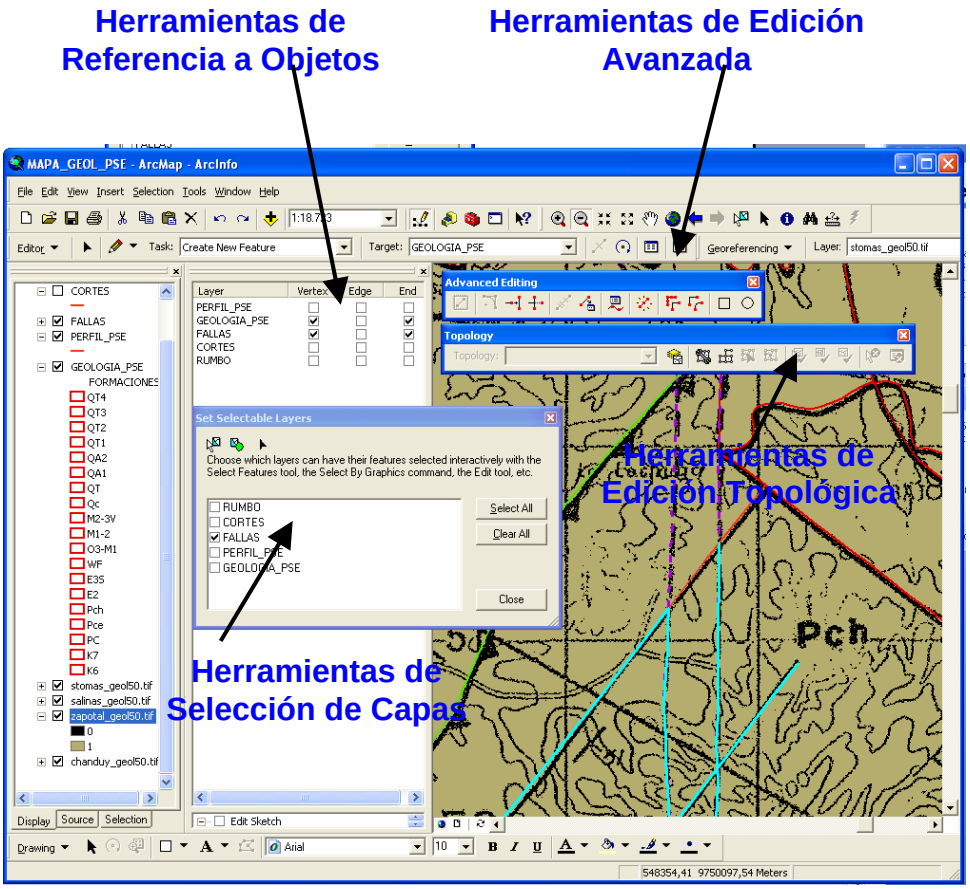


Fig. 4.8. Principales Herramientas de Edición de ArcInfo (***Pindo J.***, *2007*).

Para iniciar el proceso de edición se debe añadir la barra de herramientas Editor, a continuación iniciar una sesión de edición. A continuación se debe elegir la capa sobre la cual se va a trabajar, de modo que todas las acciones de edición surtirán efecto solamente sobre aquella.

CAPÍTULO 5

5. DESARROLLO DE UN SIG PARA LA GESTIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE LA PENÍNSULA DE SANTA ELENA.

Un mapa geológico es un producto cartográfico que provee información acerca de las características geológicas de un área geográfica específica. Este es una representación bidimensional del mundo real, es decir, de las características geológicas tridimensionales. Para lograr esto, un mapa geológico usa elementos gráficos para expresar información detallada acerca de las diferentes clases de materiales de la tierra, los límites que los separan, y las estructuras geológicas que subsecuentemente los han deformado. Por ejemplo, un típico mapa geológico para propósito general puede consistir de *líneas* que representan contactos, fallas, y pliegues; *puntos* que localizan valores medidos de rumbo y buzamiento, orientaciones de pliegues, y localizaciones de muestras; *áreas* que representan unidades geológicas, perfiles, y áreas de alteración; y *etiquetas* que identifican unidades geológicas en el mapa, códigos de muestras localizadas, y nombres de fallas.

De esta manera, un mapa geológico debidamente simbolizado y etiquetado puede representar información acerca de la composición, edad, y génesis de los materiales geológicos y la naturaleza de sus límites, así como la característica y geometría tridimensional de las estructuras. Adicionalmente, tal información geológica en el mapa usualmente es dibujada sobre un mapa base que también usa elementos gráficos para representar la topografía, drenaje, y características culturales de un área. Otros datos que pueden ser mostrados en un mapa geológico incluyen información acerca de la geomorfología, pedología, paleontología, alteración y mineralización de rocas, geofísica, geoquímica, o geocronología de un área.

Una Base de Datos de Cartografía Geológica o Mapa Geológico Digital es una colección digitalmente compilada de información geológica espacial (geográficamente referenciada) y descriptiva acerca de un área geográfica específica, organizada en capas y con el objetivo de una salida impresa o por pantalla. La información en la base de datos geológica consiste de (1) la localización geográfica, orientación, longitud, forma, y/o área (en otras palabras, la geometría) de cada característica geológica u objeto (por ejemplo, un afloramiento o una falla), y (2) muchos tipos diferentes de información geológica descriptiva acerca de cada objeto.

Una base de datos de cartografía geológica también puede contener grandes cantidades de información geológica adicional tanto cuantitativa como cualitativa. Por ejemplo, puede incluir análisis geoquímico, edades radiométricas, contornos geofísicos, etc. Los elementos fundamentales de una base de datos de cartografía geológica son líneas, puntos, y áreas o polígonos.

Adicionalmente, cada característica u objeto en la base de datos tiene asociado múltiples atributos. Los atributos básicos pueden simplemente

identificar sus características (por ejemplo, “falla transversal” o “anticlinal buzante”) y expresar su relevancia científica y precisión en la localización (por ejemplo, “identificación precisa” o “localización inferida”). Otros atributos pueden consistir de descripciones detalladas de cada elemento del terreno (por ejemplo, las características litológicas, el buzamiento de una falla, o la identificación y edad determinada de un espécimen fósil).

Cuando un mapa geológico es generado como un producto cartográfico desde una base de datos geológica, cada característica geológica es representada por un símbolo geológico cartográfico específico. Los atributos en la base de datos proveen la información necesaria para simbolizar cada objeto. Adicionalmente, el etiquetado es añadido al mapa geológico donde sea necesario para identificar las diferentes características y proveer información cuantitativa esencial (por ejemplo, valores de buzamiento)

5.1 Los Objetivos del Proyecto.

El objetivo general de este proyecto es crear la versión digital en formato SIG de los Mapas Geológicos de una zona de la PSE. La cartografía anteriormente levantada se encuentra en mapas impresos, esta fue realizada hace muchos años usando los mapas topográficos de esa época, mediante la superposición de la cartografía en acetatos. Este método fue adecuado, pero el proceso consume mucho tiempo, y la actualización cartográfica no es muy flexible.

El problema se vuelve más complejo cuando se necesita compartir dicha información con múltiples organismos y usuarios, editar o actualizar con nuevos datos, ingresar datos provenientes de GPS, generación de mapas o análisis, etc. En el proyecto ha escogido el modelo SIG para acelerar los procesos y asegurar la estandarización de datos tanto en la información

ingresada así como también a la hora de presentación de ésta mediante mapas impresos.

El trabajo realizado se utilizará como patrón para concluir con el ingreso en formato SIG de las demás 44 cartas realizadas por el proyecto ESPOL-ORSTOM.

Para la consecución del proyecto, se ha considerado una lista de criterios para la selección de la información básica, así como para la creación de los mapas, esto es:

- Mapas geológicos escala 1:50.000 del proyecto ESPOL-ORSTOM en formato impreso o analógico.

- Mapas topográficos de la zona, escala 1:50.000 editadas por el Instituto Geográfico Militar.

- La información cartográfica estará proyectada en el Sistema de Coordenadas UTM y se utilizará como datum de referencia al Provisional South American 1956, para la zona 17 Sur (PSAD_56, 17S).

- Las Unidades Geológicas o Formaciones estarán representadas por polígonos y los contactos como polilíneas.

- Las estructuras (fallas, lineamientos, pliegues, datos medidos en superficie), estarán simbolizados mediante líneas.

- Los Cortes Geológicos, necesarios para la interpretación de la geología en profundidad, deberán ser incluidos en cada uno de los mapas finales y, correspondientes a cada hoja del sector de estudio.

- La Leyenda Geológica estará de acuerdo a la codificación internacional de colores para las formaciones y edades geológicas, utilizando la combinación CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, Black).

- Cada elemento de la base de datos constará de dos atributos generales: COD (Código), NMG (Nombre Geográfico o Nombre del Elemento), para su posterior enlace con las demás tablas de atributos y su consiguiente distinción en el mapa.

5.2 Creación de la Base de Datos del Proyecto.

Los datos necesarios para el proyecto existen en diferentes lugares y en diferentes formatos. Para llevar a cabo el proyecto, primero se debe encontrar los datos, extraer la información de estos, y copiarlos en un lugar apropiado del espacio de trabajo.

Existen múltiples maneras de organizar la Base de Datos de un Proyecto, sin embargo, en el presente proyecto se ha establecido un espacio de trabajo único y a partir de este generar subcarpetas relacionadas con cada tipo de dato o formato. Esto permite agilitar las tareas de búsqueda y actualización de datos, así como compartir entre múltiples usuarios. La estructura planteada se muestra en el siguiente esquema y la descripción de los datos que se almacenan en cada subdirectorio así como los formatos de los archivos que se almacenan en ellos, esto garantiza una gestión flexible y actualización ágil.

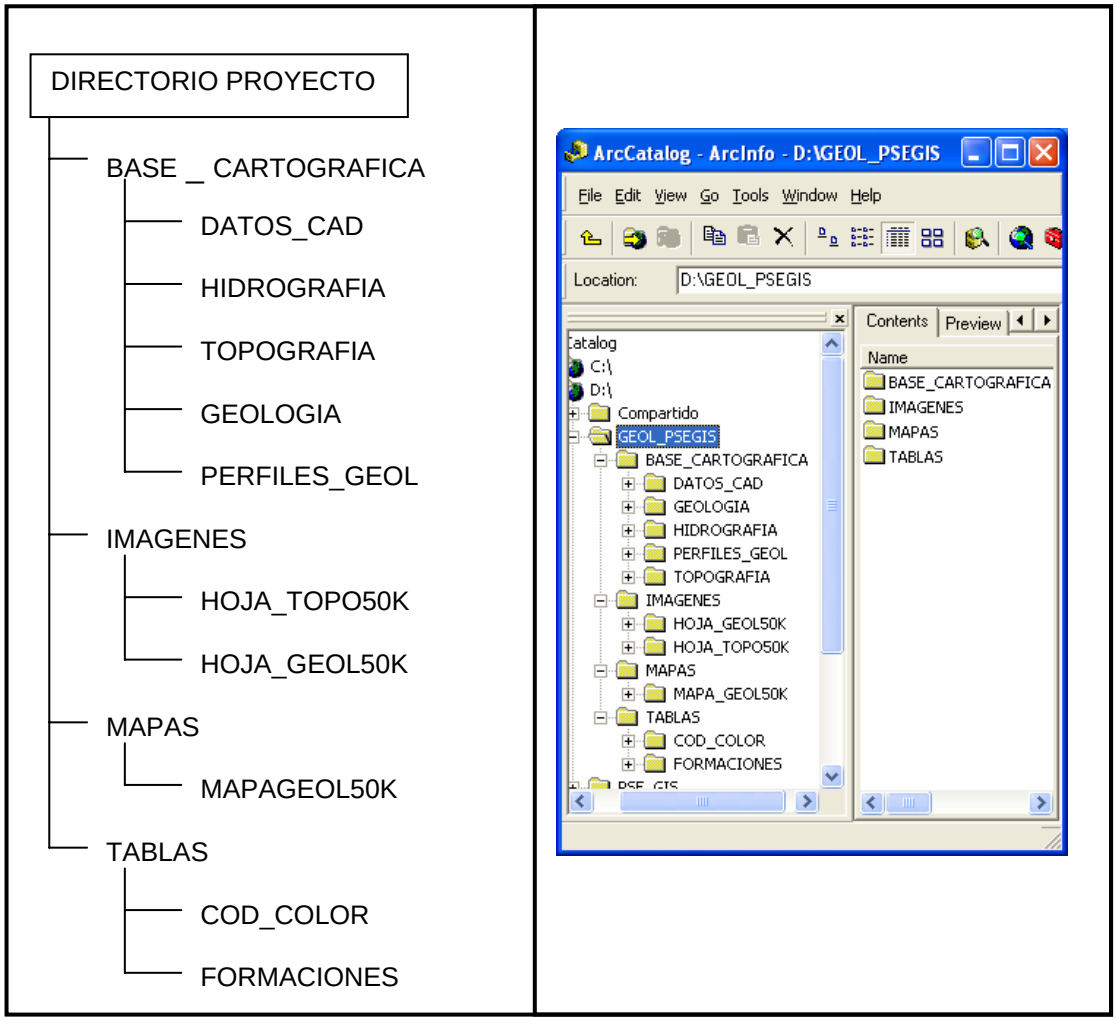


Fig. 5.1. Organización de la información en directorios y subdirectorios (Vista esquemática y en ArcCatalog) (***Pindo J.***, *2007*).

DIRECTORIO PROYECTO: espacio de trabajo principal, almacenado en el disco duro de la computadora (GEOL_PSEGIS).

BASE_CARTOGRAFICA: subdirectorio en el que estarán almacenadas toda la información de base, esto es: topografía y geología en formato CAD y GIS.

IMAGENES: subdirectorio en el que estarán almacenadas las imágenes escaneadas de los mapas topográficos y geológicos del área de estudio.

MAPAS: subdirectorio en el que se graban todos los mapas generados para salida en impresión por cada hoja geológica.

TABLAS: almacenan la tabla con todos los atributos específicos para cada formación geológica (acrónimo, nombre de formación, era geológica, periodo, etc.), la tabla con los atributos para cada falla (normal, inversa, etc.) y la tabla con la combinación de colores para cada formación geológica.

La información base está conformada por los mapas topográficos y geológicos 1:50.000. Los archivos digitales de la topografía de la zona, han sido generados por la Subcomponente Ordenación Territorial Minera de la Componente 6 del Proyecto VLIR-ESPOL.

Tabla 2. Fuente de datos utilizados en el proyecto.

LAYER	FUENTE	FORMATO
HOJAS TOPOGRÁFICAS 1:50.000 (SALINAS, ZAPOTAL, CHANDUY, PUNTA LAS PIEDRAS, SANTO TOMAS)	INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR	IMAGEN ESCANEDA
HOJAS GEOLÓGICAS 1:50.000 (SALINAS, ZAPOTAL, CHANDUY, PUNTA LAS PIEDRAS, SANTO TOMAS)	PROYECTO ESPOL-ORSTOM	IMAGEN ESCANEDA
TOPOGRAFÍA	PROYECTO VLIR-ESPOL. COMPONENTE 6: SUBCOMPONENTE OTM	ARCHIVOS CAD (DWG)

Esta información será almacenada en los directorios respectivos para su posterior procesamiento. En la siguiente tabla se especifica la ubicación de cada una de ellas. Es de indicar que en dicha tabla se especifica únicamente el proceso para la Hoja Salinas, sin embargo, debido a la similitud con las demás hojas se ha obviado hacerlo para cada una de las demás hojas.

Tabla 3. Localización y formato de los datos de partida del proyecto.

LAYER	NOMBRE	FORMATO	LOCALIZACIÓN
HOJA TOPOGRÁFICA SALINAS	SALINAS.TIFF	IMAGEN ESCANEDA	IMAGENES/ HOJATOPO50K
HOJA GEOLÓGICA SALINAS	SALINAS_GEO.TIFF	IMAGEN ESCANEDA	IMAGENES/ HOJAGEOL50K
TOPOGRAFIA SALINAS	TOPO_SALINAS.DWG	CAD	IMAGENES/ DATOS_CAD

A continuación se procede con la generación de la información cartográfica. Teniendo como base la imagen escaneada de la geología, esta es insertada en el entorno de trabajo CAD y seguidamente se realiza el ajuste geográfico de la misma, mediante un proceso de desplazamiento (ubicación), rotación (alineamiento) y expansión (escala), es decir un ajuste de primer orden. De la precisión con que se realice este paso depende la presencia de errores a la hora de unir la información de las diferentes hojas. Como siguiente paso se sigue con la tarea de digitalización de cada característica presente en el mapa. El método seleccionado para la digitalización es “arco nodo” y almacenado en polilíneas, debido a la facilidad que esta presenta para las posteriores tareas de edición en el formato GIS. Se debe indicar que no hay la necesidad de asignar colores, tipos de líneas o nombres de capas a cada

elemento digitalizado en el ambiente CAD, ya que esto se lo hará finalmente en el software de SIG que se esté utilizando.

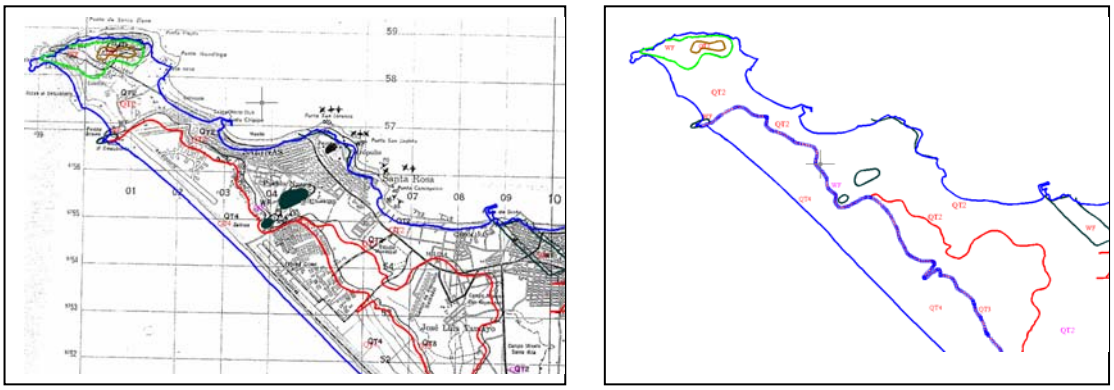


Fig. 5.2. Proceso de Digitalización en CAD. Cuadro izquierdo: Imagen escaneada y polilíneas. Derecha: Archivo DWG final (***Pindo J.**, 2007*).

Tabla 4. Procesos para extraer los datos de los mapas a CAD.

NOMBRE	FORMATO	LOCALIZACIÓN	PROCESAMIENTO
SALINAS_GEO.TIFF	IMAGEN ESCANEADA	IMAGENES/ HOJA_GEOL50K	AJUSTE GEOGRÁFICO EN CAD; DIGITALIZACION DE GEOLOGIA COMO POLILINEAS EN ARCHIVO CAD (GEOL_SALINAS.DWG)

Toda la información geológica digitalizada proveniente de CAD es integrada, almacenada en el directorio DATOS_CAD, y posteriormente añadida al entorno de trabajo SIG.

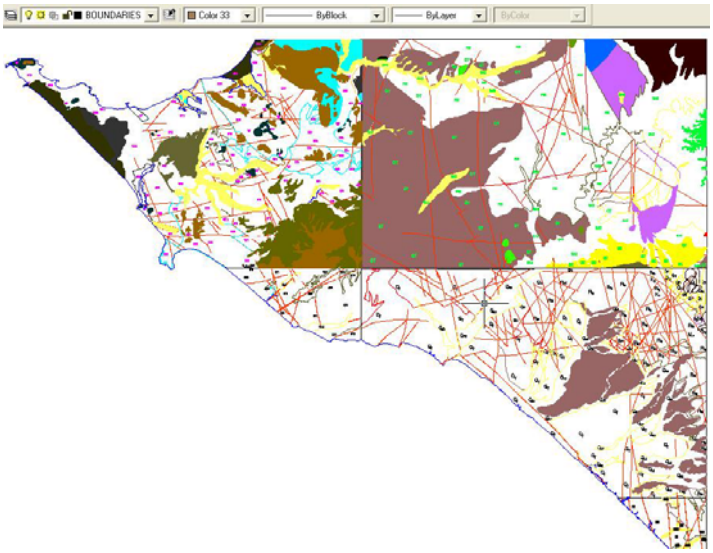


Fig. 5.3. Integración de las cinco cartas geológicas de la zona de estudio en formato CAD (***Pindo J.***, *2007*).

La información digital de la topografía que ya se encuentra previamente digitalizada y almacenada en el directorio DATOS_CAD, es desplegada en la interfaz del software SIG; los datos relevantes de hidrografía, curvas de nivel y vías de comunicación es grabada de manera independiente para su posterior gestión.

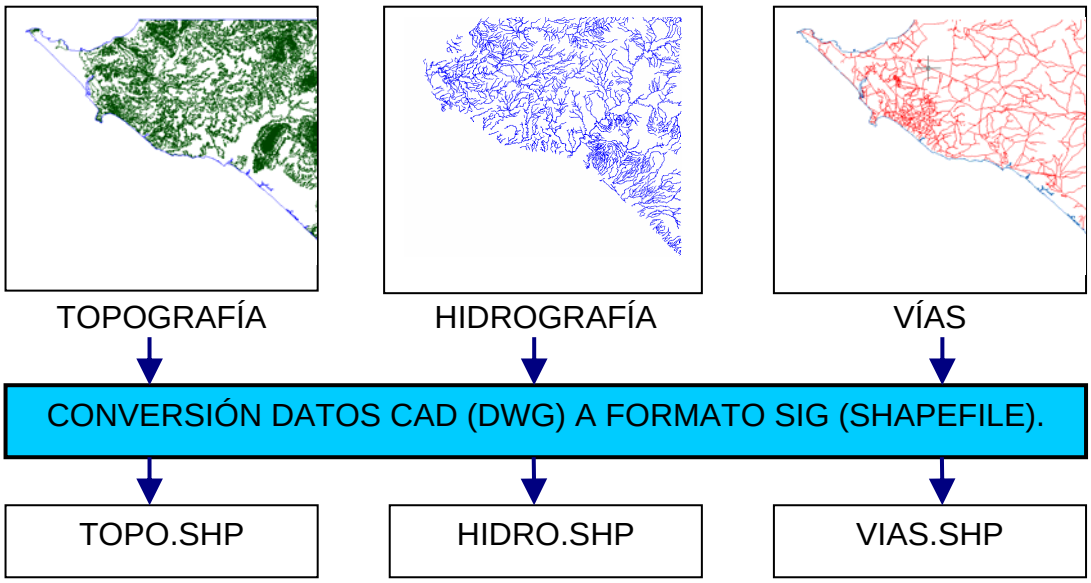


Figura 5. 4. Proceso de conversión de datos topográficos CAD a SIG .

Debido a que los sistemas CAD no disponen de las herramientas para georreferenciar, todos los datos generados tienen asociados únicamente unidades de longitud en las que fueron digitalizadas, para nuestro caso, en metros. Por este motivo antes de añadir los datos a la interfaz SIG, se debe configurar el sistema de coordenadas y datum en los que se proyectarán los datos.

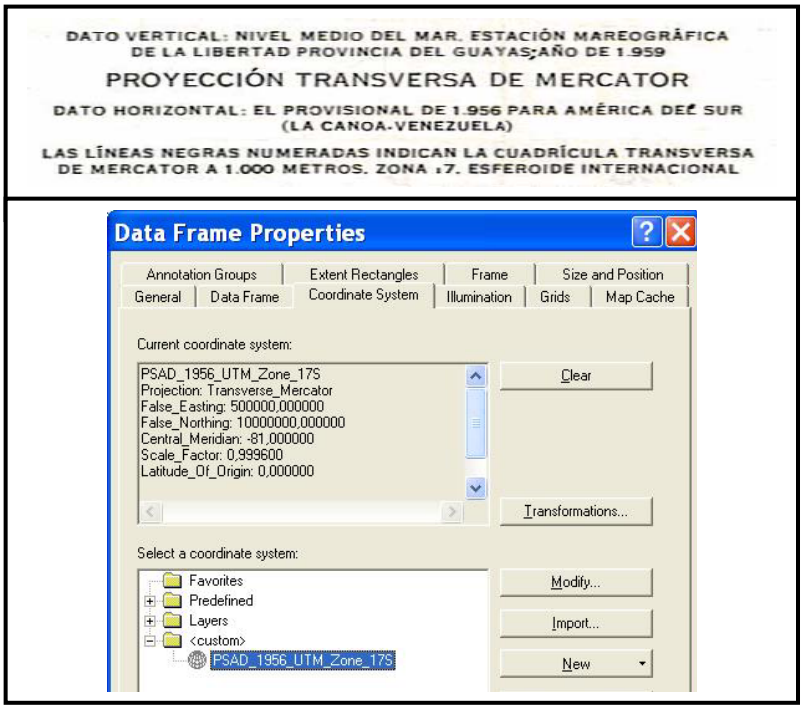


Fig. 5. 5. Parámetros del Sistema de Coordenadas UTM PSAD_56, 17 S.

Una vez realizado esto se procede a convertir los datos CAD en formato shapefile, de modo que estos datos exportados ya lleven en su estructura el sistema de coordenadas de los datos de partida o mapas base, para nuestro caso es el PSAD_56, 17S.

En esta etapa se tiene toda la información lista para el siguiente paso que consiste en la edición y depuración de los datos digitalizados, los mismos que ya poseen un sistema de coordenadas asociado.

Tabla 5. Procesos para convertir los datos de CAD a SIG.

NOMBRE	FORMATO	LOCALIZACIÓN	PROCESAMIENTO
GEOL_SALINAS	CAD	BASE_CARTOGRAFICA / DATOS_CAD	GEOREFERENCIAR; EXPORTAR A SHAPEFILE (GEO_SALINAS.SHP, FALLAS_SALINAS.SHP, CORTE_SALINAS.SHP)
TOPO_SALINAS	CAD	BASE_CARTOGRAFICA / DATOS_CAD	GEOREFERENCIAR; EXPORTAR A SHAPEFILE (TOPO_SALINAS.SHP, HIDRO_SALINAS.SHP, VIAS_SALINAS.SHP)

5.3 Edición y Análisis de los Datos.

Los datos generados en la fase de digitalización deben ser depurados para garantizar la compatibilidad de la información. Hay diversas maneras de lograr esto, una de ellas es mediante el uso de herramientas disponibles en cada software que permiten la automatización de las tareas y, por lo tanto reducir el tiempo de edición, sin embargo, este método no es del todo recomendable, a menos que se tenga la certeza de que los datos de partida no contienen error alguno, lo cual es difícil lograr, dado que los mapas escaneados tiene una baja resolución. Por lo tanto, para este proyecto se empleará el método manual que aunque un poco más tedioso, permite tener un control de cada elemento que se esté editando.

Como primera tarea se genera el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) de la zona, utilizando como información base los datos de topografía almacenada en cada archivo shapefile de las diferentes hojas, esta es unida para tener un solo archivo general y luego interpolada para tener el archivo raster de elevaciones de la zona. El método de interpolación usado es el Inverso de la Distancia Ponderado con un tamaño de celda de 50X50 metros.

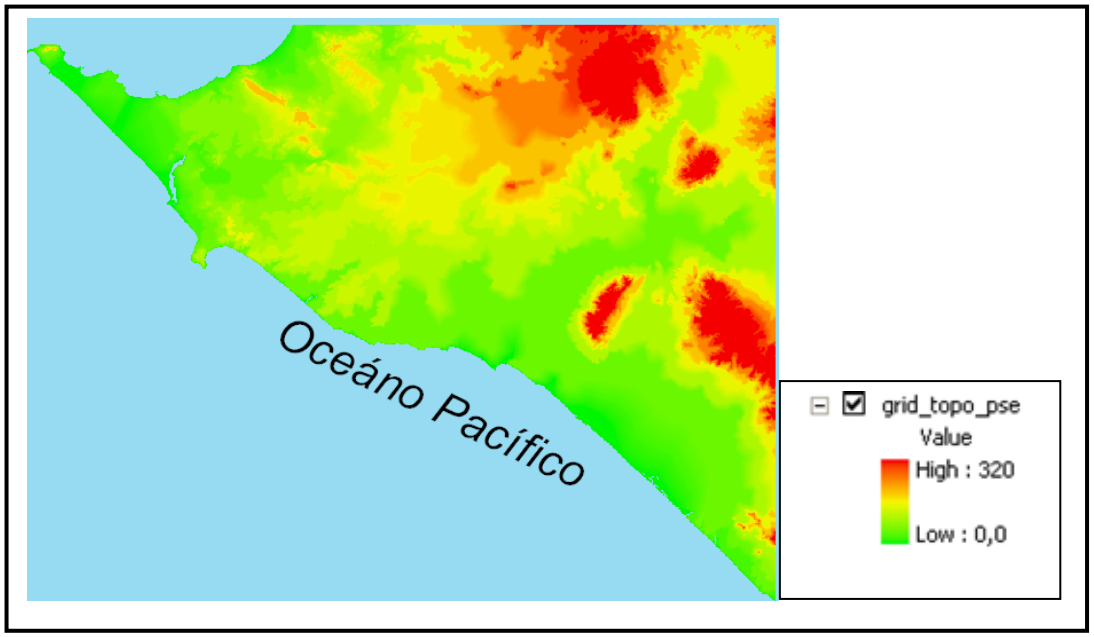


Fig. 5. 6. Modelo Digital de Elevaciones del área de estudio (***Pindo J.**, 2007*).

Tabla 6. Procesos para crear el Modelo Digital de Elevaciones.

NOMBRE	FORMATO	LOCALIZACIÓN	PROCESAMIENTO
TOPO_SALINAS, TOPO_ZAPOTAL, TOPO_CHANDUY, TOPOPTAPIEDRA, TOPO_STOTMAS	SHAPEFILE	TOPOGRAFIA	UNIR LAYERS; INTERPOLAR Y GENERAR MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES (MDE_PSE.GRID)

Para completar la información de base se procede con la unión de los datos de hidrografía y vías de todas las hojas. Posteriormente se asigna a cada elemento los atributos que corresponden a tipo de río, código general y nombre de los ríos; en el caso de las vías, se ingresa los atributos respecto del tipo de vía (principal, de segundo orden, camino, etc.).

Tabla 7. Procesos para obtener los datos de hidrografía.

NOMBRE	FORMATO	LOCALIZACIÓN	PROCESAMIENTO
HIDROSALINAS, HIDROZAPOTAL, HIDROCHANDUY, HIDROPTPIEDRA, HIDROSTOTMAS	SHAPEFILE	HIDROGRAFIA	UNIR LAYERS; ASIGNAR ATRIBUTOS: TIPO DE RIOS, NOMBRE DE RIOS, ETC. (HIDROPSE.SHP)

Para el caso de la geología el proceso es un poco más laborioso. En primer lugar se georreferencia el mapa base, esto es, la imagen geológica escaneada. Para disminuir los errores en el momento de la edición se selecciona la mayor cantidad de puntos de control y lo más alejados entre sí, para nuestro caso se tomaron 12 puntos de control, lo cual permitió realizar un ajuste de Segundo Orden, con un Error Medio Cuadrático de 6.90 metros, lo cual se considera aceptable para la escala a la que se está trabajando. Este procedimiento ha sido aplicado a las cinco hojas del área de trabajo, considerándose como aceptable un Error Medio Cuadrático inferior a 10 metros.

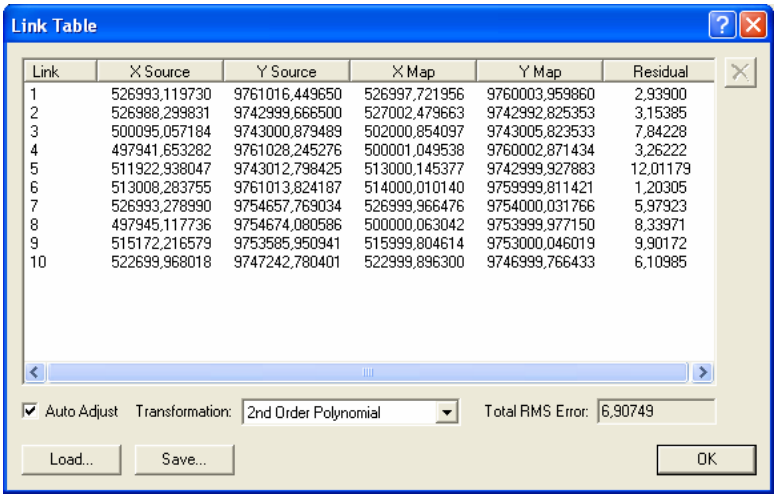


Fig. 5. 7. Puntos de control y error para un ajuste de 2do. Orden .

Como siguiente paso, se añaden los archivos que contienen la geología y las estructuras de cada una de las hojas. A continuación se genera el archivo poligonal correspondiente a las formaciones geológicas, tomando como límites las polilineas previamente digitalizadas y como referencia la imagen geológica para determinar la forma y relación espacial de cada área. Para la generación de los polígonos se ha usado una tolerancia de 0.000256 metros.

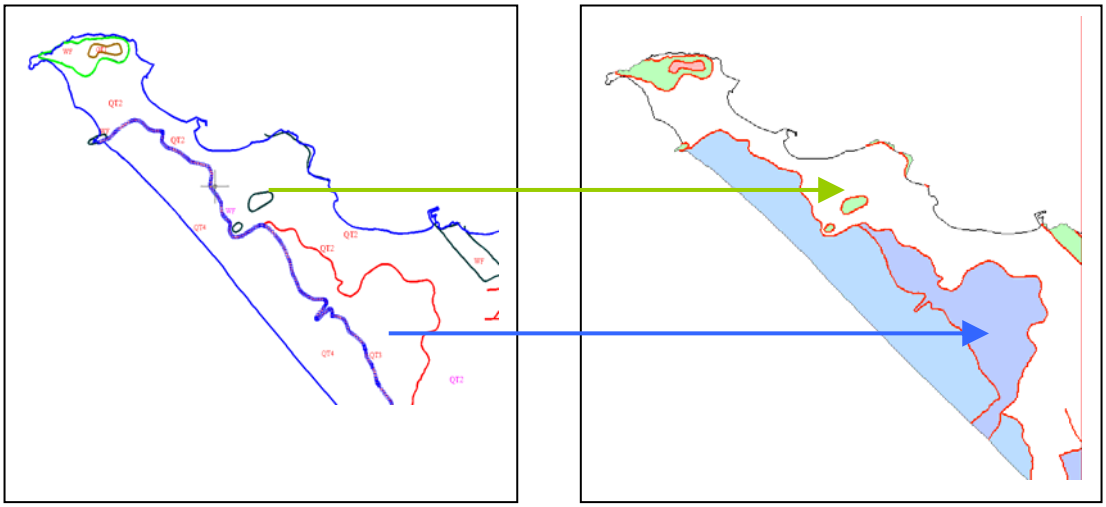


Fig. 5. 8. Edición de polilíneas a archivos poligonales (***Pindo J.***, *2007*).

La secuencia de selección se realiza desde las áreas más pequeñas o internas hacia las más grandes o externas, ya que el software automáticamente identifica las islas generadas; si se procediera al revés, es probable que muchos polígonos se traslapen y por consiguiente se presenten áreas duplicadas. Aunque este proceso puede ser realizado automáticamente para todo el archivo, es recomendable hacerlo paso a paso para evitar el duplicado o la no formación de los polígonos.

Una vez generado el archivo poligonal, es necesario editar la tabla de atributos, ya que por defecto los archivos transformados de CAD vienen con atributos que no interesan para el proyecto, razón por la cual deben ser eliminados.

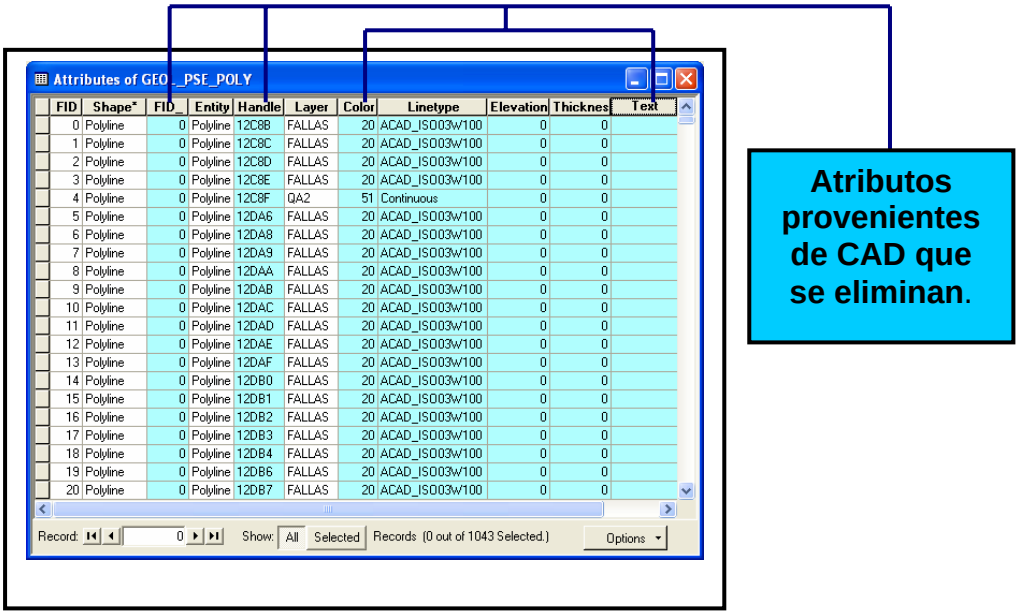


Fig. 5. 9. Eliminación de atributos provenientes de CAD (***Pindo J.***, *2007*).

Tabla 8. Procesos aplicados para generar la información geológica.

NOMBRE	FORMATO	LOCALIZACIÓN	PROCESAMIENTO
SALINAS_GEO.TIFF ZAPOTAL_GEO.TIFF CHANDUYGEO.TIFF PTAPIEDRAGO.TIFF STOTMASGEO.TIFF	IMAGEN ESCANEADA	HOJAGEOL50K	GEOREFERENCIAR EN SIG; DIGITALIZAR PUNTOS (RUMBO, RECURSOS NATURALES, ETC.); ASIGNAR ATRIBUTOS GENERALES Y ESPECÍFICOS (PUNTOS_PSE.SHP)
GEOL_SALINAS, GEOL_ZAPOTAL, GEOL_CHANDUY, GEOL_PTAPIEDRA, GEOL_STOTMAS	SHAPEFILE	GEOLOGIA	UNIR LAYERS; EDITAR INTERSECCIONES; CONVERTIR POLILINEAS A POLIGONOS (GEOL_PSE.SHP); ASIGNAR ATRIBUTOS GENERALES (CODIGO, TIPO)

Los archivos de polilíneas correspondientes a estructuras, contactos, plegamientos, etc. son sometidos al mismo proceso de edición, pero son almacenados y procesados de manera independiente.

Tabla 9. Procesos aplicados para generar la información geológica.

NOMBRE	FORMATO	LOCALIZACIÓN	PROCESAMIENTO
FALLAS_SALINAS, FALLAS_ZAPOTAL, FALLAS_CHANDUY, FALLASPTAPIEDRA, FALLAS_STOTMAS	SHAPEFILE	GEOLOGIA	UNIR LAYERS; EDITAR UNIONES, TRASLAPES (FALLAS_PSE.SHP); ASIGNAR ATRIBUTOS (CODIGO, TIPO)
FORMACIONES	TABLA DBF	TABLAS	UNIR CON ATRIBUTOS DE SHAPEFILE GEOL_PSE.SHP)

A la tabla de atributos final, se añade un nuevo campo denominado CODIGO, el mismo que es de tipo textual, pero con datos numéricos. Esto garantiza que los enlaces sean adecuados y se eviten los errores por tildes, caracteres especiales y la incompatibilidad por el uso de mayúsculas y minúsculas. El modelo utilizado es el siguiente:

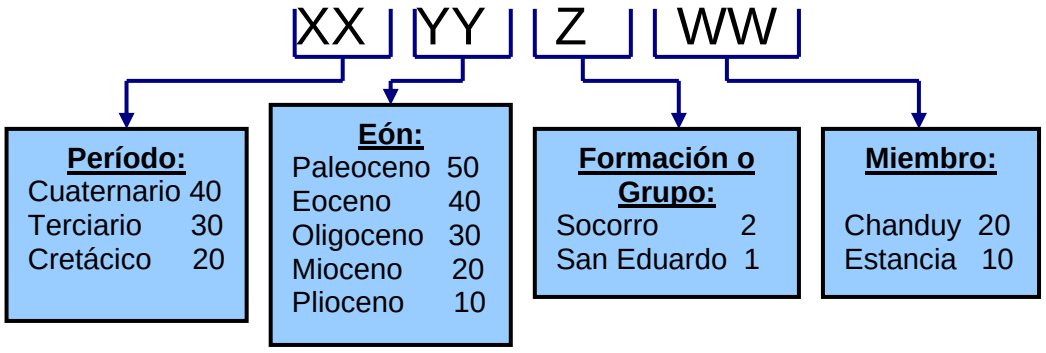


Fig. 5. 10. Codificación para unidades geológicas (***Pindo J.**, 2007*).

En el modelo, la codificación de cada unidad geológica consta de 7 caracteres numéricos en los cuales se trata de introducir la información correspondiente al Período Geológico, Eón, Formación o Grupo y Miembros o Unidades Geológicas.

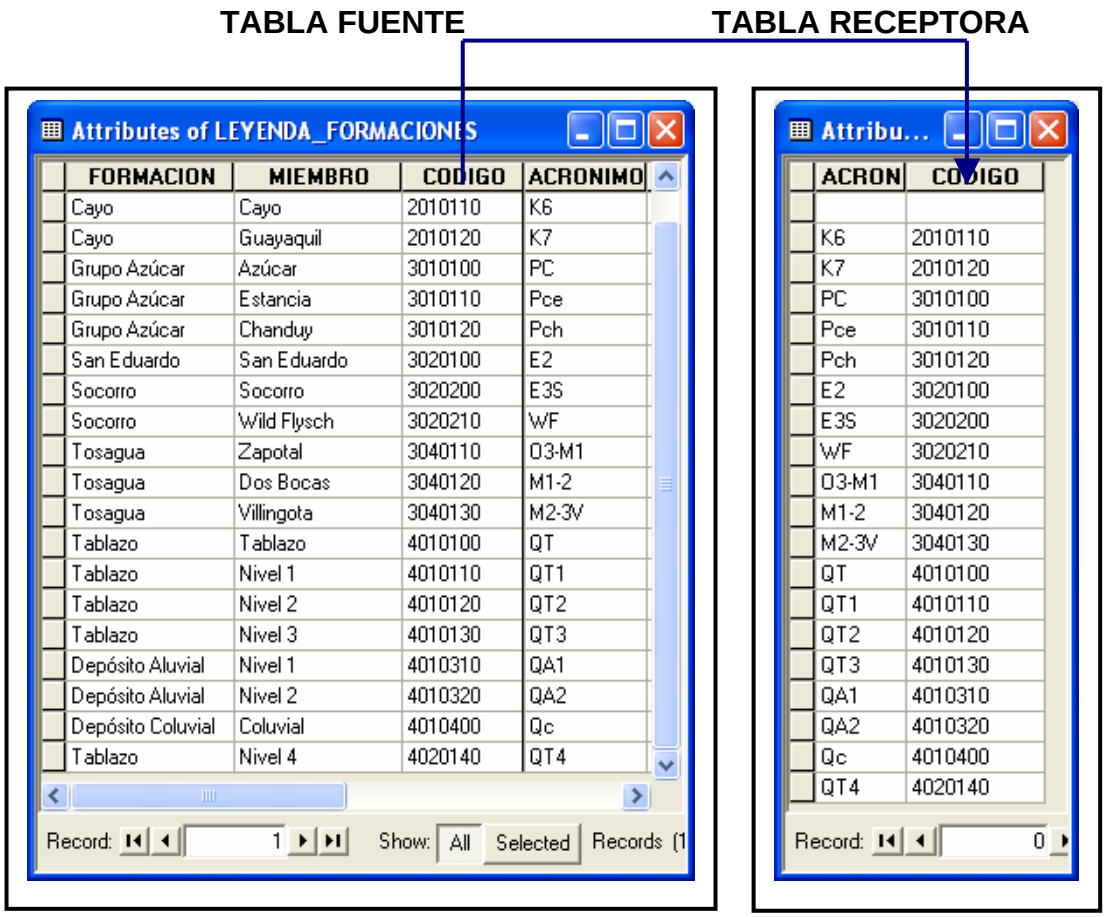


Fig. 5.11. Enlace de atributos específicos y generales del archivo poligonal (***Pindo J.***, *2007*).

El código va en sentido ascendente y opuesto a la edad geológica para mantener relación con el nombre, por ejemplo Cuaternario=40, los valores para Eón siguen el mismo orden, pero inician desde 10 cada vez que se pasa de período, por ejemplo Pleistoceno=10; los valores para cada Formación o Grupo van desde 1 hasta el número de formaciones que caigan dentro de

ese Eón, al pasar de Eón, los valores se inicializan, por ejemplo formación Tosagua=100 y Grupo Azúcar=100; y seguidamente se identifican los miembros en cada Formación o Grupo, en caso de no existir miembros, el valor de WW es 00.

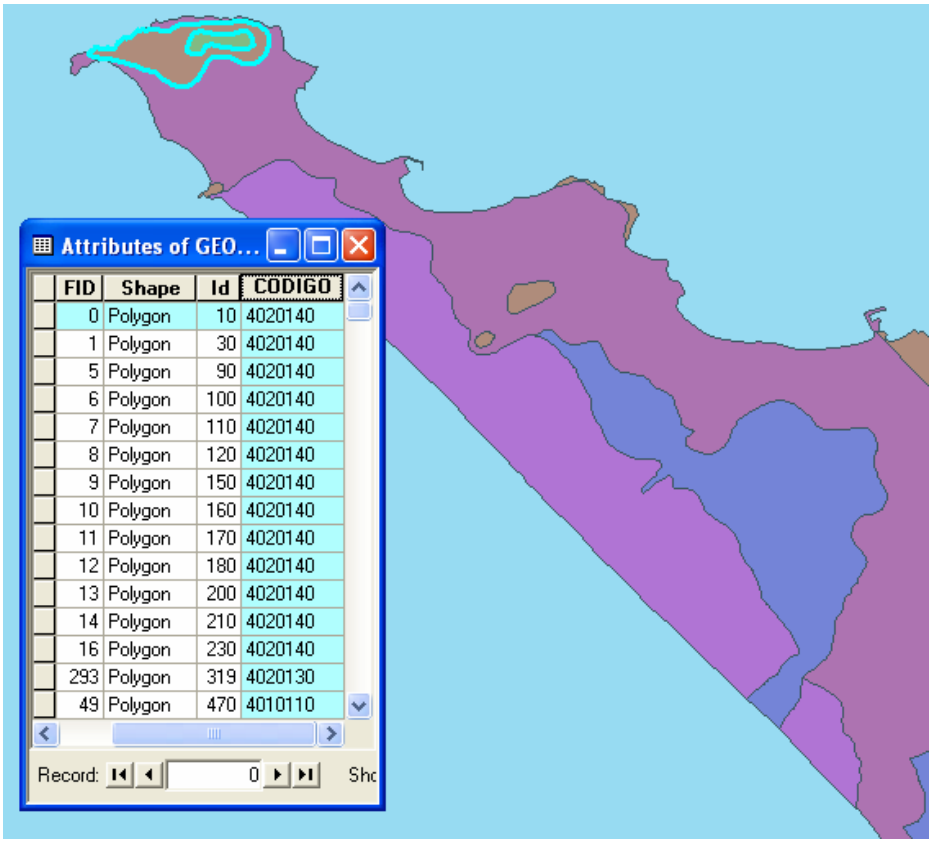


Fig. 5. 12. Archivo final con sus respectivos atributos (***Pindo J****., 2007*).

El resultado de todo este proceso es el archivo poligonal con los atributos específicos relacionados a las formaciones, edad geológica, grupo geológico, etc. La presentación previa del archivo generado se observa en el gráfico siguiente. Sin embargo, se debe considerar que en este paso, únicamente se tienen los datos poligonales de las formaciones, sin la codificación por colores ni etiquetado que se hará en el paso final.

Para el caso de las estructuras, unir en un solo archivo todas las polilineas y acto seguido asignar el CODIGO general a cada falla dependiendo del tipo identificado en la imagen base. Esta información será enlazada luego con los atributos específicos de cada falla. Los valores de puntos medidos en superficie serán digitalizados directamente en el software GIS así como la asignación de los atributos (rumbo y buzamiento), debido a que son datos puntuales y sencillos de ingresar al mismo tiempo.

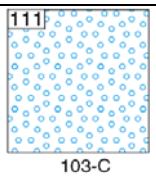
5.4 Presentación de los Resultados.

Las formaciones geológicas se presentan en los mapas finales de acuerdo a la codificación internacional, ya que esto garantiza la reproducibilidad de los mapas, independiente del usuario o del software que se este utilizando. Para ello, se emplea el proceso de combinación de colores CMYK (Cyan/Magenta/Yellow/Black), el cual evita la distorsión de los colores a la hora de imprimir. Aunque se pueden utilizar otras combinaciones de colores como RGB (Red/Green/Blue) o HSV (Hue/Saturation/Value), es posible que se presenten colores impresos no esperados en el mapa. Cuando las tonalidades entre dos formaciones adyacentes sean muy similares, la norma establece que se deben establecer patrones de sombreado, la forma de cada uno de ellos depende de si las formaciones son de carácter superficial, sedimentario, ígneo o metamórfico. En este proyecto se ha escogido los patrones 103-C y 103-M, para diferenciar los Depósitos Aluviales del Cuaternario, mientras que para los Tablazos del mismo período, se ha escogido patrones variados considerando como base la descripción de los componentes principales de cada uno de ellos (arenisca, calcáreo, etc.).

Tabla 10. Combinación CMYK para las Unidades Geológicas (***Pindo J.**, 2007*).

Formación	*CMYK (%)*				*Código*	*RGB*			*Color*
	C	*M*	*Y*	*K*	*CMYK*	*R*	*G*	*B*	
Q_{A1}	0	0	60	0	0060	255	255	102	*
Q_{A2}	0	0	40	0	0040	255	255	102	*
Q_{T1}	0	0	70	0	0070	255	255	77	*
Q_{T2}	0	0	60	0	0060	255	255	128	*
Q_{T3}	0	0	50	0	0050	255	255	128	*
Q_{T4}	0	0	30	0	0030	255	255	179	*
Q_{T}	0	0	70	0	0070	255	255	0	
Q_{C}	0	0	100	0	00X0	255	255	0	
M_{2-3V}	0	30	60	0	0360	255	179	102	
M_{1-2}	13	30	70	0	1370	222	179	77	
O_{3-M1}	0	30	100	0	03X0	255	179	0	
E_{3S}	8	40	70	0	A470	235	153	77	
E_{2}	0	60	60	0	0660	255	102	102	
P_{ch}	0	20	100	0	02X0	255	204	0	
P_{ce}	0	60	100	0	06X0	255	102	0	
P_{c}	13	60	100	0	16X0	222	102	0	
K_{7}	60	13	100	0	61X0	102	222	0	
K_{6}	40	20	40	0	4240	153	204	153	

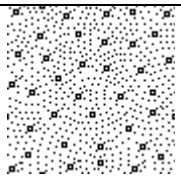
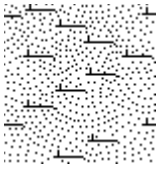
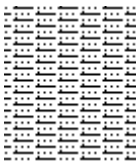
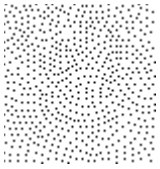
Tabla 11. Patrones de sombreado para Depósitos Aluviales.

CÓDIGO	103-C	103-M
FORMACIÓN	QA1	QA2
PATRÓN		

Para diferenciar entre los diferentes niveles de la Formación Tablazo, se ha escogido los patrones que se muestran en la tabla.

Tabla 12. Patrones de sombreado para los niveles de los Tablazos.

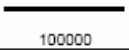
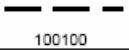
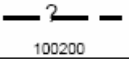
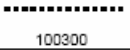
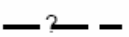
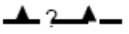
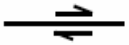
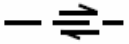
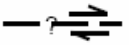
(***Pindo J.**, 2007*).

CÓDIGO	**USGS-602**	**USGS-613**	**USGS-617**	**USGS-607**
FORMACION	QT1	QT2	QT3	QT4
PATRÓN				

La representación de las fallas, contactos y pliegues se han realizado mediante la codificación que se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 13. Matriz de Codificación para Fallas Geológicas

Fuente: *INGEOMINAS, 2001*

Ejemplo - Fallas Geológicas					
EXPRESION		Definida	Inferida	Incierta	Cubierta
ESTRUCTURA		000	100	200	300
Falla definida	100	 100000	 100100	 100200	 100300
Falla normal	110	110000	110100	 110200	110300
Falla de cabalgamiento	120	120000	120100	 120200	120300
Falla de rumbo dextral	130	 130000	 130100	 130200	130300
Falla de rumbo sinextral	135	135000	135100	135200	135300

Finalmente es importante el etiquetado, para lo cual se utiliza el acrónimo de cada formación geológica, esto en conjunto con la leyenda geológica es suficiente para la identificación de los diferentes elementos geológicos presentes en el mapa. Se presentará usando el tipo de letra Arial 10 para la

primera inicial de la unidad geológica y el tamaño 8 para los subíndices. En el cazo de la representación de los rumbos, se hará utilizando la fuente Esri Geology, con el tipo Carácter Marker Symbol, el carácter Unicode 111, rotación de -90°, tamaño 15 y tomando como parámetro de orientación el valor del rumbo.

El mapa final, se presenta en un tamaño estándar A0 (840X594 mm.), a una escala 1:50.000. Este contiene la siguiente información:

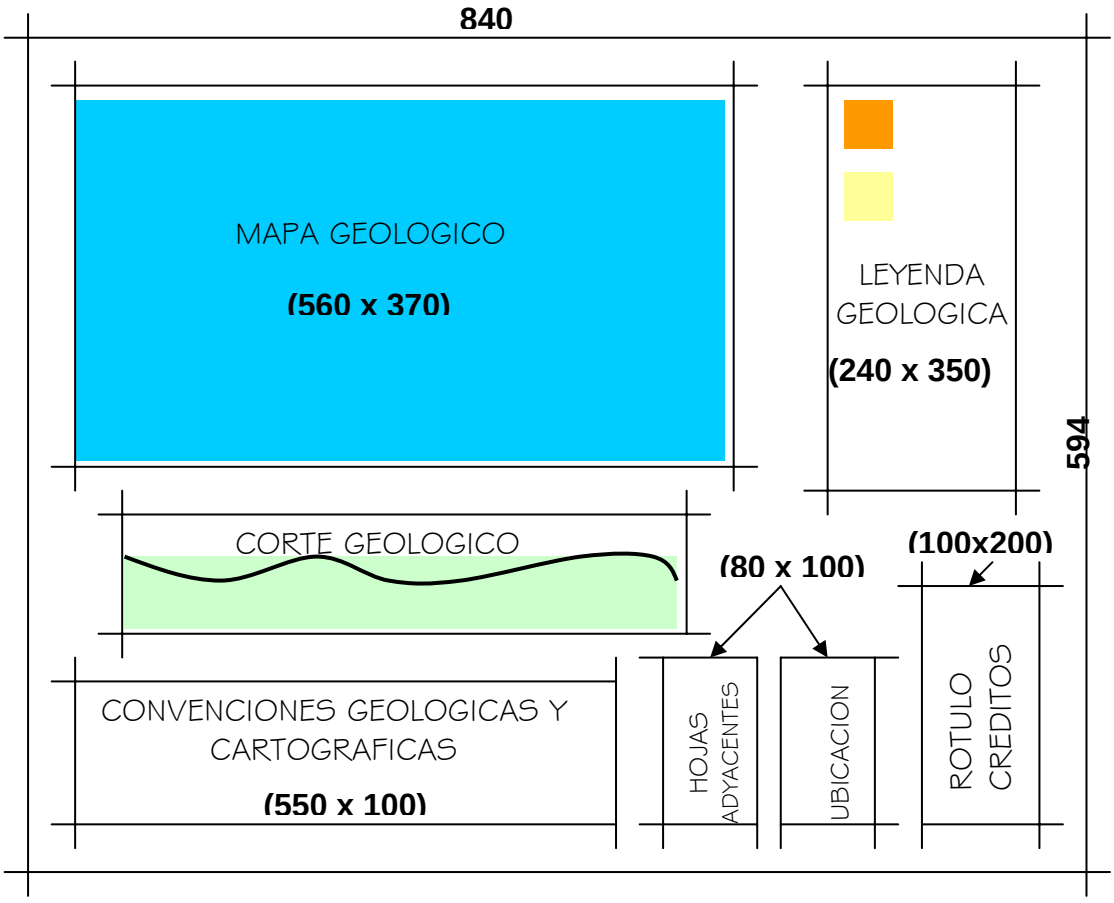


Fig. 5. 13. Formato para Mapas Geológicos Impresos Escala 1:50.000 (***Pindo J.***, *2007*).

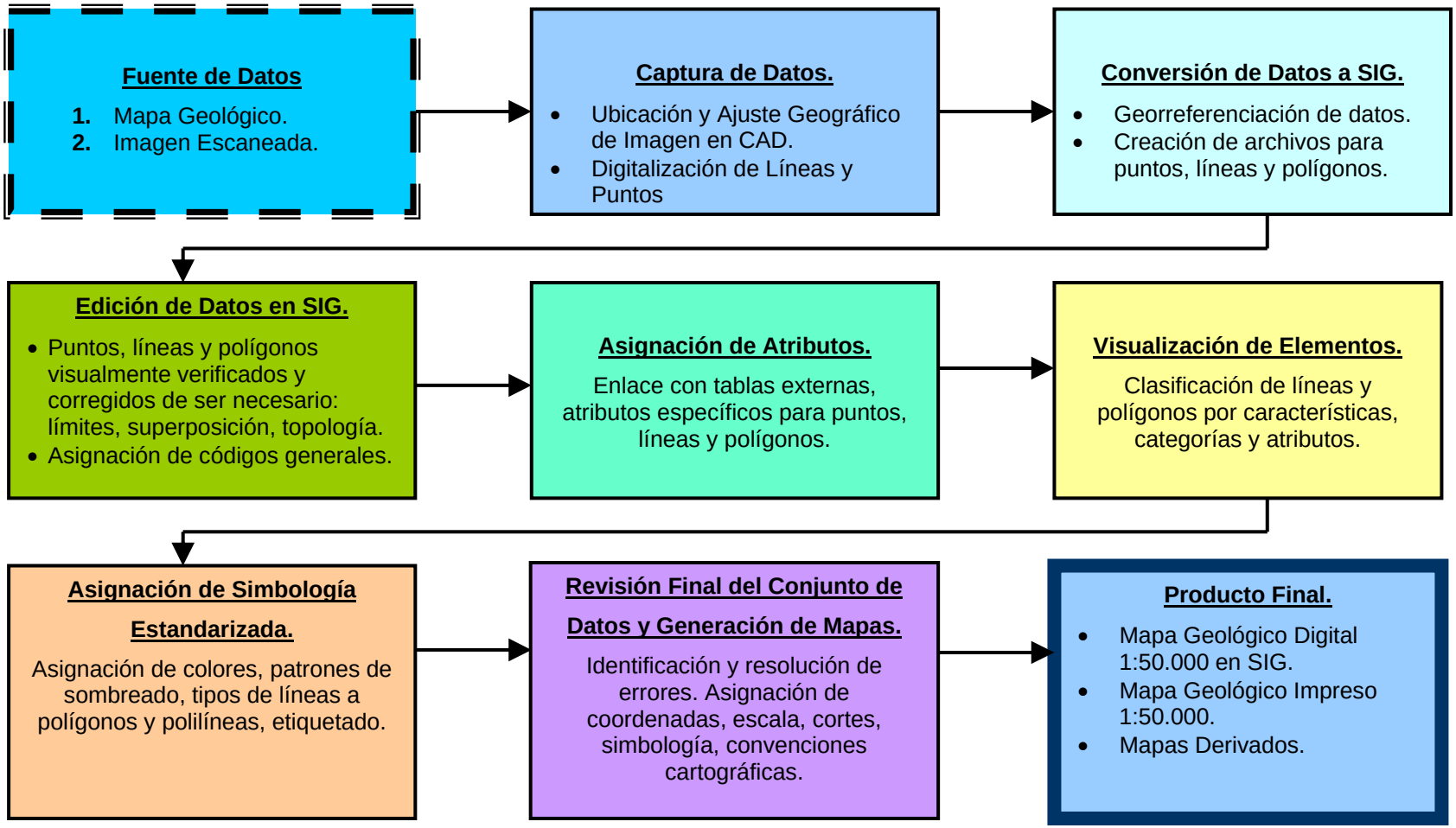


Fig. 5.14. Esquema Metodológico para el desarrollo de un SIG Geológico (***Pindo J.**, 2007*).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El área de estudio comprende un área de 1248 Km^2, que abarcan 19 unidades geológicas, de las cuales el conjunto de afloramientos más pequeño es el que corresponde a la Formación Cayo, Miembro Cayo (**K6**) con una extensión de 0,46 Km^2, esta aparece en cuatro sitios dispersos en la Hoja Zapotal y Chanduy. Y la unidad con mayores afloramientos es la del Grupo Azúcar, Miembro Estancia (**Pce**) con una extensión de 219 Km^2 presente en 19 afloramientos.

2. Los Tablazos (**QT**) abarcan una extensión de 620 Km^2, de los cuales el mayor es **QT1** con 206 Km^2 y 65 afloramientos, mientras que el menor es **QT4** con 3 afloramientos y una extensión de 13.5 Km^2.

3. El área cubierta por el período cuaternario es de 826 Km^2, de lo cual se desprende que la zona es reciente en su mayor extensión, el área correspondiente al periodo terciario es de 421 Km^2, mientras que el correspondiente al Cretácico es de 1,6 Km^2, correspondiendo esta a

los afloramientos más pequeños y que comprenden la Formación Cayo, Miembros Cayo y Guayaquil.

4. Durante la edición de la información geológica se observó un desfase de la línea de costa entre los mapas geológicos y topográficos. Esto se debe a que la cartografía geológica fue levantada en mapas de la época del 70, mientras que la topografía corresponde a ediciones de los años 90, por esta razón se ha optado en tomar como límite de la costa a la que se obtiene de los mapas topográficos actuales, deduciendo de esto que el desfase de la costa se debe a los dos Fenómenos de El Niño que han erosionado la costa.

5. La metodología propuesta tanto para el almacenamiento de la información en un directorio único y subdirectorios de acuerdo al tipo de información cartográfica, garantiza el fácil intercambio de información así como una gestión ágil y flexible.

6. Aunque un mapa geológico se puede realizar en múltiples software, la utilización de los SIG, facilita la generación de cartografía derivada, así como la generación de mapas impresos en diferentes formatos y escalas.

7. El modelo presentado contiene la información básica de topografía y geología, del mismo se podría generar cartografía derivada como: Mapas Litológicos, Mapas Hidrogeológicos, Mapas de Rocas Industriales (minería), Mapas de Riesgos Naturales: Inundaciones, Deslizamientos, Desprendimientos, Mapas de Puntos de Interés Geológico, Mapas Derivados por combinación con otras fuentes de información: arqueología, contaminación de acuíferos, mapas geotécnicos, mapas de suelos, estudios de cuencas hidrográficas.

8. En los límites entre las Hojas Zapotal y Salinas, específicamente entre las coordenadas 9’745.000 y 9’760.000 se debe realizar un estudio geológico más detallado ya que las hojas 1:50.000 utilizadas como base no tiene el suficiente detalle que garantice la continuidad de las formaciones geológicas de la Hoja Salinas, es decir se debe realizar más estudios en lo que corresponde al margen de la Hoja Zapotal.

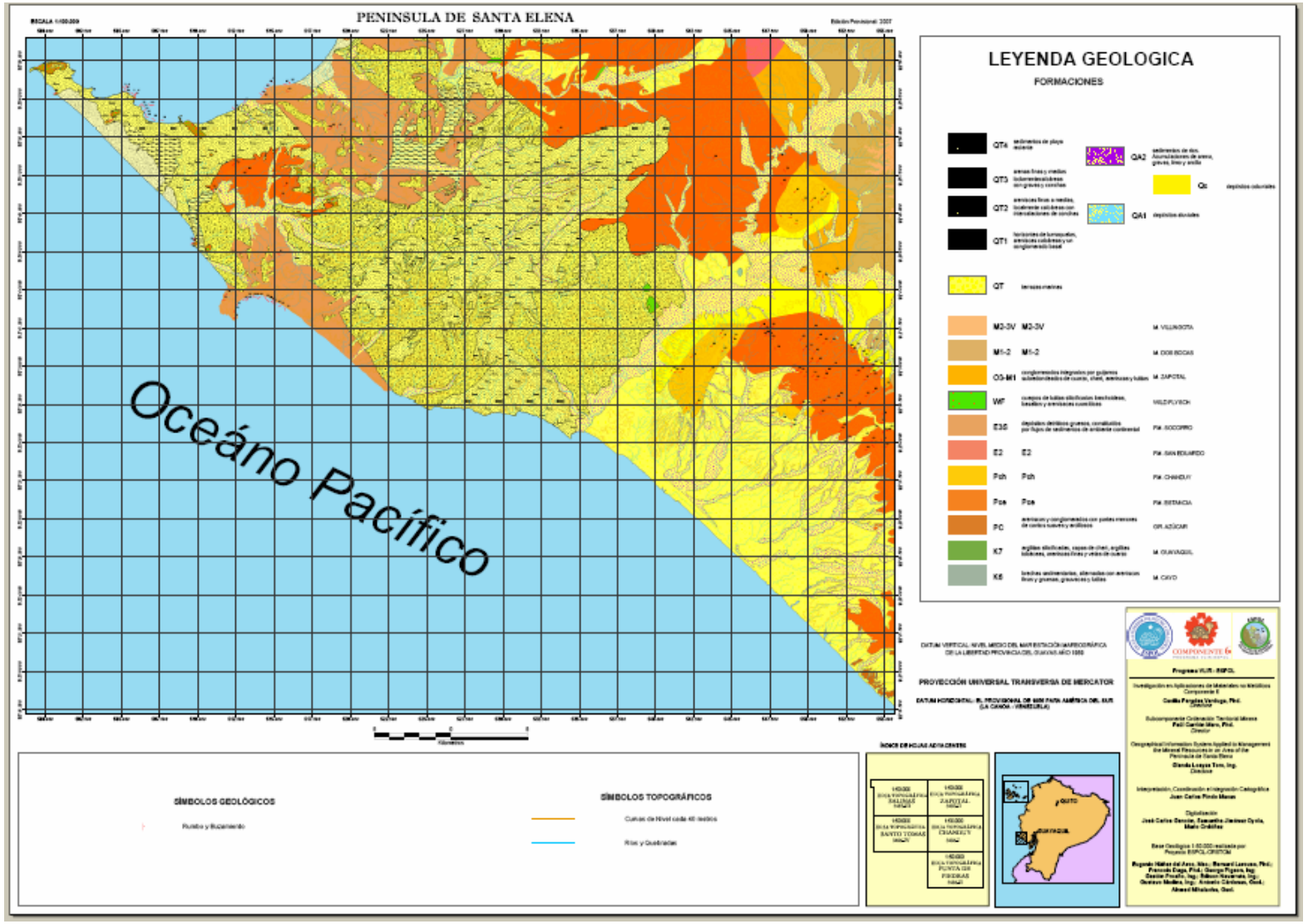
9. Debido a la facilidad que presenta para los procesos de georreferenciar imágenes, es recomendable realizar las tareas de digitalización directamente en el software ArcGis, aunque se sacrifica la cantidad de puntos en las líneas digitalizadas. De ahí que la decisión final deba tomarse basándose en un análisis de precisión de los ajustes contra la calidad de las curvas digitalizadas.

10. Es importante realizar la actualización periódica de la cartografía, la misma que debido al formato en que está hecha no demanda demasiados procesos adicionales.

11. De ser posible crear la versión de los metadatos para añadir información relevante del proyecto.

12. Es necesario realizar la codificación única para cada una de las formaciones presentes en el área ya sea utilizando la simbología adecuada, así como la combinación de colores bajo el formato CMYK, ya que esto garantiza la repetitibilidad de los colores adecuados para cada formación, independientemente de la apreciación del usuario, del tipo de software que se esté utilizando, así como del dispositivo de impresión que se disponga.

13. La publicación o difusión de la cartografía geológica estará supeditada a una revisión de los profesionales de la FICT, para su posterior edición final.


PENINSULA DE SANTA ELENA
LEYENDA GEOLOGICA
FORMACIONES
QT4
QT3
QT2
QT1
QA2
QA1
Qc
QT
M2-3V
M1-2
O3-M1
WF
E3S
E2
Pch
Pce
PC
K7
K6
Oceáno Pacífico
PROYECCIÓN UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
SÍMBOLOS GEOLÓGICOS
SÍMBOLOS TOPOGRÁFICOS
QUITO
GUAYAQUIL

BIBLIOGRAFÍA

1. Asit S., Dhruva G. et al, **Digital Cartographic Standards for 1:50,000 Geologic map: some important considerations,** Geological Survey of India, Map India, Geology & Mineral Resource, Kolkata, India, 2003.

2. Burrough P. A., **"Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment"**, Clarendon Editorial, Second Edition, Oxford, 1998.

3. Carrión P., Martins L., **El Patrimonio Geominero en el Contexto de la Ordenación Territorial**, CYTED, Programa XII de Tecnología Mineral, Guayaquil, Ecuador, 2005.

4. Cornejo M., **Polo de Promoción Minero Ambiental en el Contexto de la agenda Local 21: Península de Santa Elena (Ecuador)**, CETEM / CYTED, Río de Janeiro, Brasil, 2006.

5. ESRI. **ArcGIS9 Getting Started whit ArcGis**, Environmental Systems Research Institute, Inc., ESRI Press, Redlands, USA, 2004.

6. ESRI, **ArcGIS9 Using ArcCatalog**, Environmental Systems Research Institute, Inc., ESRI Press, Redlands, USA, 2003.

7. ESRI, **Editing in ArcMap**, Environmental Systems Research Institute, Inc., ESRI Press,Redlands, USA, 2003.

8. ESRI, **Understanding Map Projections**, Environmental Systems Research Institute, Inc., ESRI Press, Redlands, USA, 2004

9. ESRI, **What is ArcGIS?,** Environmental Systems Research Institute, Inc., ESRI Press, Redlands, USA, 2004.

10. Grisé S., Brodaric B., **Geology Data Model**, ArcGIS Geology Data Model, ESRI Redlands & Geological Survey of Canada, 2004.

11. INGEOMINAS, **Estándares Cartográficos y de Manejo de Información Gráfica para Mapas Geológicos Departamentales y Planchas Esc 1:100.000,** Instituto de Investigación e Información

Geocientífica, Minero-Ambiental y Nuclear; Subdirección de Reconocimientos Neocientíficos, Versión 1.1, Colombia, 2001.

12. IUGS, **International Stratigraphic Chart**, International Commission on Stratigraphy, International Union of Geological Sciences, GTS Project, 2004

13. Jonson A., Pettersson C., Fulton J., **Geographic information systems (GIS) and mapping: GISDATA Final Conference**. http://books.google.com.ec/books?id=O6npjfmkL4QC&dq=Guidelines+for+the+Preparatio.

14. Longley P., Goodchild M., Maguire D., and Rhind D., **Geographic Information Systems and Science**, Second Edition, John Wiley & Sons and Environmental Systems Research Institute, Inc. Press, USA, 2005.

15. Minami M. **Using ArcMap**, Environmental Systems Research Institute, Inc., ESRI Press, Redlands, USA, 2000.

16. North Carolina Geological Survey in cooperation with North Carolina State, **Preserving North Carolina Legacy Preserving North**

Carolina Legacy Geologic and Topographic Maps, University Libraries, North Carolina Geological Survey; 2006.

17. Núñez del Arco E., **Continuación de las Investigaciones Geológicas y Cartografiado Regional Escala 1:50.000, de Zonas Preestablecidas en las Provincias del Guayas y Manabí**, Proyecto ESPOL-ORSTOM, Informe Final, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador, 1985.

18. Olaya F. V., **Hidrología Computacional y Modelos Digitales del Terreno,** Creative Common Attribution Share–alike, http://heart.sf.net/textos. 2004.

19. O'Meara S., Gregson J., Poole A. et al, , **The National Park Service Geologic Resources Evaluation Geology-GIS Coverage/Shapefile Data Model,** Geologic Resources Evaluation Protocol, (2005).

20. Paredes C., Carrión P., **Our Non-Metallic Resources: A potential for Competitiveness and Social Development**, Serearch & Development, Special Edition, ESPOL, Guayaquil, 2003.

21. Pindo J., **Sistema de Información Geográfica para el Manejo de los Recursos Minerales en un Sector de la Península de Santa Elena (Ecuador),** Primer Congreso de Ciencia Tecnología e Investigación, Memorias del Congreso, Quito, Ecuador, 2005.

22. Pindo J., Berrezueta E., Carrión P., Morante F., **Los Sistemas de Información Geográfica Como Apoyo en la Caracterización Mineralógica Mediante Análisis de Imagen,** 2° Congreso Nacional de Investigación, Tecnología e Innovación & Jornadas ESPOLciencia 2006, Guayaquil, Ecuador, 2006.

23. Santos Preciado J., **El Tratamiento Informático de la Información Geográfica**. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Madrid, 2002.

24. Santos Preciado J., **Sistemas de Información Geográfica**, Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid, 2005.

25. Tajadura J., López J., **AutoCAD 2002 Avanzado**, McGraw Hill, Madrid, España, 2003.

26. Tepera M., Buehlman T., **"Managing Enterprise Land Assets Using GIS"**, Arc User The Magazine for ESRI Software Users, Vol 5, N° 4, October- December, 15-20, 2002.

27. Ulrich G. E., Reynolds M. W., and Taylor R. B., **Toward Digital Geologic Map Standards: A Progress Report, Geographic Information System (GIS) and Mapping-Practices and Standards**, 2001.

28. USGS, **Final Draft -- FGDC Digital Cartographic Standard for Geologic Map Symbolization Geologic Data Subcommittee,** U.S. Geological Survey, Federal Geographic Data Committee, USA, May 2006. http://www.fgdc.gov/standards/projects.

29. USGS, **Selection of Colors and Patterns for Geologic Maps of the U.S. Geological Survey Techniques and Methods 11–B1,** U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, http://www.usgs.gov/pubprod, Reston, Virginia, USA, 2005.

30. USGS, **Suggested Colors for Geologic Maps Techniques and Methods 11–B1,** U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Plate 1, USA, 2006.

31. Zeiler M., **Modeling Our World**, Environmental Systems Research Institute, Inc. Redlands, California, 2001.