

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS DE LA TIERRA  
INSTITUTO DE GEOFÍSICA

03080

13

SISTEMATIZACIÓN DE CARTOGRAFÍA DIGITAL  
EN LA FAJA VOLCÁNICA MEXICANA

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS (EXPLORACIÓN)

PRESENTA  
GABRIEL ORIGEL GUTIÉRREZ

DIRECTOR  
DR. ENRIQUE CABRAL CANO

*Acompañado de un  
CD con archivo  
digital de la  
Tesis en  
formato PDF*

México D.F. a 25 de junio de 2002.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

1





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

A क॒सो॒त्त



## AGRADECIMIENTOS

Los agradecimientos constituyen la única parte de cualquier trabajo que no se puede someter a la crítica, ni mucho menos a la discusión. Estas líneas son exclusivas de quien las escribe, teniendo el gran privilegio de realizarlas a su parecer. En consecuencia suelen estar maquilladas con maravillosa subjetividad y este trabajo no es la excepción.

Concluir este proyecto de investigación, después de algunos años de trabajo y un gran esfuerzo, representa el cumplimiento de una meta personal muy anhelada. La realización de la misma en ningún momento fue tarea individual, por el contrario requirió del apoyo institucional, así como del esfuerzo de varias personas.

Por lo anterior, y como acto de justicia, presento un reconocimiento a quienes la hicieron posible. Corriendo el grave riesgo del olvido involuntario y asumiendo dicha responsabilidad espero mencionar más o menos a cada uno.

Para comenzar, a la Universidad Nacional Autónoma de México, en especial al Programa de Posgrado en Ciencias de la Tierra, donde pude continuar mi formación profesional y conseguir tan anhelado deseo. A la Dirección General de Estudios de Posgrado de la UNAM por brindarme, dentro de su programa de becas y durante dos años, el principal apoyo económico para emprender esta jornada. A las Fundaciones TELMEX y Hombre-Naturaleza por otorgarme durante un año el complemento de beca. Al Instituto de Geofísica de la UNAM por extenderme durante seis meses una beca de maestría. Al Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota del Instituto de Geografía, UNAM, por darme acceso a su sistema de escaneo de formato grande. A la Fundación Geoware de México y a NatQ Consulting por facilitarme licencias de programas de cómputo para ejecutar operaciones de cartografía digital y sistemas de información geográfica.

Hasta aquí la formalidad, la cual romperé mencionando a las personas que me acompañaron en la mayor parte de esta larga historia. El Dr. Enrique Cabral Cano, quien amablemente fue el director de esta tesis, me dio la oportunidad de trabajar en el Laboratorio de Cartografía Digital (CARDI) del Instituto de Geofísica y me brindó su confianza y paciencia fungiendo como tutor durante mi estancia en la maestría en Ciencias de la Tierra.

Los Drs. Jorge López Blanco y Luca Ferrari Pedraglio, quienes fueron miembros de mi comité de tutoría, y no conformes con eso, también aceptaron cordialmente ser parte del jurado de tesis. Siempre mostraron interés por esta investigación y realizaron una revisión muy detallada de la misma.

El Dr. José Luis Palacio Prieto también participó como miembro del jurado de tesis y efectuó acertadas reflexiones y observaciones.

La Dra. Lucia Capra, el M. en C. Armando García Palomo, el Dr. José Luis Macías Vásquez, así como los geólogos E. De Beni y Gianluca Norini, facilitaron cartografía digital e información geológica de campo relacionada con el Volcán Nevado de Toluca, la cual fue muy importante para integrar el Servidor de Mapas del FVM-SIG.

A pesar de la ayuda que me fue otorgada y del esfuerzo en conjunto, debo aclarar que los errores y omisiones son únicamente responsabilidad mía.

En la conspiración de este trabajo también participaron el Ing. Oscar Díaz Molina, el C. Dr. Rafael Candeau Dufat, el M. en C. Francisco Correa Mora, el Geóg. Jesús Díaz Salgado, el pasante de Ing. Mario Alberto Martínez Yáñez y el pasante de Geóg. José Ramón Serrano Monterrosas, quienes colaboraron ampliamente con su experiencia en discusiones técnicas, críticas y aportando datos e información invaluable.

Quiero hacer una mención especial a todos aquellos que tuvieron algo que ver en la narración de esta historia, el Dr. Oscar Campos Enríquez, Adolfo Ramírez y mis compañeros de Maestría.

A mis padres, Queta y Gabriel, quienes en todo momento me han brindado su apoyo y cariño. A mis hermanos, Chuy, Charo y Hectorás, quienes siempre me han ayudado en todas mis invenciones.

Finalmente, no puedo terminar estos agradecimientos sin mencionar a quien ha sido mi inspiración durante todo este tiempo, a Johanna Morales Whitney, por su apoyo incondicional, amor y paciencia. Sin su valiosa ayuda estas líneas jamás se hubieran escrito.

# ÍNDICE GENERAL

Índice de Tablas	xi
Índice de Figuras	xiii
Resumen	xv
Introducción	xvii
Objetivos	xxi
<b>1. SISTEMATIZACIÓN EN CARTOGRAFÍA Y SIG</b>	<b>3</b>
1.1 LA CARTOGRAFÍA EN LAS CIENCIAS DE LA TIERRA	3
1.1.1 Exigencias actuales de la Cartografía	4
1.1.1.1 <i>Paradigma Cognoscitivo</i>	5
1.1.1.2 <i>Paradigma Comunicativo</i>	5
1.1.1.3 <i>Paradigma tecnológico</i>	6
1.1.2 Elaboración de Cartografía en las Ciencias de la Tierra	7
1.1.2.1 <i>Datos</i>	8
1.1.2.2 <i>Propósito del mapa y usuarios: funcionalidad</i>	8
1.1.2.3 <i>Selección de la escala cartográfica</i>	9
1.1.2.4 <i>Representación selectiva</i>	10
1.1.2.5 <i>Claridad de la presentación</i>	10
1.1.2.6 <i>Métodos de representación</i>	10
1.1.2.7 <i>Explicación</i>	10
1.1.3 Variedad de mapas en Ciencias de la Tierra	10
1.2 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)	13
1.2.1 Programas de SIG vs programas relacionados con cartografía	14
1.2.2 Integración de datos	15
1.2.3 Productividad y análisis	15
1.2.4 Funciones de los SIG	15
1.2.4.1 <i>Captura y codificación de datos</i>	16
1.2.4.2 <i>Almacenamiento y manejo</i>	16
1.2.4.3 <i>Análisis y procesamiento</i>	19
1.2.4.4 <i>Representación de resultados</i>	20
1.2.5 Aplicaciones	21
1.3 ESTANDARIZACIÓN EN CARTOGRAFÍA DIGITAL	22
<b>2. ANÁLISIS DE CALIDAD CARTOGRÁFICA EN LA UNAM: FVM</b>	<b>27</b>
2.1 INTRODUCCIÓN	27
2.2 METODOLOGÍA	28
2.3 ANÁLISIS DE LAS TESIS	28
2.3.1 Tesis con cartografía	29
2.3.2 Principales Mapas	30
2.3.3 Evaluación de la Cartografía	30
2.3.3.1 <i>Elementos de Identificación</i>	33
2.3.3.2 <i>Elementos de la base matemática</i>	33
2.3.3.3 <i>Elementos de Representación Cartográfica</i>	35
2.3.4 Evaluación por Facultad	35
2.3.5 Evaluación Final	38
2.4 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA CARTOGRAFÍA INSTITUCIONAL	39



2.4.1 Evaluación Cartográfica	39
2.4.1.1 Elementos de Identificación	40
2.4.1.2 Elementos de la base matemática	40
2.4.1.3 Elementos de Representación Cartográfica	41
2.4.2 Evaluación por Institutos	41
2.4.3 Evaluación Final	44
2.5 DIAGNÓSTICO	45
3. BASES DE DATOS ESPACIALES	49
3.1 CONCEPTUALIZACIÓN, ANÁLISIS Y DISEÑO	49
3.1.1 Escalas, proyecciones y sistemas de coordenadas	49
3.1.1.1 Proyecciones para la captura de información	50
3.1.1.2 Coordenadas para la implementación de la base de datos	50
3.1.1.3 Proyecciones para la elaboración de mapas	51
3.1.2 Selección de datos e información requerida	54
3.1.3 Nomenclatura y codificación de la información	54
3.2 AUTOMATIZACIÓN	55
3.2.1 Importación y ligas directas	55
3.2.1.1 Formatos gráficos raster	55
3.2.1.2 Formatos gráficos vector	55
3.2.2 Digitalización	55
3.2.2.1 Preparación de los mapas fuente	56
3.2.2.2 Calibración	56
3.2.2.3 Consideraciones durante la digitalización	58
3.2.2.4 Codificación de Atributos y Diccionario de Datos	58
3.2.2.5 Topología	59
3.2.3 Barrido Óptico Electrónico (BOE)	61
3.2.3.1 Mapas	61
3.2.3.2 Fotografías aéreas	61
3.2.4 Vectorización	63
3.3 ADMINISTRACIÓN Y MANEJO	63
3.3.1 Corrección geométrica de imágenes	63
3.3.1.1 Distorsiones presentes en datos de sensores remotos	64
3.3.1.2 Operaciones de corrección geométrica de imágenes	64
3.3.1.3 ¿Cuándo aplicar la corrección geométrica de imágenes?	65
3.3.1.4 Georreferencia de imágenes	65
3.3.1.5 Rotación de la Imagen	66
3.3.2 Modelos estadísticos para la rectificación geométrica de imágenes	67
3.3.2.1 Imagen a Imagen	67
3.3.2.2 Imagen a Mapa	67
3.3.2.3 Conversión entre diferentes proyecciones y coordenadas	67
3.3.3 Selección de Puntos de Control en el Terreno (GCP)	67
3.3.3.1 Especificaciones para el método de Imagen a Mapa	68
3.3.3.2 Número adecuado de GCP	68
3.3.3.3 Predicción de la posición del GCP	68
3.3.3.4 Distribución de GCP	68
3.3.3.5 Aplicación y almacenamiento de los GCP	69
3.3.4 Opciones de transformación	69

3.3.5 Opciones de Remuestreo	70
3.3.6 Ortorrectificación	71
3.3.6.1 Aplicación de datos de altimetría en la rectificación	71
3.3.6.2 Ortorrectificación de datos de satélite y fotografía aérea	71
3.3.6.3 Parámetros críticos durante la orrorrectificación	72
3.3.7 Georreferencia con el método Input Geometry (IGM)	73
3.3.8 Catálogos de imágenes	74
3.3.9 Mosaico de imágenes	75
3.3.9.1 <i>Preparación de Imágenes</i>	75
3.3.9.2 <i>Imágenes multiresolución</i>	75
3.4 DISEÑO DE MAPAS Y PRODUCTOS CARTOGRÁFICOS	75
3.4.1 Identificadores	76
3.4.2 Evaluación de la exactitud cartográfica	76
3.4.2.1 Impresiones de prueba	76
3.4.2.2 <i>Exactitud y errores</i>	76
3.4.2.3 <i>Resolución espacial</i>	77
3.4.2.4 <i>Efecto de la escala cartográfica</i>	77
4. PROTOTIPO DEL SERVIDOR DE MAPAS DE LA FVM FVMSIG	81
4.1 INTEGRACIÓN DE INTERNET Y SIG	81
4.2 CONCEPTUALIZACIÓN DEL SISTEMA	82
4.2.1 Selección del Internet Map Server (IMS)	82
4.2.2 Arquitectura Cliente / Servidor	84
4.3 BASE DE DATOS DEL FVM-SIG	86
4.3.1 Formatos utilizados	87
4.3.2 Zonas Cartografiadas	88
4.3.3 Metadatos	88
4.4 SERVIDOR FVM-SIG	88
4.4.1 <i>Hardware</i>	88
4.4.2 <i>Software</i>	88
4.5 CLIENTE	89
4.5.1 Requerimientos	89
4.5.2 Diseño de la Interface del Cliente	89
4.5.3 Visualización y Exploración de Mapas	90
4.6 FUNCIONES DEL SISTEMA	92
4.6.1 Herramientas estándar de MapCafé	92
4.6.2 Botones Estándar de MapCafé	93
4.6.3 Botones Agregados	93
4.7 PROBLEMAS REPORTADOS	94
5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	99
5.1 METODOLOGÍA PARA LA INTEGRACIÓN DE LA BASE DE DATOS	99
5.2 CAPTURA, CONVERSIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE DATOS	100
5.2.1 Digitalización con tableta	100
5.2.2 Digitalización en pantalla	100
5.2.3 Barrido Óptico Electrónico (escaneo)	103
5.2.4 Vectorización	105
5.2.5 Mosaicos	106

5.2.5.1 Mapas	107
5.2.5.2 Modelos Digitales de Elevación	107
5.2.5.3 Imágenes de Satélite	108
5.2.5.4 Fotografía Aérea	110
5.2.6 Unión de archivos en formato vectorial	111
5.3 PROBLEMAS EN LA INTEGRACIÓN DE LA BASE DE DATOS	112
5.3.1 Problemas en las coordenadas originales	112
5.3.1.1 Carencia de coordenadas extremas	112
5.3.1.2 Manejo de la longitud como valores positivos	112
5.3.1.3 Identificación errónea de alguna coordenada extrema	113
5.3.1.4 Error en la estimación de coordenadas	114
5.3.2 Problemas en la digitalización	115
5.3.2.1 Utilización de coordenadas de tableta o arbitrarias	115
5.3.2.2 Reducción del número de dígitos de las coordenadas UTM	116
5.3.2.3 Utilización de coordenadas diferentes a la proyección	117
5.3.3 De origen diverso	117
5.3.3.1 Diferente escala en X y Y.	117
5.3.3.2 Asignación arbitraria de colores en mapas geológicos	118
5.3.3.3 Asociados con la técnica de integración y diseño del mapa	118
5.3.3.4 Polígonos abiertos	119
5.4 EJEMPLOS DE PRODUCTOS DERIVADOS DEL FVM-SIG	120
5.4.1 Raster sobre raster	120
5.4.2 Raster sobre vector	120
5.4.3 Fusión raster por raster	121
5.4.4 Derivados de un DEM	124
5.4.4.1 Algoritmo <i>Colordrape</i>	124
5.4.4.2 Algoritmo <i>Edge Shaded</i>	125
5.4.4.3 Algoritmo <i>Colordrape Shiny Look</i>	125
5.4.4.4 Algoritmo <i>DIP</i>	126
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	131
6.1 CONCLUSIONES	131
6.2 RECOMENDACIONES	133
REFERENCIAS	135
ANEXOS	A-1



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Mapas y planos clasificados por escala.	9
Tabla 1.2 Tipos de mapas de la cartografía aplicada que se elabora en Ciencias de la Tierra.	11
Tabla 1.3 Elementos de relevancia para la cartografía en la planeación de recursos hídricos y del uso del suelo.	13
Tabla 1.4 Características del formato raster.	17
Tabla 1.5 Características del formato vector	18
Tabla 1.6 Clasificación de las funciones analíticas de un SIG.	19
Tabla 1.7 Funciones básicas de un SIG para la sistematización de cartografía digital.	20
Tabla 1.8 Aplicaciones de SIG en Cartografía Digital.	21
Tabla 1.9 Aplicaciones de SIG en México.	22
Tabla 1.10 Componentes de Metadatos del FGDC – CSDGM.	23
Tabla 2.1 Principales tipos de mapas en la FVM	31
Tabla 2.2 Elementos de diseño cartográfico considerados en la evaluación de cada mapa.	32
Tabla 2.3 Elementos contenidos en los mapas.	32
Tabla 2.4 Frecuencia absoluta de los elementos de diseño cartográfico por facultad.	36
Tabla 2.5 Frecuencia relativa de los elementos de diseño cartográfico por facultad.	37
Tabla 2.6 Elementos contenidos en los mapas.	39
Tabla 2.7 Frecuencia absoluta de los elementos de diseño cartográfico por instituto.	42
Tabla 2.8 Frecuencia relativa de los elementos de diseño cartográfico por instituto.	43
Tabla 3.1 Etapas del desarrollo de una base de datos espacial.	49
Tabla 3.2 Parámetros de la Proyección Cónica Conforme de Lambert.	51
Tabla 3.3 Zonas UTM en México.	52
Tabla 3.4 Parámetros del Sistema de Coordenadas UTM.	53
Tabla 3.5 Opciones de calibración	57
Tabla 3.6 Principales características de los dispositivos de Barrido Óptico Electrónico.	61
Tabla 3.7 Relación entre la escala y la resolución de barrido de fotografía aérea.	62
Tabla 3.8 Relación entre la escala y la resolución de barrido de fotografía aérea.	63
Tabla 3.9 Principales distorsiones presentes en las imágenes de Sensores Remotos.	64
Tabla 3.10 Aplicaciones que requieren la corrección geométrica de imágenes.	65
Tabla 3.11 Métodos de corrección geométrica de acuerdo al tipo de imagen.	65
Tabla 3.12 Número recomendado de GCP según el orden del polinomio.	68
Tabla 3.13 Características principales de las opciones de remuestreo.	70
Tabla 3.14 Parámetros indicados en la Orientación Exterior.	71
Tabla 3.15 Comparación de rectificación por Triangulación y Polinomial vs Ortorrectificación para la generación de ortofotomosaicos.	73
Tabla 4.1 Inventario General de la Base de Datos del FVM-SIG.	87

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		
2.1.	Tesis de la UNAM relacionadas con la FVM, seleccionadas por disciplina (A), por institución (B) y por grado académico en porcentaje (C).	28
2.2.	Tesis de la UNAM relacionadas con la FVM y agrupadas por año.	29
2.3.	Tesis con cartografía de la FVM, agrupadas por disciplina (A) y por grado académico (B).	30
2.4.	Mapas evaluados agrupados por disciplina académica.	31
2.5.	Elementos de diseño cartográfico encontrados en los mapas.	33
2.6.	Histograma de las escalas empleadas en la cartografía de las tesis de la Faja Volcánica Mexicana.	34
2.7.	Mapas evaluados agrupados por facultad.	35
2.8.	Elementos de diseño cartográfico contenidos en los mapas según la Facultad.	36
2.9.	Histogramas de evaluación de los mapas en términos del número total de elementos presentes en los mismos por institución académica.	38
2.10.	Histograma de evaluación final de los mapas contenidos en las tesis de la FVM.	38
2.11.	Histograma de elementos contenidos en todos los mapas de los institutos.	40
2.12.	Histograma de las escalas empleadas en la cartografía de la FVM elaborada por los Institutos de Ciencias de la Tierra.	41
2.13.	Histograma de las escalas empleadas en la cartografía de la FVM elaborada por los Institutos de Ciencias de la Tierra.	42
2.14.	Histogramas de evaluación de los mapas en términos de los elementos presentes en los mismos por instituto.	44
2.15.	Histograma de la evaluación final de los mapas diseñados por Institutos.	44
4.1	Arquitectura del servicio de mapas implementado por el FVM-SIG a través del ArcView IMS.	85
4.2	Página principal del FVM-SIG.	90
4.3	Ventana de Internet Explorer 5 desplegando uno de los mapas disponibles en el FVM-SIG.	91
5.1	Geología Regional de la Cuenca de México. Ejemplo de un mapa digitalizado con tableta.	101
5.2	Zonificación Geomorfológica del volcán Nevado de Toluca. Ejemplo del mapa original (A) y del digitalizado con tableta (B).	101
5.3	Geología del Volcán Nevado de Toluca y áreas adyacentes, Centro de México. Ejemplo del mapa original (A) y del digitalizado en pantalla (B).	102
5.4	Segmento de la carta geológica de García-Palomo <i>et al.</i> (en prensa, Figura 5.3), a escala 1:50,000.	104
5.5	Carta Geológica de la República Mexicana. Ejemplo de la carta original (A) y de la re proyectada a coordenadas geográficas (B).	105
5.6	Segmento de la Carta Geológica de la República Mexicana en su escala original (1:2,000,000). Ejemplo de la carta con resolución de ~300 dpi (A) y ~200 dpi (B).	105
5.7	Segmento del mapa de Anomalía de Bouger. Ejemplo de vectorización semiautomática.	106
5.8	Segmentos de un mapa de Gravimetría. Ejemplo de un mapa de isolíneas mal elaborado que no califica para la vectorización.	106
5.9	Mosaico de la Carta Tectónica.	107
5.10	Altimetría para la Faja Volcánica Mexicana a partir del mosaico de Modelos Digitales de Elevación del GEMA.	108

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

5.11	Compuesto 7-4-1 (R-G-B ) de un mosaico de imágenes Landsat 5 TM. Cobertura al 90% de la Faja Volcánica Mexicana.	108
5.12	Mosaico de imágenes ASTER.	109
5.13	Ortofotomosaico de la Ciudad de México.	110
5.14	Unión de mapas geológicos.	111
5.15	Segmento del mapa de Zonificación Geomorfológica del Volcán Nevado de Toluca.	112
5.16	Geomorfología General del Volcán Nevado de Toluca.	113
5.17	Error en la estimación de coordenadas.	114
5.18	Rectificación con vértices geodésicos y bancos de nivel (BN).	114
5.19	Mapa digitalizado con coordenadas de tableta.	115
5.20	Ejemplo de un mapa digitalizado con un número de dígitos incorrecto.	116
5.21	Segmento del Mapa de Anomalías de Bouguer.	117
5.22	Leyenda del mapa Geología Regional de la Cuenca de México.	118
5.23	Errores asociados con la técnica de integración y diseño cartográfico.	119
5.24	Ejemplos de la técnica de superposición raster sobre raster.	120
5.25	Ejemplos de la técnica de superposición raster sobre vector.	121
5.26	Ejemplos de la técnica de fusión raster por raster utilizando un modelo sombreado del relieve.	122
5.27	Ejemplos de la técnica de fusión raster con raster utilizando un mapa topográfico y una imagen de satélite.	123
5.28	Sobreposición de rasgos derivados del mapa topográfico del INEGI a escala 1:250,000 sobre el compuesto 7-4-1 de la imagen Landsat 5 TM.	124
5.29	Ejemplo de procesamientos sobre el DEM GEMA.	125
5.30	Ejemplo del algoritmo <i>Colordrape Shiny Look</i> aplicado al DEM GEMA.	126
5.31	Ejemplo del algoritmo <i>DIP</i> (A) y de la fusión raster por raster de la altimetría con el <i>DIP</i> (B). Análisis realizado con el DEM GEMA.	127

<p>TESIS CON FALLA DE ORIGEN</p>
--------------------------------------

## RESUMEN

Se presenta una propuesta para sistematizar la elaboración de cartografía digital en Ciencias de la Tierra utilizando técnicas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Esta propuesta se generó a partir de la evaluación de una muestra representativa de cartografía en tesis de la Faja Volcánica Mexicana (FVM) elaboradas de 1980 a 2000, así como de otros materiales cartográficos editados por la UNAM. Este estudio permitió conocer indicadores relacionados con la calidad en el diseño y la composición de cartografía, principalmente geológica, geofísica y geomorfológica.

El análisis estadístico de los elementos cartográficos contenidos en los mapas se utilizó para estimar la calidad en el diseño cartográfico. De esta manera se detecta y discute la forma para solucionar las principales deficiencias y problemas potenciales al efectuar la transformación de la cartografía existente a formato digital, así como para realizar su compilación integrando una base de datos espaciales. Como resultado se elaboró una guía de procesos para la implementación y desarrollo de Bases de Datos Espaciales, la cual es de gran utilidad para generar nueva cartografía digital. También se analizan los principales errores encontrados en este proceso, para los cuales se proponen medidas preventivas y técnicas de solución. La validación de esta guía se hizo creando la base de datos del FVM-SIG, un SIG sobre la FVM que integra mapas producidos en la UNAM, así como datos espaciales del INEGI y otras instituciones. Para complementar este trabajo, el FVM-SIG también fue diseñado para promover la difusión de cartografía, ya que cuenta con un prototipo de Servidor de Mapas interactivos por medio de páginas Web (<http://jalapenio.igeofcu.unam.mx/cardi>). Este sistema representa un ejemplo de las posibilidades actuales de difusión y consulta, tanto de cartografía digital como de datos espaciales.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## INTRODUCCIÓN

El incremento en la población mundial, su concentración y la expansión tecnológica generan que la sociedad global imponga una demanda muy intensa sobre los recursos terrestres. En este sentido la fusión de la ciencia y la tecnología, así como su transformación eficaz en fuerza productiva inmediata, hacen inseparables las revoluciones en el ámbito científico y en el técnico. Las Ciencias de la Tierra no están ajenas a tal situación, en la actualidad se desarrollan en medio de una intensa transformación evidenciada por los nuevos instrumentos y medios que se emplean para la recolección, el análisis y la interpretación de datos, e incluso por la disponibilidad de resultados.

Uno de los más claros ejemplos lo constituye la cartografía temática en Ciencias de la Tierra, ya que representa una de las fuentes de información básica para diversos estudios. Es común que sus enfoques tradicionales se modifiquen o transformen para implementar técnicas novedosas. Estos cambios incluyen el uso de fotografías digitales e imágenes de satélite de alta resolución, captura de datos de campo con apoyo de receptores de sistemas de posicionamiento global (GPS), modelación numérica, mapas en archivos digitales, resultados con copias electrónicas y páginas Web de Internet (Seber *et al.*, 1997).

El término de producto cartográfico permite englobar no solo a los mapas, tal y como se conciben en la actualidad, sino a otras representaciones cartográficas. Imágenes generadas por computadora y desplegadas en dispositivos de alta resolución. Modelos dinámicos, donde los cambios se expresan no por signos de movimiento, sino por el propio movimiento (cambios en la cubierta vegetal, modelos de erosión, así como animaciones con modelos digitales de elevación). Videos interactivos integrados a la presentación multimedia de la cartografía de los paisajes y el medio ambiente. Atlas electrónicos en CD y páginas Web relacionados con la distribución de cartografía. Modelos de pronósticos y administración ambiental, entre otros más.

Por otra parte, los mapas y productos cartográficos convencionales se complementan con las posibilidades de representación y análisis de cartografía digital, la cual muestra el potencial de aplicación de programas de cómputo con funciones para la edición automatizada de mapas, así como para el análisis espacial.

En particular los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son los programas más usados para dichos propósitos. Con respecto a la cartografía tradicional algunas de sus ventajas son: simplificación de las tareas de edición, posibilidad de impresión en serie, disminución del tiempo de actualización, cuantificación automática, visualización tridimensional, modelación de procesos, así como reducción en el espacio de almacenamiento de los datos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Los SIG no surgen como un producto de las disciplinas cartográficas, sino como el resultado de la continua revolución científico-técnica y así el desarrollo logrado en la cartografía digital también es una consecuencia inevitable. Sin embargo, existen varios problemas que se relacionan con el crecimiento exponencial de los recursos geoinformáticos en todo el mundo, lo cual resulta en dificultades nuevas en la estructura y en el intercambio íntegro de datos. De hecho, las bases de datos espaciales son complejas y en poco tiempo llegan a tener una estructura desorganizada, debido a la carencia de estándares relacionados con las metodologías de captura, diseño, evaluación y actualización. Todo lo anterior se expresa en una mala calidad de los datos, formatos incompatibles y resultados imprecisos.

Por lo anterior, el proceso de información con fines cartográficos presenta graves dificultades de integración desde el punto de vista de su modelación. Lo cual ocasiona que la representación de la realidad termine en muchos de los casos inadecuada.

La mejor manera para reducir costos en la producción de cartografía digital consiste en utilizar datos ya existentes. Por lo tanto, es muy importante contar con bases de datos bien organizadas. El modelo conceptual de las mismas debe estar diseñado de manera que los usuarios puedan identificar con facilidad si los datos son adecuados para realizar una función específica en el SIG y/o elaborar un mapa determinado.

En esta disertación se analizan en particular los problemas de la cartografía que se realiza en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en el área de Ciencias de la Tierra. Dicha cartografía se ha elaborado principalmente en los Institutos de Geofísica, Geología y Geografía, así como en las Facultades de Ingeniería y Ciencias, la Unidad Académica de los Ciclos Profesionales y de Posgrado, así como el Colegio de Geografía (Facultad de Filosofía y Letras).

Para estas instituciones la Faja Volcánica Mexicana (FVM) ha sido un área de gran interés para el desarrollo de investigaciones, debido a la interacción que se establece entre la concentración de la población y sus actividades, con respecto a los procesos geodinámicos que ocurren en la zona.

En la FVM, de manera parcial o total, existen mapas en diferentes escalas, desde un marco regional hasta estudios a detalle. Los temas presentes en tales mapas son diversos, incluyen aspectos relacionados con las Ciencias de la Tierra, problemas ambientales y estudios socio-económicos. Los mapas en Ciencias de la Tierra se pueden agrupar por disciplina, por ejemplo: geofísicos, geológicos, geomorfológicos, edafológicos, hidrológicos, meteorológicos, etc. Sin embargo, en estos se tratan aspectos tan relevantes para la sociedad como: peligros volcánicos, sismicidad, yacimientos minerales, procesos de laderas, erosión, zonas propensas a inundación, contaminación ambiental y cobertura del suelo, entre muchos más.

Los científicos, profesores y alumnos de las instituciones mencionadas, como la mayoría de los usuarios de SIG, se enfrentan a varias preguntas que surgen cuando inician un nuevo proyecto y requieren hacer búsquedas entre los datos espaciales existentes, algunas de las más comunes son:

- ¿Cuáles datos están disponibles?
- ¿Se cubre el área de interés de manera completa?
- ¿Cuál es la calidad de los datos?
- ¿Son adecuados los formatos para los sistemas de cómputo implementados en la institución?
- ¿Quién tiene los derechos sobre su uso y cuáles son las restricciones?
- ¿Cómo se deben de generar nuevos datos?
- ¿Existen algunas normas para la elaboración de productos cartográficos?
- ¿Es posible estimar el error acumulado en un análisis?

Para dar una respuesta integral, este estudio propone sistematizar la elaboración de cartografía digital de la FVM en Ciencias de la Tierra, ya que esta región cuenta con varios antecedentes cartográficos y proyectos en ejecución. El estudio considera el establecimiento de un modelo con un soporte teórico-metodológico, basado en la elaboración y mantenimiento de la base de datos espacial, a partir de las funciones analíticas disponibles en programas comerciales de SIG. Además de promover la distribución de datos y mapas finales por medio del Web, en donde se presentarán ejemplos de aplicación.

Se pretende con esto eliminar una de las equivocaciones más comunes acerca del desarrollo de bases de datos de un SIG, al ser considerado éste casi exclusivamente como una herramienta para la elaboración de mapas. Aunque la mayoría de los resultados con un programa convencional de SIG adquieren la forma de productos cartográficos, sus funciones más potentes son de análisis espacial al buscar, recuperar, procesar, administrar y seleccionar bases de datos espaciales para un propósito específico. Por esto, el uso de SIG abre nuevas opciones para amplios estudios y posibilidades en la solución de problemas complejos relacionados con sistemas terrestres dinámicos e integrados. Las Ciencias de la Tierra, por su misma naturaleza, se sitúan entre las disciplinas más adecuadas para desarrollar aplicaciones óptimas de los SIG (Seber *et al.*, 1997).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## OBJETIVOS

- Objetivo General

Sistematizar la cartografía digital de la Faja Volcánica Mexicana a través de las funciones disponibles en los sistemas de información geográfica (SIG), así como difundir algunos ejemplos de esta cartografía por medio del Web.

- Objetivos Específicos

1. Explicar las principales características de la cartografía en las Ciencias de la Tierra, así como las funciones de los SIG aplicadas en la estandarización cartográfica.
2. Realizar un diagnóstico de la situación actual de la cartografía de la FVM elaborada en la UNAM, incluyendo materiales cartográficos bajo el enfoque de las Ciencias de la Tierra (en especial geología, geofísica y geomorfología).
3. Elaborar una guía de procesos para normalizar el desarrollo de bases de datos espaciales que permitan la integración automatizada de cartografía digital en las Ciencias de la Tierra.
4. Diseñar el prototipo de un sitio Web para la difusión de datos espaciales y cartografía de la FVM.
5. Analizar las técnicas de digitalización y automatización de procesos cartográficos, así como discutir los principales problemas detectados durante el desarrollo de cartografía digital a partir de mapas en papel.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

# **CAPÍTULO 1**

## **SISTEMATIZACIÓN EN CARTOGRAFÍA Y SIG**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## 1. SISTEMATIZACIÓN EN CARTOGRAFÍA Y SIG

En este capítulo se presenta el marco teórico de la cartografía en las Ciencias de la Tierra: los paradigmas y las exigencias actuales, así como los aspectos a considerar en la elaboración de mapas. Se explica la importancia de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la sistematización de cartografía digital con énfasis en las bases de datos espaciales y en las funciones que se relacionan con la estandarización cartográfica. Finalmente se presenta la situación actual de las iniciativas internacionales para la estandarización de datos espaciales.

### 1.1 LA CARTOGRAFÍA EN LAS CIENCIAS DE LA TIERRA

Un amplio rango de presiones sociales, económicas y políticas afectan la forma en que el desarrollo toma lugar. En muchas partes del mundo se ha elevado la demanda por los recursos terrestres como respuesta al incremento de la población. El uso intensivo del suelo y los asentamientos humanos irregulares pueden exponer a las poblaciones a peligros tales como la inestabilidad de laderas, inundaciones y erupciones volcánicas; además las actividades humanas pueden introducir también amenazas mayores y generar condiciones de riesgo. Sin embargo, en algunos sitios los proyectos de desarrollo se han restringido por iniciativas para conservar el ambiente natural. De esta forma la planeación del uso del suelo y el control del desarrollo pretenden encontrar el mejor balance posible entre los intereses sociales, económicos y ambientales (Marker y McCall, 1989).

En este contexto los mapas que se elaboran en las Ciencias de la Tierra representan un importante medio de comunicación científica, y algunos de los usuarios son aquellos que se encargan de la toma de decisiones. En general, la cartografía en las Ciencias de la Tierra se puede ubicar dentro del marco conceptual del ambiente, pero se encuentra desorientada en su intento por modelar, de forma coherente y sistémica, en el espacio y en el tiempo, las múltiples relaciones entre las variables geofísicas y ambientales con los intereses de la sociedad. De hecho, este tipo de cartografía aún no se ha definido en forma integral debido a sus variadas características y aplicaciones (Majithia, 1997), precisando de un soporte teórico-metodológico que comprenda los principios básicos sobre los cuales continuar con su desarrollo.

Según García de Castro (1995), quizás la forma correcta de afrontar la problemática de tal cartografía lo sea enfocándola a través de los paradigmas actuales; y a partir de esta concepción conciliadora, cambiar su orientación. Sin duda dentro de esta perspectiva, es que se presenta la posibilidad de evaluar cuáles son las exigencias planteadas en la elaboración de cartografía y, en función de ellas, establecer los compromisos y retos.

La manera más sencilla de referirse a la cartografía es por su objetivo, es decir la concepción y realización de productos cartográficos. Desde 1968 la Asociación Internacional de Cartografía definió que esta disciplina comprende el conjunto de estudios y operaciones científicas, artísticas y técnicas que intervienen, a partir de los resultados de las observaciones directas o indirectas, en el establecimiento de mapas, planos y otras formas de expresión espacial, así como en la utilización de los mismos (Silva-Romo, *et al.*, 2001; <http://www.fes.uwaterloo.ca/crs/geog165/cart.htm>).

El trabajo cartográfico tiene como finalidad presentar y dar a conocer las características y propiedades de la superficie terrestre por medio de diferentes productos tales como mapas, ortofotos, secciones, diagramas, imágenes georreferidas, escenas de video, y animaciones por computadora, entre otras (Cartwright, 1997; Fairbairn y Parsley, 1997; Haerberling, 2000; Pouch, 1997 y Schetselaar, 1995). Además de ser éstos correctos y precisos, representan todos los elementos en forma estética, guardando cierta armonía y resaltando su contenido.

Sin embargo, los principales productos de la cartografía han sido los mapas, ya que constituyen la imagen o representación de una región en particular y un medio eficiente para registrar, calcular, revelar, mostrar, analizar y comprender las relaciones espaciales que existen entre los fenómenos localizables, ya sean concretos o abstractos. Por esta razón, se presentan a continuación diferentes consideraciones que hacen énfasis sobre mapas, pero su aplicación a otras expresiones cartográficas digitales es directa.

La confección, utilización y estudio de los mapas dirigidos a cartografiar aspectos sobre las Ciencias de la Tierra, se puede analizar por una parte como un modelo cognoscitivo de la realidad, al procurar nuevas informaciones sobre el objeto trascendente de estudio, y por otra, se presenta como un canal de información que establece una comunicación, produciendo un efecto. Mientras más objetivo sea este efecto de comunicación, mejor y más completa será la idea que se forme el usuario de la realidad modelada y podrá, en consecuencia, establecer criterios de acción más acertados sobre dicha realidad.

En ambos paradigmas, cognoscitivo y comunicativo, y en la integración de sus métodos, la influencia de las tecnologías actuales es incuestionable. Sin duda el efecto más espectacular es la inmediatez en la captura, procesamiento, administración y distribución de grandes volúmenes de información.

#### 1.1.1 Exigencias actuales de la Cartografía

Para determinar las exigencias de la cartografía en Ciencias de la Tierra se presentan a continuación diferentes reflexiones a partir de las consideraciones teóricas de García de Castro (1995) y García de Castro *et al.*, 1994 (en: Candeau-Dufat, 1994), las cuales se refieren respectivamente a la cartografía de productos complejos y a la cartografía del ambiente.

### 1.1.1.1 Paradigma Cognoscitivo

El paradigma cognoscitivo proviene del propio carácter científico de las investigaciones, las cuales precisan de una modelación cartográfica de la realidad. El núcleo teórico y metodológico de este enfoque está constituido por los problemas de la cartografía sintética, los métodos de investigación y la representación cartográfica, así como la generalización científica. Sin embargo, el carácter científico de la cartografía a veces llega a tener consecuencias negativas, ya que con frecuencia sus productos se utilizan para la divulgación masiva de la información, fuera del marco de los usuarios especializados y sin otro tratamiento que los adapte para este fin (sección 1.1.2.2).

Es importante aclarar que los conocimientos cartográficos no suplen a los conocimientos que se deben tener sobre el tema específico del mapa. Para leer mapas específicos es necesario contar con algunos conocimientos sobre el tema.

### 1.1.1.2 Paradigma Comunicativo

La información incluida en los mapas y otros productos cartográficos se debe comunicar en forma conveniente, las exigencias del paradigma comunicativo se refieren al mejoramiento de los métodos de comunicación gráfica y se relacionan con las ciencias y tecnologías de la información. Doornkamp (1989) establece que el propósito principal de cualquier mapa es proveer información. Esta propiedad depende tanto del contenido del mapa como de la forma de presentación. El mapa se usa para comunicar información acerca de las condiciones del terreno (origen, propiedades, distribución, extensión y relaciones espaciales).

Otra faceta de este paradigma es la urgente necesidad de la divulgación con fines educativos; en especial sobre la superficie de la Tierra y los procesos geodinámicos. Los mapas constituyen así una fuente de documentación, representan un gran instrumento pedagógico porque motivan al usuario y facilitan la comprensión de los problemas que se analizan.

Además, este enfoque aprovecha cada vez más las ventajas tecnológicas de distribución, integración y consulta de datos que ofrecen en todo el mundo las redes de computo (Thoen, 1995). En la actualidad, existen diferentes páginas web que incluyen cartografía en formato digital (por ejemplo Collins *et al.*, 2001; Richard, 2000 y Su *et al.*, 2000). Las universidades centros de información y empresas privadas diseñan dichos sitios web con información espacial en forma de mapas, imágenes georreferidas y bases de datos. El *World Wide Web* (www) tiene un gran impacto en la comunicación cartográfica y por esta razón se analiza con detalle en el capítulo 4.

En términos generales, sobre la relación con las ciencias y técnicas de la información, al interpretar un material cartográfico se recibe un mensaje, este fue generado por el productor del mismo, quien a partir de la información recabada y sus conocimientos sobre técnicas en cartografía, transmite una realidad que ha observado sobre el

terreno en forma directa o mediante el uso de instrumentos. Un material cartográfico bien diseñado transmitirá el mensaje en forma clara y requerirá del receptor un mínimo de conocimientos cartográficos. Pero, si bien esto es válido para el usuario común, no es suficiente para el usuario especializado y aquellos profesionales que requieran consultar información cartográfica. Para estos últimos es conveniente que amplíen sus conocimientos en cartografía.

Sin embargo, la cartografía no es efectiva si solo se apoya en la metodología de la comunicación. El criterio de significado es imprescindible para una decisión sobre el contenido de los mapas, de esta forma los paradigmas cognoscitivo y comunicativo se complementan, no se excluyen.

MacEachren (1995) establece que se requiere de una nueva visión del papel artístico (comunicativo) y científico (cognoscitivo) de la cartografía. Probablemente es un error considerar a los mapas como objetos con diversos contenidos científicos o artísticos para los cuales se determina un balance apropiado. Por el contrario, tiene más sentido considerar los paradigmas de la cartografía como complementarios para estudiar y mejorar los mapas, ambos pueden ser aplicados a cualquier problema cartográfico dado. Lo importante es destacar la importancia del entendimiento de la representación como un concepto fundamental en el estudio de los mapas. Un mapa no se examina sólo como un vehículo de comunicación, sino como un medio con muchas representaciones de fenómenos en el espacio, que el usuario puede considerar como una fuente de información, como un instrumento auxiliar para la toma de decisiones, o como expresión del comportamiento de la superficie terrestre.

### *1.1.1.3 Paradigma tecnológico*

La información que contienen los productos cartográficos requiere actualización, porque con frecuencia se representan procesos de gran variedad temporal, o también porque lo representado en ellos nunca se acaba de estudiar. Además cambia la manera de representar los elementos concretos o abstractos, como consecuencia del desarrollo tecnológico y las nuevas técnicas que se emplean para su elaboración.

La aplicación de computadoras en la cartografía ha originado una serie completa de productos. En general, el uso de computadoras brinda nuevos tipos de mapas y medios de despliegue. La visualización científica permite la generación de mapas, cuyos territorios se pueden recorrer en forma virtual (Clarke, 1995; Blaser *et al.*, 2000). Los científicos y cartógrafos comienzan a explotar las herramientas y métodos de nuevos medios interactivos de tecnologías multimedia (Haeberling, 2000), así como de técnicas de visualización en 3D. Lo anterior para mostrar de una manera más real la distribución espacio-temporal y los patrones ocultos (Fairbairn y Parsley, 1997; Huang y Lin, 1999; Lees, 2000; Lin *et al.*, 1999; Schetselaar, 1995).

En la actualidad, se manifiesta la irrupción de nuevas tecnologías de fotogrametría digital (Powers *et al.*, 1996), sensores remotos con mayor resolución (espacial, espectral, radiométrica y temporal), visualización científica (Marschallinger, 2001) y sistemas globales de posicionamiento (GPS) de alta precisión.

De la geoinformática se sirve con provecho el diseñador cartógrafo y ese beneficio se dirige a campos muy diversos, desde la captura y edición hasta la publicación, y desde el dibujo hasta la visualización en perspectiva y en tres dimensiones. Sin embargo, algunos efectos negativos de esta tecnología se refieren al mayor entrenamiento técnico que los cartógrafos deben de adquirir. La cartografía digital exige de cartógrafos con sólidos conocimientos en bases de datos, ingeniería de *software*, programación y redes, además de contar con experiencia en diversos ambientes de cómputo, sistemas operativos y programas específicos de diseño asistido por computadora (CAD), tratamiento de imágenes, fotogrametría, sistemas de información geográfica (SIG), técnicas para la toma de decisiones y geoestadística, entre otras.

En especial, la tecnología de SIG se utiliza para la integración, administración y análisis de datos espaciales, por esto los productos cartográficos de un SIG merecen especial atención. Estos deben cuidar aspectos tan importantes como la generalización y la síntesis, que no es una mecánica de componentes, sino un resultado cartográfico que expresa un producto cualitativamente distinto. Por ejemplo, un mapa elaborado a partir de otros como anomalías gravimétricas, anomalías magnéticas, estratigrafía, eventos sísmicos, estructuras disyuntivas, unidades geomorfológicas, etc.

En suma, la cartografía exige inmediatez, la posibilidad de brindar información en el tiempo necesario para tomar decisiones es el reclamo más decisivo para los productos cartográficos. Por esta razón, el uso de computadoras se presenta como una opción tecnológica viable para la elaboración y distribución de cartografía, ya que cuando las bases de datos espaciales se combinan con redes de cómputo es posible distribuir dicha cartografía y realizar análisis espacial, con lo cual los datos originales se transforman en información disponible para la toma de decisiones.

### 1.1.2 Elaboración de Cartografía en las Ciencias de la Tierra

La elaboración de mapas es selectiva e interpretativa, a partir de una serie de generalizaciones de grandes cantidades de datos. Sin embargo, en términos absolutos la cantidad de datos y la inferencia variarán mucho. En la cartografía que se elabora en las Ciencias de la Tierra los aspectos más importantes para su representación y adecuada comunicación son la estructura de la información (tipo, cantidad y exactitud) y la funcionalidad (propósito por el cual se diseña el material).

A continuación se presenta una integración de los principales aspectos a considerar en la elaboración de cartografía en las Ciencias de la Tierra, especialmente en formato digital, (Marker y McCall, 1989; Clarke, 1995 y Robinson *et al.*, 1995).

### 1.1.2.1 Datos

Los datos en las Ciencias de la Tierra se pueden obtener de fuente primaria, tal es el caso de la cartografía directa de campo con levantamientos topográficos y GPS, o de la evaluación indirecta del terreno por medio de interpretación de fotografía aérea e imágenes de satélite, de fotogrametría o de exploración geofísica. En el caso de la captura de muestras, éstas se pueden recolectar y sujetar a un análisis de laboratorio, así como a la realización de pruebas para determinar su composición química o propiedades físicas. Además, existen datos de fuentes secundarias, ya sea publicados o no. La adquisición e interpretación de los mismos puede suplir la captura de fuentes primarias y proveer información derivada, la cual sería más costosa si se obtiene por nuevas investigaciones en campo.

Estos datos presentan características geográficas específicas tales como: localización, cantidad, dimensión y continuidad. Además tienen propiedades fundamentales como objetos de representación cartográfica: tamaño, distribución, patrón, adyacencia, conectividad, vecindad, forma, escala y orientación (Clarke, 1995).

Por otra parte, además de los datos espaciales, en la cartografía se incluyen atributos o información no espacial, la cual residirá en forma de bases de datos.

### 1.1.2.2 Propósito del mapa y usuarios: funcionalidad

El propósito del mapa se establece en función del usuario y es el que rige la elaboración del mapa. A él se subordinan la escala, el contenido y la edición; y es imprescindible que sea correctamente definido por el cartógrafo antes de comenzar la elaboración de cualquier mapa o producto cartográfico. Los materiales cartográficos responden a los requerimientos y necesidades de los usuarios como razón fundamental de su existencia.

El propósito de cualquier documento cartográfico se relaciona también de modo directo con la generalización de los fenómenos que se representan en los materiales cartográficos. Si una escala no es capaz de soportar un contenido y los temas incluidos responden correctamente al objetivo, entonces hay que cambiar la escala y escoger una más adecuada, que responda a la necesidad planteada.

Aunque los mapas generales pueden estar disponibles a un gran público (por ejemplo los mapas geológicos), también pueden ser de valor limitado para muchos usuarios potenciales ya que algunos llegan a ser tan complejos que requieren la interpretación de un especialista. Para muchos usuarios es mejor si el mapa provee datos en una forma y terminología común, lo cual conduce a que se refiera a un problema o sitio particular.

Según Doormkamp (1989), en la cartografía de las Ciencias de la Tierra existe un problema común, el cual consiste en que los datos y la información generada algunas veces se confunden, ya que se incluyen en el mismo mapa. Lo anterior dificulta al

usuario para distinguir entre datos e información, especialmente si el usuario no cuenta con una formación en Ciencias de la Tierra. Esta dificultad ha conducido a la producción de diferentes estilos de mapas: los orientados a especialistas en un tema (por ejemplo, mapas geotécnicos), y los dirigidos a profesionistas de otras disciplinas (por ejemplo, los mapas que muestran condiciones del terreno para propósitos de desarrollo).

### 1.1.2.3 Selección de la escala cartográfica

La escala cartográfica es la proporción entre una distancia registrada en un material cartográfico y la distancia en el mundo real. Aunque es normal considerar un valor simple de escala, la naturaleza matemática de algunas proyecciones cartográficas es tal que la escala variará de un punto a otro. Si esto resulta significativo o no, dependerá del tipo de proyección y la extensión de la superficie terrestre representada.

Los mapas se han clasificado en función de la escala cartográfica. En general, si la escala numérica del documento es mayor que 1:2,000 entonces es un plano y en escalas más pequeñas es un mapa (Tabla 1.1).

Mapas sinópticos o de escala pequeña	1:100 000 y más pequeño
Mapas de escala media	1: 25 000 - 1: 50 000
Mapas de escala grande	1: 10 000 - 1: 25 000
Mapas detallados	1: 2 000 - 1: 5 000
Planos de sitio	Mayores que 1 : 2 000

Sin embargo, los nombres propuestos en la Tabla 1.1 para las escalas cartográficas de los mapas son en cierta forma relativos, ya que dependen de diferentes factores relacionados con la escala geográfica en la cual se presenta el fenómeno de estudio. En México se utilizan más las escalas cartográficas 1:50,000 y 1:250,000, debido a que el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) cuenta con mapas topográficos en dichas escalas.

En general, la escala cartográfica tiene gran influencia tanto en la claridad como en el contenido de los mapas finales, ambos factores afectan la información dirigida al usuario del mapa. La escala no solo se refiere al tamaño del área a ser proyectada, sino que también afecta la exactitud con la cual se muestra la localización de la información. En consecuencia, esta propiedad determina cuanto es posible mostrar en forma razonable.

El conocimiento de la escala de un mapa es un parámetro básico en la ausencia de otros datos sobre la exactitud. La escala de un mapa también tiene aplicaciones para el nivel de generalización y algunas veces se utiliza para sustituir datos explícitos sobre la exactitud.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Por lo anterior, mapas a gran escala cartográfica basados en datos relativamente inexactos, pueden dar un sentido falso de exactitud. Por otra parte, mapas para propósitos de planeación general con frecuencia están mejor diseñados en escalas relativamente pequeñas, aún si la base de datos es abundante y precisa, ya que los patrones que resultan importantes son los regionales más que los detalles locales.

#### *1.1.2.4 Representación selectiva*

Entre más información se incorpora dentro de un mapa, más saturado y difícil será para leer; además un grado de selectividad resulta esencial. Aquí se requiere de precaución, ya que la selectividad puede revelar más acerca de los sesgos o tendencias del diseñador del mapa, que de la distribución representada en el mismo.

#### *1.1.2.5 Claridad de la presentación*

La evidencia de desorden es sólo parte de un problema más amplio de claridad el cual se relaciona con la elección de símbolos, el uso de colores, el tipo de trabajo y los elementos decorativos.

#### *1.1.2.6 Métodos de representación*

Los datos espaciales pueden representar en la zona cubierta por el mapa: puntos, líneas o áreas. Aunque también pueden variar, por ejemplo, un punto en determinada escala puede llegar a convertirse en la representación de área para otra escala más grande. La misma información se puede representar como puntos sobre el mapa, ya sea en anotación o codificada por medio de símbolos, o se puede generalizar, por ejemplo, por isolíneas, sombreados y áreas con características de los valores medidos.

#### *1.1.2.7 Explicación*

Un elemento muy importante dentro del diseño cartográfico, ya que necesita las consideraciones más cuidadosas, es la leyenda y la simbología que constituyen la explicación del mapa. Si ésta es clara y la clasificación es sencilla, entonces el mapa estará cumpliendo adecuadamente la exigencia de comunicación.

#### *1.1.3 Variedad de mapas en Ciencias de la Tierra*

Doornkamp (1989) señala que los mapas más comunes en las Ciencias de la Tierra después de los topográficos son los geológicos y edafológicos. Aunque cada vez más se utilizan también sobre geomorfología, hidrología o condiciones geotécnicas. En suma, existen muchos ejemplos de mapas que muestran una serie restringida de información (mapas de estructura geológica, deslizamientos de laderas, suelos arcillosos, tierras sujetas a inundación, isopacas, etc.)



Según Marker y McCall, (1989) los mapas más tradicionales en las Ciencias de la Tierra pueden ser los geológicos con unidades litoestratigráficas o cronoestratigráficas. Además de estos mapas existen varios más, sin embargo, son aludidos por una amplia variedad de términos que algunas veces resultan confusos. La Tabla 1.2 muestra los principales tipos de mapas aplicados y es una buena expresión de la gama de productos cartográficos en Ciencias de la Tierra.

Tabla 1.2 Tipos de mapas de la cartografía aplicada que se elabora en Ciencias de la Tierra (Modificada de Marker y McCall, 1989)	
Nombre	Descripción
Mapas de Ciencias de la Tierra (aplicados)	Mapas geológicos, geomorfológicos, hidrogeológicos, geoquímicos, geofísicos y otros, para asistir en la solución de problemas prácticos; se presentan como series, algunas veces con mapas síntesis para propósitos específicos como la planeación del uso del suelo.
Mapas de uso potencial / Aptitud del uso de suelo	Mapas que muestran los recursos y el potencial para la explotación sostenible del suelo.
Mapas de ingeniería geológica	Una serie de mapas de Ciencias de la Tierra aplicados, que tratan sobre problemas de ingeniería.
Mapas temáticos	Mapas, de Ciencias de la Tierra o de otras disciplinas, dedicados en forma exclusiva a tratar aspectos especializados en un solo tema.
Mapas sintéticos	Mapas interpretativos basados en uno o más mapas temáticos (elementales), sintetizan diferentes tipos de información relevante para un solo propósito.
Mapas de factor limitante (restricción)	Mapas temáticos que indican las limitaciones o restricciones sobre el uso de un recurso o del suelo.
Mapas de peligros / amenazas	Mapas temáticos que muestran la extensión conocida y tipología de peligros en cierta área.
Mapas de riesgo	Mapas que intentan cuantificar la probabilidad de ocurrencia de daños de un tipo y tamaño dado.
Mapas de recursos	Mapas temáticos que indican la naturaleza, extensión y calidad de recursos, (incluyendo los del subsuelo).

Otros ejemplos de clasificación de mapas geológicos se pueden encontrar en Majithia (1997).

Por otra parte, con respecto a los recursos terrestres cada uno implica diferentes parámetros por cartografiar. La Tabla 1.3 resume los diferentes elementos que son relevantes para el manejo del agua, así como para la planeación del uso de suelo. Esta tabla es solo una lista de ejemplos, se debe notar que varios factores se encuentran en más de una categoría, lo cual es producto de la complejidad de la superficie terrestre.

Como ejemplo de la cartografía en Ciencias de Tierra elaborada en México, en el capítulo 2 se presenta una síntesis sobre la producción cartográfica de la UNAM en la Faja Volcánica Mexicana. También se incluye un análisis estadístico de los elementos cartográficos presentes en dicha cartografía.

Tabla 1.3. Elementos de relevancia para la cartografía en la planeación de recursos hídricos y del uso del suelo (Lewis, 1989; en: McCall y Marker, 1989).

<i>Meteorológicos</i>	<i>Geológicos</i>
Precipitación	Tipo de suelo
Evapotranspiración	Litoestratigrafía
Precipitación Efectiva	Estructura
Calidad de la precipitación	Isolíneas estructurales
Temperatura	Deslizamientos de tierra
Estaciones climáticas	<i>Hidrogeológicos</i>
<i>Geográficos</i>	Niveles potenciométricos
Relieve	Dirección de flujo del agua subterránea
Inclinación de las pendientes	Monitoreo de pozos
Gradiente en ríos	Transmisividad
Distribución de la vegetación	Permeabilidad
Tasa de erosión	Porosidad
Uso de suelo	Rendimiento específico
Calidad del suelo agrícola	Capacidad específica
Áreas bajo irrigación	Calidad del agua
Densidad de población	Recursos de agua
<i>Hidrológicos</i>	Capacidad de reservorios
Red de drenaje	Tasa exitosa de pozos
Densidad de drenaje	Rendimiento promedio / mediano
Ríos perennes, efímeros e intermitentes	Uso del agua
Rasgos de drenaje artificial	<i>Relacionados con la Contaminación</i>
Glaciares	Contaminantes potenciales
Cobertura de nieve	Espesor, zona insaturada
Áreas de permafrost	Permeabilidad, zona insaturada
Áreas drenadas	Tiempo de recorrido a través de zona insaturada
Tasas de flujo	Áreas de protección
Flujos mínimos deseables	<i>Geotérmicos</i>
Variaciones en flujo	Manantiales termales
Estaciones	Isotermas
Calidad del agua	Flujos de calor
Manantiales	Granitos radiotérmicos
Rasgos de karst	Cuencas sedimentarias profundas
Riesgo de inundaciones	Potencial de campos geotérmicos
Riesgo de sequía	Cambios litológicos con la profundidad
Índice de flujo base	
Sitios de potencial hidrológico	

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## 1.2 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

Uno de los resultados de la cartografía automatizada ha sido el auge de la cartografía analítica. La automatización permite el manejo de grandes series de datos espaciales desde los cuales se pueden extraer diversos parámetros, ya sea por separado o en combinación con otros factores. La automatización también ha provisto las herramientas analíticas que han fomentado la derivación de los SIG. Aunque la cartografía analítica y los SIG cuentan con la misma tecnología, los SIG van más allá. Usando la tecnología de los SIG es posible ejecutar diferentes operaciones.

Para conocer las funciones de los SIG en la sistematización de cartografía primero se requiere hacer una revisión de los conceptos más importantes. Las múltiples definiciones de los SIG se pueden agrupar bajo tres perspectivas:

- ✓ SIG como programa informático
- ✓ SIG como proyecto y sistema de información orientado a la administración territorial.
- ✓ SIG como ambiente de trabajo de múltiples disciplinas profesionales con énfasis en el análisis espacial.

Como programa informático se hace referencia a productos comerciales, tales como Arc/Info y ArcView GIS. El énfasis se realiza en los programas informáticos y no en el resto de los componentes del sistema de información.

La segunda acepción considera que un SIG es un todo, un dispositivo integrado por componentes fundamentales (*software* de SIG, *hardware*, datos, personal especializado y procedimientos). Como ejemplo de esta perspectiva el manual del *National Center for Geographic Information and Analysis* (NCGIA) de Estados Unidos define un SIG como «un sistema de *hardware*, *software* y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, administración, procesamiento, análisis, modelación, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión» (Goodchild y Kemp, 1990). Por estas características los SIG son, en algunos casos, simultáneamente, un Sistema de Información y un Sistema de Apoyo a la Decisión.

La tercera acepción sirve para denominar un campo profesional y científico en el que entra un grupo muy amplio de profesiones. El sector SIG es una comunidad de agentes ligados a los negocios, a la tecnología y en general a la disciplina de la geomática. Este grupo utiliza un recurso privilegiado para el análisis, la planificación y la administración territorial, y por lo mismo requiere cada vez más de especialistas capacitados en la solución de problemas geográficos y dispuestos a entender el uso óptimo de esta tecnología (Tomlinson, 1999).

El sector SIG toma forma en diferentes enfoques o puntos de vista más o menos excluyentes, los más importantes son: cartográfico, bases de datos y análisis espacial (Maguire *et al.*, 1991; Comas y Ruiz, 1993).

El cartográfico, que es el marco de referencia principal de este estudio, se basa en concebir un SIG como una herramienta para el manejo de cartografía, así como para la modelación cartográfica. La producción cartográfica determina los datos por incluir, la estructura de la base de datos y la forma de representación. Este enfoque es propio de organismos productores de cartografía digital o analógica oficial y ha sido difundido por autores como Berry (1987), Tomlin (1990) y Jones (1997).

El segundo enfoque entiende un SIG como un tipo especial de bases de datos. El énfasis está puesto en las características y el funcionamiento de la base de datos, y es un punto de vista propio de organismos dedicados al uso de información geográfica para la administración territorial; algunos de los autores que respaldan este enfoque son Laurini y Thomson (1992), Guimet (1992) y Samet (1990a, 1990b). En este estudio se considera la adecuada estructuración de las bases de datos espaciales como parte fundamental de la cartografía digital en el ambiente de un SIG.

El tercer enfoque es el que concibe los SIG como sistemas capaces de poner en práctica el análisis espacial, siendo éste un punto de vista muy extendido entre las entidades dedicadas al estudio y análisis del territorio; es una visión propia de universidades, de centros de investigación y de departamentos de planeación; este último punto de vista está presente en los trabajos de autores como Goodchild *et al.* (1992), Openshaw (1989) y Ottens (1990). En este estudio se considera que las funciones analíticas de los SIG le brindan valor agregado a la cartografía digital generada con estos sistemas.

### 1.2.1 Programas de SIG vs programas relacionados con cartografía

A finales de la década de los ochenta, los programas de SIG se diferenciaban mucho de cualquier otro relacionado con la cartografía. Lo más característico de un SIG era su capacidad de análisis, de generar nueva información de un conjunto previo de datos mediante su procesamiento y reelaboración. Por lo tanto, un SIG era bastante más que un sistema de diseño asistido por computadora (CAD/CAM), lo cual se debía a la capacidad de relacionar elementos gráficos (puntos, líneas y polígonos), con los elementos de una base de datos temáticos. Las diferencias con los programas de cartografía asistida por computadora hacían énfasis en su posibilidad de manejar más de un conjunto de elementos gráficos al mismo tiempo y, sobre todo, en la capacidad de construir nuevos datos a partir de los ya existentes, lo cual era poco habitual en los programas de este tipo (Dueker, 1987; Cowen, 1987).

Por otra parte, con el paso de los años se incrementó el procesamiento digital de imágenes de satélite. Con lo cual se desarrollaron programas específicos de percepción remota, integrados o no en los SIG, cuya serie de funciones actuales son: restauración, arreglo de datos; realce, producción de una imagen con mejor calidad; clasificación, extracción de nueva información; análisis biofísico, correlación de los datos de la imagen con parámetros físicos y biofísicos; finalmente, fusión e integración con datos de SIG para derivar cartografía actualizada.

En la actualidad las necesidades de intercambio de información entre los diversos programas, obligan a cada uno a incluir funciones básicas de los otros, en especial de salidas cartográficas de calidad, así como de importación y exportación de archivos. Además los requerimientos de *hardware* son muy similares en todos los programas. Por lo tanto, las fronteras entre cada uno se hacen cada vez más difusas, aunque se mantienen sus aplicaciones principales.

### 1.2.2 Integración de datos

Un SIG permite la integración de datos que se pueden registrar geográficamente. La integración se logra con la georreferenciación de todos los datos, la cual puede ser de forma directa (por coordenadas) o indirecta (por indicadores relativos tales como la segmentación dinámica). Esta integración representa invertir menos tiempo en buscar, encontrar, elaborar y entregar una unidad de información, para dedicar más tiempo al análisis, pudiendo utilizar el diferencial en una mejor aplicación y en el uso de esta información. Por lo anterior, la integración tiene efectos predominantemente productivos (Comas y Ruiz, 1993).

Por otra parte, la integración tiene su más firme base en la capacidad de agregar y desagregar los datos, en poderlos analizar en un tiempo suficiente para satisfacer el ritmo de la toma de decisiones. De esta forma resulta estratégica, pues asegura un mayor control sobre toda la organización y sobre el territorio administrado (Comas y Ruiz, 1993).

### 1.2.3 Productividad y análisis

La elaboración de cartografía digital en el ambiente de un SIG hace posible el incremento de la productividad y la ejecución sistemática de tareas comunes. Al procesar la base de datos de un SIG se pueden generar modelos del mundo real, que además, se pueden transformar y manipular en forma interactiva. Con las capacidades analíticas de un SIG, el sistema completo puede servir como una prueba firme para el análisis de procesos geodinámicos y ambientales, así como una vía para anticipar resultados posibles, consecuencias negativas y fallas (Burrough, 1992; Bonham-Carter, 1994).

### 1.2.4 Funciones de los SIG

Un SIG proporciona el almacenamiento coherente de la información espacial, que se puede actualizar o procesar con el mínimo esfuerzo. Permite obtener modelos cartográficos, a partir de la transformación o combinación de diversas variables. Asimismo facilita la visualización y presentación gráfica de los resultados, al permitir el acceso a diversos periféricos controlados por computadora.

Las principales funciones y capacidades de un SIG se pueden agrupar en cuatro tipos:

- ✓ Captura y codificación de datos
- ✓ Almacenamiento y manejo de datos
- ✓ Análisis y procesamiento de datos
- ✓ Representación de resultados

Cada una se puede describir de acuerdo a las tareas específicas contenidas. Sin embargo, el propósito de este trabajo no es brindar una descripción detallada, para lo cual se pueden consultar diversos autores (Burrough, 1986; Aronoff, 1989; Maguire *et al.*, 1991; Laurini y Thompson, 1992; DeMers 1997; Burrough y McDonnel, 1998). En este estudio sólo se hace énfasis en las funciones que se relacionan con la estandarización y sistematización de cartografía.

#### 1.2.4.1 Captura y codificación de datos

Para que se pueda efectuar un análisis integrado entre variables es preciso que todas ellas sean plenamente compatibles. Esto significa que se alojen en el mismo soporte (digital), con el mismo formato y sujetas a un sistema de referencia común. Por ello la primera función de un SIG se encarga de la entrada y transformación de datos, para que todos ellos resulten coherentes con la base de referencia seleccionada para el proyecto.

Previamente a la entrada de datos, la información que se va a utilizar se ha debido reunir y preparar para que sea tratada y convertida al formato digital (proceso de adquisición de la información). Después se requiere cambiar el formato de los datos, realizar la georreferencia, compilación y si es el caso, la documentación respectiva.

El cambio de formato incluye los procedimientos que permiten convertir la información geográfica del formato analógico al formato digital. Esta conversión se debe realizar manteniendo todas las características iniciales de los datos espaciales. Por ello, en el subsistema o módulo de un *software* de SIG que realiza estas funciones se incluyen no solo los mecanismos de entrada propiamente dichos (digitalización, barrido óptico o similares), sino también los procedimientos que permiten eliminar errores o redundancias en la información incorporada al SIG.

De interés primordial para la sistematización cartográfica es que este grupo de funciones de un SIG tiene la capacidad de integrar series de datos de origen y características diferentes (DeMers, 1997).

#### 1.2.4.2 Almacenamiento y manejo

Una vez convertida a formato digital, se precisa que la información se disponga de una forma coherente, de tal modo que se facilite su almacenamiento, consulta y actualización. Las dos estructuras de almacenamiento son: vector y raster.

## Formato Raster

La estructura más simple de datos raster se representa por un arreglo en forma de malla homogénea, la cual se encuentra referenciada, en principio, a un sistema de columnas y renglones. Por lo tanto, las celdas registran la información de la localización inherente al lugar donde se ubican dentro de la malla. Cada celda contiene información sobre la unidad de mapeo a la que pertenece. En este formato, un punto está representado por un elemento de imagen individual (píxel), una línea por una secuencia de píxeles y un área por un conglomerado de los mismos.

La resolución espacial juega un papel importante, es la relación entre el tamaño de la celda en la base de datos y el tamaño de la celda en la realidad. En general, a mayor resolución (o menor área de cubrimiento de la superficie que representa un píxel), mayor exactitud y viceversa, pero al aumentar la exactitud, también aumentarán los requerimientos en el espacio necesario para almacenar los datos. Para el caso de variables muy homogéneas, habrá muchas celdas con el mismo valor, lo que supone almacenar información irrelevante, en esa situación se pueden utilizar celdas de distinto tamaño, grandes en unidades homogéneas y pequeñas para aquellas zonas más complejas (sistema "quadrees").

En virtud de que una celda posee únicamente un valor para representar diferentes atributos de una misma área, es necesario contar con varias capas de información, esto implica tener una capa raster para cada rasgo o atributo, lo cual exige importante espacio de almacenamiento (Tabla 1.4).

Tabla 1.4 Características del formato raster (Burrough, 1986; Aronoff, 1989; Maguire et al., 1991)	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
Es una estructura de datos simple basada en mallas homogéneas.	Es menos compacta que la estructura vector, demanda grandes espacios de almacenamiento, requiere de técnicas de compresión de datos.
Las operaciones de superposición de mapas se implementan de forma más rápida y eficiente.	Ciertas relaciones topológicas son más difíciles de representar.
Recomendado cuando la variación espacial de los datos es muy alta.	La resolución de la celda puede alterar notablemente la forma y medida de los objetos
Recomendado para el tratamiento y realce de las imágenes digitales.	La salida de gráficos resulta menos estética, los límites entre zonas presentan la apariencia de bloques.

## Formato Vector

El uso de vectores pretende la representación más precisa de los objetos cartográficos. A diferencia del formato raster no se utilizan celdas que puedan alterar de manera más o menos notable las mediciones. En el formato vector se almacenan entidades representadas por series de coordenadas. Abundante información se almacena relativamente en poco espacio, en comparación con el formato raster.

Los puntos requieren para su definición de un par de coordenadas (x, y). Además, se pueden acompañar de datos con otra información (z, nombre del punto, símbolo o

fecha). Las líneas son sucesiones de líneas rectas constituidas de dos o más pares de coordenadas. En el caso de líneas curvas (arcos) se requiere de un mayor número de coordenadas. Finalmente, un polígono representa áreas a partir de las coordenadas de sus vértices.

Las entidades geográficas (objetos cartográficos) tienen una relación espacial definida denominada topología, la cual describe las relaciones espaciales entre objetos (líneas, polígonos y redes) y permite al SIG realizar las funciones de análisis espacial (sección 1.2.4.3). Las más importantes de las relaciones espaciales incluyen la conectividad (líneas conectadas en nodos), la adyacencia (polígonos que comparten un borde en común) y el contenido (polígonos que incluyen polígonos isla).

La Tabla 1.5 presenta las ventajas y desventajas del modelo vector.

Tabla 1.5 Características del formato vector (Burrough, 1986; Aronoff, 1989; Maguire <i>et al.</i> , 1991)	
VENTAJAS	DESVENTAJAS
Genera una estructura de datos más compacta que el modelo raster.	Estructura de datos compleja.
Genera una codificación eficiente de la topología y, consecuentemente, una implementación más eficiente de las operaciones que requieren información topológica, como el análisis de redes.	Resulta poco eficiente cuando la variación espacial de los datos es muy alta.
El modelo vectorial es más adecuado para generar salidas gráficas y presenta gran definición en sus diseños.	La tecnología es costosa, tanto en programa como en equipo.
Requiere poca memoria para almacenamiento. Es posible la activación selectiva y actualización de gráficos-atributos.	Exige mayor volumen de cálculo y procesamiento.

De acuerdo con las Tablas 1.4 y 1.5, ambos formatos poseen ventajas y desventajas. En la actualidad existen programas de SIG integrados que trabajan con los dos modelos de datos, además permiten convertir la información de uno a otro, lo cual posibilita la selección del más conveniente para cada uno de los fines que se pretendan.

Independientemente de la estructura de almacenamiento que se seleccione, el SIG debe incorporar algunas opciones para la búsqueda y actualización selectiva de esa información. En el formato vector la estructura relacional es la más utilizada para las bases de datos de atributos, puesto que facilita búsquedas complejas mediante reglas sencillas. Su principal ventaja es su sencillez, además de facilitar la construcción de búsquedas selectivas y consultas. Recientemente las bases de datos orientadas a objetos se han incrementado en los proyectos de SIG porque tienen ventajas de organización de información. El propósito de una base de datos orientada a objetos es organizar información (de un grupo de atributos) en arreglos de conjuntos que la gente reconoce. En lugar de descomponer cada rasgo en una lista, se hace énfasis en agrupar los atributos de un objeto dado dentro de una unidad o plantilla que se puede almacenar o recuperar por su nombre. Estas bases de datos tienen un sentido intuitivo porque utilizan las categorías que los usuarios emplean día con día.



### 1.2.4.3 Análisis y procesamiento

Estas funciones son el elemento más característico de un SIG. Facilitan el procesamiento de los datos integrados en él de modo que sea posible obtener mayor información, y con ella mayor conocimiento del que inicialmente se disponía, lo convierten así en un sistema de modelación. De hecho, una de las funciones de análisis más importantes es la creación de escenarios de prueba para el estudio de procesos geodinámicos, es decir, de modelos construidos a partir de condiciones o enunciados derivados de la evolución de la información, tanto espacial como no espacial (Tabla 1.6).

Tabla 1.6 Clasificación de las funciones analíticas de un SIG (Modificada de Aronoff, 1989)	
➤	<i>Mantenimiento y análisis de la información espacial</i>
✓	Transformación de formatos
✓	Transformación geométrica
✓	Transformación de proyecciones
✓	Reducción del volumen de información
➤	<i>Mantenimiento y análisis de información no espacial</i>
✓	Funciones para la edición de atributos
✓	Funciones para establecer consultas
➤	<i>Análisis integrado de información espacial y no espacial</i>
✓	Selección, clasificación y medición
✓	Sobreposición de mapas
✓	Interpolación

La construcción de escenarios tiene como objetivo principal la predicción sobre el comportamiento de un fenómeno, mismo que se puede representar en el espacio; es decir, por medios cartográficos. Estos modelos cartográficos resultantes, permiten resolver gran número de problemáticas de carácter espacial. Los escenarios también se utilizan para el análisis de los impactos causados por decisiones de planeación, con lo cual, se pueden así evaluar las consecuencias de cualquier decisión, antes de que un error haya modificado irreversiblemente el espacio.

En general, las posibilidades analíticas son muy amplias y existen diferentes clasificaciones de las mismas (por ejemplo: Goodchild, 1987; Aronoff, 1989; Star y Estes, 1990; Burrough, 1992). De acuerdo con Malczewski (1999) en la actualidad se pueden distinguir dos categorías a partir de su uso extensivo: funciones básicas y funciones avanzadas. Las primeras se utilizan para un rango muy amplio de aplicaciones y tienen mayor importancia para la sistematización de cartografía digital (Tabla 1.7).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Tabla 1.7. Funciones básicas de un SIG para la sistematización de cartografía digital (Malczewski, 1999)	
Función	Operaciones características
Georreferencia	Registro, remuestreo, ortorrectificación y cambio de proyección.
Medición y densidad	Densidad de puntos y líneas, medición de longitudes, áreas y volúmenes.
Reclasificación	Basada en atributos (comparación y umbrales) Igual a, mayor que, menor que, mayor o igual que. Basada en las propiedades geométricas y topología.
Operaciones escalares	Adición, sustracción, multiplicación, división, elevación a la potencia y radicación.
Operaciones de sobreposición de variables	Aritmética, lógica, probabilística, estadística y difusa: Adición, sustracción, multiplicación, división, promedio, potencia, rango, mínimo, máximo, intersección (AND), unión (OR), complemento (NOT).
Operaciones de conectividad	Proximidad, influencia (polígonos de Thiessen), amortiguamiento, fricción y redes.
Operaciones de contexto (entre vecinos)	Filtros de búsqueda, fragmentación, punto o línea en polígono, filtros de superficie, interpolación.

Se incluyen en estas funciones operaciones que transforman las variables originales para un objetivo determinado. Por ejemplo: ajustar mapas fronterizos; generalizar información cartográfica; eliminar polígonos inferiores a la unidad mínima cartografiable; calcular distancias, áreas, perímetros y volúmenes; agrupar los valores de acuerdo a determinado umbral; multiplicar por una constante; sobreponer dos o más mapas en formas diversas; realizar tablas de coincidencia espacial entre dos o más variables; señalar zonas de amortiguamiento en torno a una entidad geográfica, trazar rutas óptimas entre varios puntos; generar mallas equidistantes a partir de interpolación de puntos aleatorios o isolíneas; y un largo etcétera.

Cada una de estas funciones, además, puede ser germen de otras aplicaciones. Por ejemplo, el análisis topográfico pasa por generar un modelo digital del terreno, a partir del cual se pueden realizar otros análisis como: estimación de pendientes y aspecto del terreno, cálculo de perfiles, así como visualización tridimensional.

De acuerdo con Maguire (1994), el modelo de datos raster está orientado a las áreas y el modelo vector a los bordes. Por lo tanto, las operaciones de lógica booleana, funciones de proximidad, e incluso funciones avanzadas de simulación, se pueden implementar con mayor facilidad en el modelo raster. Por otra parte, la naturaleza orientada a bordes del modelo vector provee un formato óptimo para operaciones de análisis de redes, consultas sofisticada a bases de datos y procesos topológicos.

#### 1.2.4.4 Representación de resultados

La calidad de la representación de resultados depende en gran medida del equipo empleado. Un programa de SIG permite aprovechar numerosos periféricos de representación gráfica accesibles a la computadora (monitores, impresoras, graficadores, proyectores, filmadoras digitales, etc.), facilitando la obtención de resultados en un formato de considerable calidad. Por lo anterior, todos ellos sirven como terminal gráfica para un SIG.

En la representación de resultados, las posibilidades cartográficas son muy amplias. Se puede optar por representación con isolíneas o coropletas, vistas en tres dimensiones, vistas en niveles de gris o utilizando una paleta de colores específicos. Queda al usuario la elección del diseño final del mapa: localización de leyenda, escala gráfica, tipo de tramas o colores, rotulación, caneavá (gradícula), marco, datos de identificación, etc. En el capítulo 2 se presentan los principales elementos que la cartografía en Ciencias de la Tierra debería incluir.

### 1.2.5 Aplicaciones

Las posibilidades de utilización de SIG resultan muy diversas, dependiendo de la información disponible y, en buena medida, de la creatividad de los usuarios. De hecho, un SIG es útil en cualquier área donde sea necesario el manejo de información espacial.

Algunas de las principales aplicaciones son: definición de coincidencia de factores, tales como áreas con ciertas anomalías geofísicas, tipos de suelo, pendiente del terreno, vegetación, o ciudades con altos índices de contaminación. Actualización de información espacial, como son los mapas de diversa índole en donde los atributos sufren un cambio perceptible en el tiempo. Planeación de servicios y de trabajos de campo, entre otras.

Ejemplos de aplicaciones importantes de SIG en Ciencias de la Tierra se pueden consultar en los trabajos de Bonham-Carter, 1994; Jehng-Jung, 1996; Herzfeld y Higginson, 1996; Muttiah *et al.*, 1996; Mitas *et al.*, 1997; Seber *et al.*, 1997; Molnár y Julien, 1998; Miliareisis y Argialas, 1999; Lees, 2000; Cheng *et al.*, 2001 e Iwahashi *et al.*, 2001. En la Tabla 1.8 se presentan algunas referencias de aplicaciones de SIG en diferentes técnicas de cartografía digital.

Tabla 1.8 Aplicaciones de SIG en Cartografía Digital	
APLICACIÓN	REFERENCIAS
Cambios de proyección	Allison, 1995.
Proyecciones y distorsión	Brainerd y Pang, 2001; Williams, 1995.
Programas de cartografía en Ciencias de la Tierra	Brimhall y Vanegas, 2001; Colman-Sadd <i>et al.</i> , 1997; Pouch, 1997.
Medios alternativos de publicación o presentación de productos cartográficos	Cartwright, 1997; Fairbairn y Parsley, 1997; Haerberling, 2000; Kraak y Driel, 1997; Lin <i>et al.</i> , 1999; Richard, 2000; Su <i>et al.</i> , 2000.
Problemas de edición o procesamiento cartográfico	Fangju y Donaghy, 1995; Xu y Lathrop, 1994.
Bases de datos cartográficas	Laxton y Becken, 1996.
Captura de datos	Schetselaar, 1995; Wise, 1995.

Por otra parte, la aplicación de los SIG en México se ha realizado dentro de los ámbitos académico, gubernamental y empresarial. El más amplio es sin duda el académico, el gubernamental se ha orientado en general a cuestiones cartográficas y a la modelación de variables, mientras que el empresarial hasta hace pocos años empezó a ser más dinámico en la consulta de información espacial.

Para este proyecto resulta de mayor interés el ámbito académico, y en especial los materiales cartográficos generados en el mismo, ya que es aquí donde surgen las

diferentes aplicaciones que pueden incorporar información a la base de datos de un sistema de cartografía digital. Algunas de estas aplicaciones de SIG por disciplina académica se muestran en la Tabla 1.9.

DISCIPLINA	REFERENCIAS
Geotermia	Prol, 2000
Geología	Uribe, 1999
Geomorfología	López- Blanco y Villers, 1995; López- Blanco, 1994
Hidrología	Ortega, 1996; Bocco <i>et al.</i> , 1995
Edafología	García y Pérez, 1992; Muñoz, 1991
Uso de suelo	García-Nieto, 1999; Valdez, 1996; López-Levi, 1994
Ecología	Palma, 1997; Bojorquez <i>et al.</i> , 1995; Toledo, 1994
Manejo forestal	Gómez, 1997
Manejo del agua	Velasco <i>et al.</i> , 1996; Velasco <i>et al.</i> , 1994
Contaminación ambiental	Aysa, 1995
Urbanismo y planeación	Enciso, 1998; Lemus, 1998

El trabajo cartográfico en las Ciencias de la Tierra, además de los equipos y sistemas computacionales, requiere de un grupo multidisciplinario de investigadores, técnicos académicos y estudiantes. Dicho grupo se puede integrar con profesionales de disciplinas tales como la geología, geofísica, geografía, geodesia, topografía, informática, computación, ingeniería de sistemas, matemáticas y física, por mencionar algunas.

### 1.3 ESTANDARIZACIÓN EN CARTOGRAFÍA DIGITAL

En la cartografía digital la estandarización representa un problema internacional (Huber y Schneider, 1999), el cual se ha enfrentado de alguna manera como parte de la norma internacional ISO/TC 211 *Geographic Information / Geomatics* (<http://www.isotc211.org>). En el caso específico de la cartografía geológica existen algunas iniciativas para diagnosticar la gravedad de este problema, así como para diseñar medidas de control (Jackson y Asch, 2002; Allen, 1997; Bain y Giles, 1997).

Por otra parte, en los últimos años el Internet se ha convertido en el medio más importante para distribuir, intercambiar y adquirir datos espaciales e información cartográfica digital basada en SIG (Thoen, 1995; Carr *et al.*, 1997). La distribución de datos es una actividad común entre los usuarios de cartografía digital. Por esto es necesaria la estandarización de datos (Jackson y Asch, 2002), así como de sus metadatos para describir el linaje y estimar la exactitud de las capas de información de un SIG.

Los metadatos incluyen la descripción de los mismos datos, procesos y ambientes relacionados con la utilización de datos dentro de un SIG. Los metadatos son relevantes para muchas instituciones, especialmente en aquellos casos donde ciertos factores pueden representar obstáculos para el uso racional de sistemas automatizados (van-Brunschot, 1997). Por lo anterior, en la implementación de un SIG destinado a la producción cartográfica digital, resulta indispensable el establecimiento de una estrategia especial para la administración de metadatos.

Dentro de las iniciativas para el registro estandarizado de metadatos espaciales se encuentran: el *Content Standard for Digital Geospatial Metadata* del *Federal Geographic Data Committee* (FGDC-CSDGM; FGDC, 2000), así como el CEN/TC 287 (Kusters, 1999). Cada estándar de metadatos espaciales describe las características de la serie de datos. De esta forma, para facilitar el intercambio de datos espaciales se utilizan solo sus metadatos.

Un sistema de metadatos espaciales consiste de la parte principal de los metadatos más algunos elementos específicos. El núcleo de los componentes de los metadatos corresponde a los elementos obligatorios más importantes de los diferentes estándares de metadatos espaciales (como los indicados en la Tabla 1.10). De esta forma, a los CEN, ISO y FGDC-CSDGM se les pueden agregar elementos como en los *Clearinghouses* para buscar datos espaciales. Por lo anterior, además de los componentes indicados en la Tabla 1.10 también se pueden incluir información por citar, información de contacto, entre otros.

Tabla 1.10 Componentes de Metadatos del FGDC - CSDGM (FGDC, 2000)		
CLAVE	COMPONENTE	EJEMPLOS
1	Identificación	Título, autor, área cubierta, temas, grado de actualización, así como restricciones para el acceso a los datos, o bien, para utilizarlos.
2	Calidad de los datos	Exactitud en la posición, exactitud en los atributos, consistencia, criterios de integridad de la información, linaje (fuentes e historia de procesos utilizados).
3	Organización de los datos espaciales	Modelos de datos utilizados en la representación espacial directa (tales como raster o vector) Modelos indirectos como direcciones de calles o códigos postales.
4	Referencia espacial	Parámetros de la Proyección, sistemas de coordenadas utilizados, parámetros de conversión a otros sistemas.
5	Información sobre entidad y atributo	Diccionario de datos de las bases de datos correspondientes a los atributos, valores de los atributos, nomenclatura implementada en la denominación de archivos, descripción de cualquier tipo de codificación utilizada.
6	Distribución	Distribuidor, formatos, medios, precio
7	Referencia del metadato	Responsable de la elaboración del metadato, fecha de elaboración

Debido a que la calidad de los datos espaciales es crítica para los análisis que se pueden desarrollar en un SIG, así como para la exactitud de la cartografía digital resultante, en Estados Unidos también se ha elaborado un estándar para reportar la exactitud. El denominado *National Standard for Spatial Data Accuracy* (NSSDA; Minnesota Planning, 1999), el cual describe la forma para medir y reportar la calidad de datos geográficos. Este estándar está diseñado para cumplir satisfactoriamente con el segundo componente del FGDC-CSDGM. Por otra parte, existen también algunas compilaciones que analizan las técnicas utilizadas para evaluar la exactitud de bases de datos espaciales en general (Lowell y Jatón, 1999; Mowrer *et al.*, 1996; Goodchild y Gopal, 1989), así como las especializadas en el procesamiento de datos de sensores remotos (Congalton y Green, 1999; Fenstermaker, 1994).

En la actualidad se cuenta con varios paquetes de cómputo para la generación y administración de metadatos espaciales tales como: METASStar, CORPSMET TOOL, ARCVIEW METADATA, WWW METALITE y METALITE. Algunos programas de SIG como ArcView 8.0 cuentan ya con una serie de herramientas para la elaboración semiautomática de metadatos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Por otra parte, los antecedentes de aplicaciones de SIG en la sistematización cartográfica en México han utilizado los enfoques de diseño de bases de datos (Palacio *et al.*, 1995; Escamilla, 1997; Rodríguez, 1998; Garmilla, 1999), ingeniería de *software* (Robles, 1997), capacitación (García-Salazar, 1995), control de calidad (Jiménez, 1996; Piña, 1997) y de eficiencia (Ojeda, 1996).

Sin embargo, en México no existe aún la definición de un estándar para metadatos espaciales, de hecho las autoridades gubernamentales están iniciando su participación al ISO/TC 211. Esta situación no ha limitado que el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI); el Instituto de Geografía de la UNAM; la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT); la Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO); así como el Centro de Información y Comunicación Ambiental de América del Norte (CISEANA), sean las instituciones con mayor experiencia en la elaboración de metadatos de información espacial. La mayoría de estas dependencias han implementado de alguna manera el estándar FGDC-CSDGM. En el Anexo 1.1 se muestra un ejemplo de metadatos de productos elaborados por el INEGI.

Por otra parte, el proceso de intercambio de datos espaciales consiste en la conversión del formato digital original, a la estructura y formato interno del programa de SIG donde se realizará el nuevo proyecto. Los estándares de intercambio de datos representan entonces los medios de integración efectiva y eficiente para incorporar nuevos datos.

Existen diferentes estándares de intercambio, tanto internacionales (por ejemplo el DIGEST), así como los establecidos en naciones como Estados Unidos (por ejemplo DLG, TIGER y SDTS), Reino Unido (NTF) y Canadá (GDA). Además, existen formatos de los programas comerciales más utilizados en el mundo, por ejemplo DXF de AutoDesk para sistemas CAD; así como E00, SHP y BIL de ESRI, utilizados en sistemas SIG. Debido a que en México no existen iniciativas formales de estandarización de datos espaciales, se ha optado por utilizar formatos de los programas comerciales, en los Anexos 3.1 y 3.2 se presenta una recomendación y una descripción genérica de los mismos.

## **CAPÍTULO 2**

# **ANÁLISIS DE CALIDAD CARTOGRÁFICA EN LA UNAM: FAJA VOLCÁNICA MEXICANA**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN





## 2. ANÁLISIS DE CALIDAD CARTOGRÁFICA EN LA UNAM: FAJA VOLCÁNICA MEXICANA

La Faja Volcánica Mexicana (FVM) ha sido una región de gran interés para el desarrollo de investigaciones en las Ciencias de la Tierra debido a la interacción de los procesos geodinámicos que ocurren en la misma. En este capítulo se efectúa un análisis de la cartografía de la FVM elaborada de 1980 a 2000, en particular aquella existente en tesis de geología, geofísica y geomorfología, tanto de licenciatura como de posgrado de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), así como la publicada por los institutos del área de Ciencias de la Tierra de la misma universidad. El objetivo principal fue realizar un análisis de la calidad en el diseño de la cartografía, tomando como área representativa la FVM. Como resultado se detectan las principales deficiencias que se pueden encontrar al realizar la transformación de esta cartografía a formato digital, así como para su integración en una base de datos espaciales. La evaluación técnica de dicha cartografía se realizó a partir del análisis estadístico de los elementos de diseño cartográfico presentes en los mapas, sin considerar su contenido científico. El estudio permitió la identificación de los problemas que debilitan la calidad de los materiales cartográficos, los cuales sirven como principal antecedente para proponer la sistematización de los procesos de cartografía digital, a partir de éstos y nuevos materiales cartográficos.

### 2.1 INTRODUCCIÓN

La cartografía que se elabora en las Ciencias de la Tierra ha sido una de las fuentes de información básica, constituyéndose como una de las formas de presentación de resultados más integral. En la actualidad los productos cartográficos pueden ser desde una carta tradicional hasta las animaciones y vistas tridimensionales generadas por computadora. Sin embargo, el uso cada vez más creciente de sistemas de cómputo para la elaboración de cartografía, aunque facilita su creación no necesariamente incrementa su calidad. En consecuencia la representación de la realidad resulta en muchos de los casos incorrecta, se expresa en formatos incompatibles y con resultados imprecisos durante los procesos de digitalización e integración en bases de datos espaciales. En este análisis se evalúa la viabilidad para integrar en un repositorio digital único, la cartografía de Ciencias de la Tierra existente en nuestro país. Para lo cual, se consideró a la FVM como región representativa de la producción cartográfica actual.

A continuación se analizan las características de la cartografía de la FVM elaborada en la UNAM, específicamente en las siguientes disciplinas: geología, geofísica y geomorfología. Se evalúa la cartografía contenida en las tesis de 1980 a 2000, realizada en las Facultades de Ingeniería, Ciencias y el Colegio de Geografía (Facultad de Filosofía y Letras), así como la Unidad Académica de los Ciclos Profesionales y de Posgrado del Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH-UACPyP). En el análisis también se incluye la cartografía de los Institutos de Geología, Geografía y Geofísica.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## 2.2 METODOLOGÍA

Para integrar la información cartográfica sobre la FVM se realizó una compilación bibliográfica de las tesis y publicaciones periódicas de la UNAM, las cuales están relacionadas específicamente con la elaboración o producción de materiales cartográficos en dicha zona; también se incluyeron diversos tipos de cartografía publicada por los Institutos de Geografía, Geología y Geofísica.

La búsqueda de tesis en la UNAM se efectuó en la base de datos de la Dirección General Bibliotecas de esta universidad (<http://www.dgbiblio.unam.mx/>), y se seleccionaron aquellas cuya zona de estudio comprendiese o estuviera ubicada dentro de la FVM. Después se identificaron las que incluían material cartográfico. Las referencias de publicaciones periódicas que incluyeron cartografía, así como los mapas de cada instituto se obtuvieron de la misma base de datos, en las diferentes bibliotecas o directamente en la fuente respectiva. Por otra parte, se definió una lista de elementos de diseño cartográfico la cual fue verificada y evaluada para cada material cartográfico seleccionado.

## 2.3 ANÁLISIS DE LAS TESIS

A partir de la compilación bibliográfica se identificaron 95 tesis, la mayoría son estudios de sitio, pero algunas tesis se incluyeron porque hacen referencia a tópicos sobre normalización de cartografía en Ciencias de la Tierra. En una primera clasificación por disciplina se encontraron 42 tesis de geología, 28 de geografía, 19 de geofísica y 6 de otras especialidades (Figura 2.1A). En la Figura 2.1B se muestra el número de tesis por facultad o institución, de esta forma se encontraron 41 tesis de Ingeniería (FI), 28 de Filosofía y Letras (CG-FFYL), así como 26 de Ciencias (FC) y el CCH-UACPYP.

La clasificación de tesis por grado académico muestra que dos terceras partes de las tesis de la FVM son de licenciatura (Figura 2.1C).

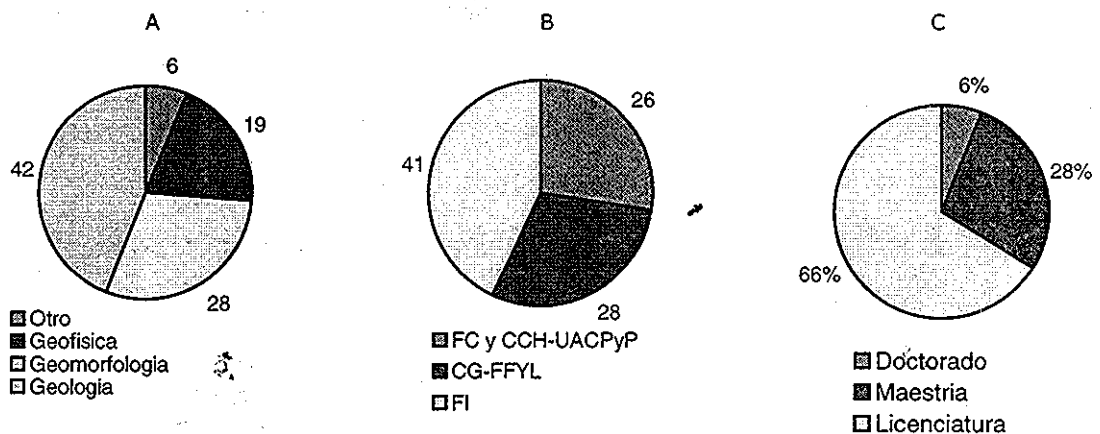


Figura 2.1. Tesis de la UNAM relacionadas con la FVM, seleccionadas por disciplina (A), por institución (B) y por grado académico en porcentaje (C).

La agrupación por año indica que en la década de los noventa la elaboración de tesis de la FVM incrementó más de 3 veces, llegando a representar el 76% de las tesis registradas (Figura 2.2).

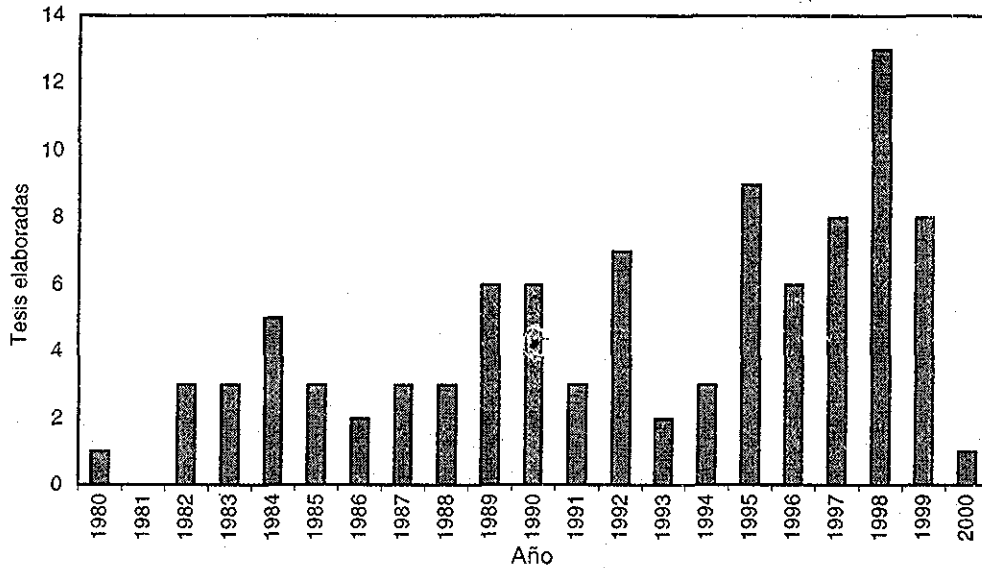


Figura 2.2. Tesis de la UNAM relacionadas con la FVM y agrupadas por año.

### 2.3.1 Tesis con cartografía

Las tesis que incluyeron mapas fueron 52 (Anexo 2.1). La clasificación de las mismas se realizó por disciplina académica (Figura 2.3A), las tesis de geomorfología y geología fueron más de 20 para cada disciplina y las de geofísica fueron 7. La clasificación por grado académico muestra que el 68% de las tesis corresponden al nivel de licenciatura (Figura 2.3B). Sin embargo, las tesis que fueron evaluadas cartográficamente fueron 43, debido a que algunas no tenían los mapas indicados. En total se evaluaron 171 mapas.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

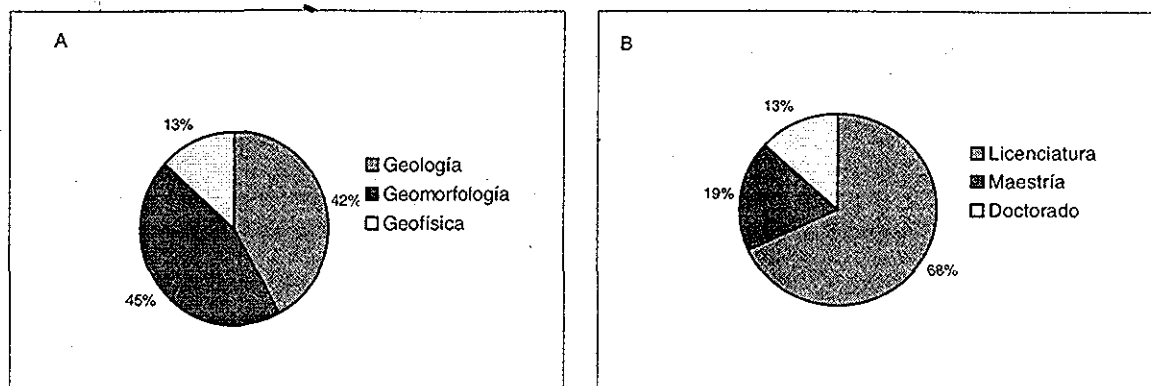


Figura 2.3. Tesis con cartografía de la FVM, agrupadas por disciplina (A) y por grado académico (B).

### 2.3.2 Principales Mapas

La Tabla 2.1 contiene los principales tipos de mapas realizados en las tesis evaluadas, así como la frecuencia y el porcentaje de los mismos; los mapas de tipo geológico y geomorfológico fueron muy diversos, por lo cual se agruparon por categorías genéricas.

Los mapas agrupados por disciplina muestran que el 52% son de tipo geológico, 32% son de tipo geomorfológico, 6% son geofísicos y un 10% son de carácter general o de otra categoría (Figura 2.4).

### 2.3.3 Evaluación de la Cartografía

La evaluación de los mapas se realizó exclusivamente con respecto a la presencia o ausencia de los elementos de diseño cartográfico indicados en la Tabla 2.2 (Salichtchev, 1978). Los datos complementarios como los mencionados en dicha tabla serán obligatorios en función del tipo de mapa.

La Tabla 2.3 muestra el número y porcentaje de mapas que cuentan con cada uno de los elementos indicados, así como combinaciones entre los mismos que resultan de interés cartográfico. Algunas de estas combinaciones son: la presencia de escalas numérica y gráfica en el mismo mapa (N y G), el diseño de la red de coordenadas (completas o indicadas al margen), el tipo de margen (externo o definido por coordenadas extremas) y la explicación completa (leyenda con simbología convencional).

Tabla 2.1. Principales tipos de mapas en la FVM					
Mapas, Cartas y Planos Geológicos			Mapas y Cartas Geomorfológicas		
Tipo de Mapa	Frec.	%	Tipo de Mapa	Frec.	%
Geológicos	33	19.3	Morfométricos	26	15.3
			Altimetría-Hipsometría	6	
			Pendientes	6	
			Densidad de la disección del relieve/ densidad de talwegs	5	
			Profundidad de la disección	5	
			Densidad total	1	
			Ordenes de corrientes	1	
			Frecuencia de corrientes 2º orden	1	
Energía del relieve	1				
Litología/Isopacas/Depósitos/ Flujos piroclásticos/ lujos de lava y depósitos de oleada piroclástica.	25	14.6	Geomorfológicos	14	8.2
Tectónica/Neotectónica/ Terrenos	15	8.7	Geomorfológico-Aplicados	5	2.9
Fallas/ Lineamientos Estructurales/Geoestructurales/ Esfuerzos	6	3.5	Zonificación Geomorfológica		
			Amenaza por procesos geomorfológicos		
			Riesgos		
			Evaluación del Territorio		
Minas	3	1.7	Morfogenéticos	3	1.7
			Derivados de un DEM	3	1.7
Zonas de Vulcanismo	1	0.6	Relieve Sombreado	2	1.1
Total	89	52	Estereo-Modelo		
			Modelo Digital del Terreno		
			Morfodinámicos	2	1.1
			Volcanes Cuaternarios	2	1.1
			Total	55	32
Mapas Geofísicos			Mapas de carácter general		
Tipo de Mapa	Frec.	%	Tipo de Mapa	Frec.	%
Anomalías magnéticas	1	0.6	Topográfico	2	1.1
Anomalia de Bouger	2	1.1	Curvas de nivel	1	0.0
Aeromagnético	1	0.6	Hydrografía	2	1.1
Gravimétrico de Bouger simple	1	0.6	Subcuencas hidrográficas	2	1.1
Gravimétrico total	1	0.6	Sitios de muestreo	4	2.3
Continuación Analítica Ascendente (CAA)	2	1.1	Otro	6	2.3
Resultados Paleomagnéticos	1	0.6	Total	17	10
Epicentros	1	0.6			
Total	10	6	Total de Mapas evaluados = 171.		

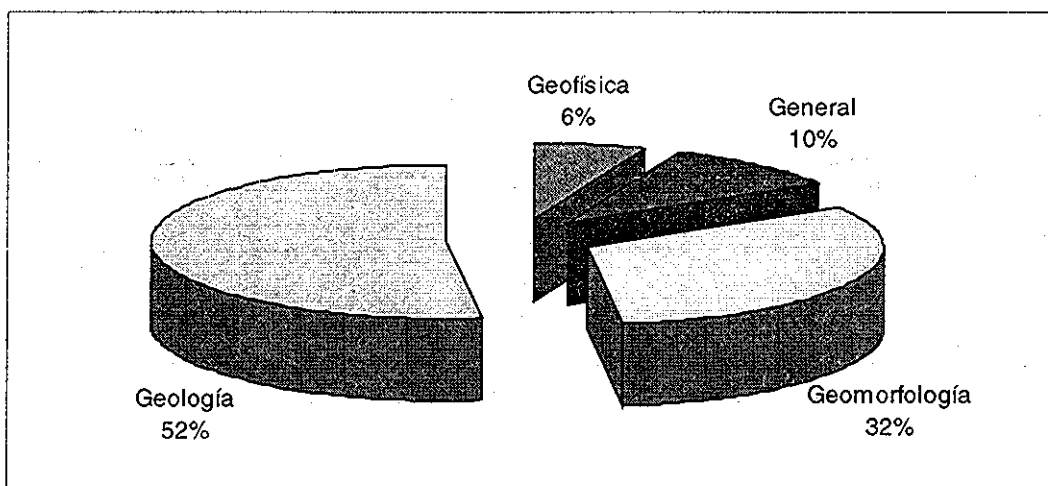


Figura 2.4. Mapas evaluados agrupados por disciplina académica.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

ELEMENTOS DE IDENTIFICACIÓN		ELEMENTOS DE LA BASE MATEMÁTICA	
1. Autor(es) y año		6. Escala Numérica / Latitud de la escala	
2. Localidad o zona de estudio		7. Escala Gráfica	
3. Coordenadas Extremas		8. Red de Coordenadas	
• Norte		9. Marco	
• Sur		10. Proyección	
• Este		• Elipsoide	
• Oeste		• Datum	
4. Proyecto		• Parámetros especiales	
5. Título		Red Geodésica de apoyo	
ELEMENTOS DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA		DATOS COMPLEMENTARIOS	
11. Leyenda o Explicación		14.1 Perfiles o secciones	
12. Simbología convencional		14.2 Columna Estratigráfica	
Gráficos de medición de:		14.3 Diagramas	
1. Angulos, 2. Superficies, 3. Coordenadas, 4. Gradientes, 5. Otro.		14.4 Bloques-diagrama	
13. Fuentes de Información:		14.5 Tablas	
OTROS		14.6 Información textual	
		14.7 Otro Mapa	

ELEMENTOS DE IDENTIFICACIÓN				
ELEMENTO			FRECUENCIA	%
Autor(es)*			171*	100*
Localidad o zona de estudio			171	100
Coordenadas Extremas (CE)			127	74
Proyecto*			171*	100*
Título			170	99
Promedio			810/855	95
ELEMENTOS DE LA BASE MATEMÁTICA				
ELEMENTO	EB	ER	FRECUENCIA	%
Escala Numérica (N)			38	22
Escala Gráfica (G)	x		136	79
Ambas Escalas (N y G)		x	31	18
Red de Coordenadas Completas (RC)		x	71	42
Red de Coordenadas al Margen (RM)			29	17
Red de Coordenadas (RC + RM)	x		100	58
Marco Externo (ME)		x	79	46
Marco Definido por CE (MDCE)			86	50
Marco (ME + MDCE)	x		165	96
Proyección	x	x	41	24
Promedio			776/1710	45
ELEMENTOS DE REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA				
ELEMENTO	EB	ER	FRECUENCIA	%
Leyenda (L)			113	66
Simbología convencional (S)			91	53
Explicación Completa (Ec = L y S)		x	57	33
Explicación (L + S - Ec)	x		147	86
Gráficos de medición			14	8
Fuentes de Información**	x	x	65**	38**
Promedio			487/1026	47
DATOS COMPLEMENTARIOS				
ELEMENTO			FRECUENCIA	%
(Perfiles o secciones, Columnas Estratigráficas, Diagramas, Bloques-diagrama, Tablas, Información textual).			41	24
<b>EVALUACIÓN FINAL</b>			<b>1478/2052</b>	<b>72</b>

\* Para todos los mapas se consideró que si contaban con esta información por encontrarse en la tesis respectiva, aunque estrictamente no todos la tuvieron.

\*\* Muchos mapas no incluyeron esta información porque el mismo autor la generó, aunque algunos ignoraron poner las referencias completas de los mapas base  
EB, elementos considerados en la Evaluación Básica. ER, elementos considerados en la Evaluación Rigurosa. La explicación de ambas se encuentra en el texto.

La Figura 2.5 presenta la gráfica de los 14 elementos de diseño cartográfico encontrados en los mapas.

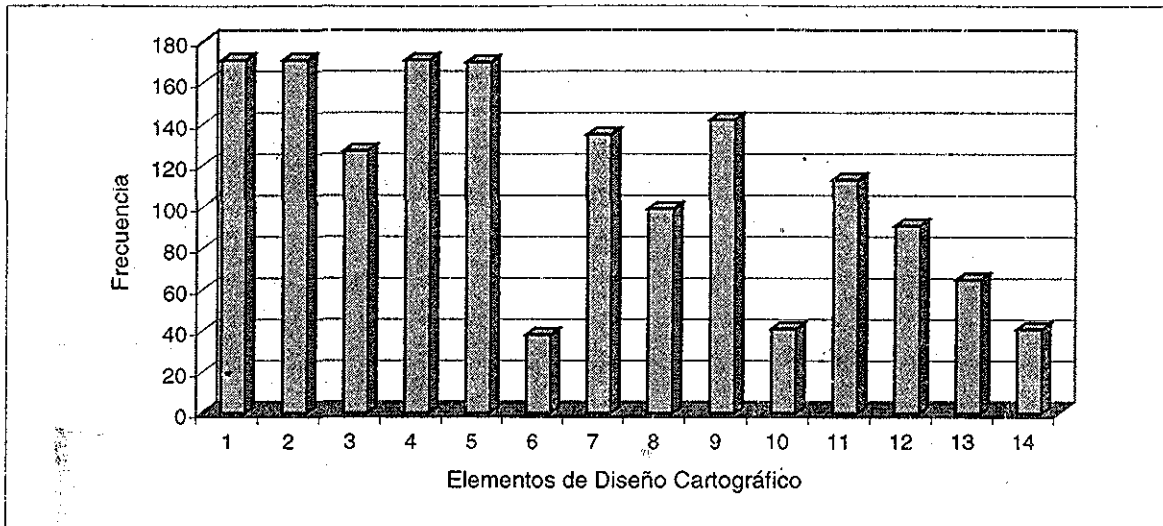


Figura 2.5. Elementos de diseño cartográfico encontrados en los mapas.

A continuación se discuten los resultados de la Tabla 2.3 y la Figura 2.5 por grupo de elementos.

### 2.3.3.1 Elementos de Identificación

La evaluación de todo este grupo se obtuvo del valor promedio de elementos presentes, el cual fue del 95%. En general todos los mapas cuentan con el nombre del proyecto, la localidad o zona de estudio, el título del mapa y el nombre del autor, dicha información se incluye en el cuadro de identificación y en la misma tesis. Sin embargo, para localizar en un índice las zonas cubiertas por los mapas existentes se requiere de las coordenadas extremas, las cuales únicamente se indican en el 74% de los mapas evaluados.

### 2.3.3.2 Elementos de la base matemática

El promedio de elementos presentes en este grupo fue del 45%. Sin embargo, se realizaron otros dos tipos de evaluación más depurados. Al primer tipo se le denominó Evaluación Básica (EB) y estuvo integrado por la escala gráfica, la red de coordenadas, el marco y la proyección; con este método la evaluación fue de 65% de los elementos esperados. El segundo grupo denominado Evaluación Rigurosa (ER) estuvo integrado por la presencia de ambas escalas, la red de coordenadas completa, el marco externo y la proyección; con este método la evaluación fue de 32% de los elementos esperados.

Esta categoría de elementos fue la más crítica en los mapas evaluados, en la mayoría se le resta importancia y se omite dicha información. La proyección se indica, o se puede inferir por las referencias incluidas, sólo en un 24% de los mapas. Áreas correspondientes a escalas de trabajo medias y locales aparecen en proyección y retícula UTM con *datum* NAD27. Únicamente dos mapas presentaron otra proyección pero sin indicar la misma.

Los mapas que contienen tanto la escala gráfica como la numérica fueron sólo 31, es decir el 18%, la escala numérica se registró en 38 mapas (22%) y la gráfica en 136 (79%). Las escalas cartográficas más comunes en términos numéricos fueron las mayores a 1:20,000 (para estudios geomorfológicos, vulcanológicos y mineros), las correspondientes a 1:50,000 (para estudios geológicos generales) y las menores a 1:100,000 (para estudios regionales o sinópticos).

Aunque se encontraron mapas a escala 1:90,000 y 1:100,000, la cartografía original de los mismos se realizó a 1:50,000 y después se efectuó la reducción correspondiente por técnicas fotomecánicas. De esta forma, la escala 1:50,000 se utilizó en 52% de los mapas que reportaron información al respecto. Los grupos de escalas menores a 1:100,000 y mayores a 1:50,000 representaron el 24% cada uno. La Figura 2.6 muestra con detalle las escalas empleadas en la cartografía de la FVM.

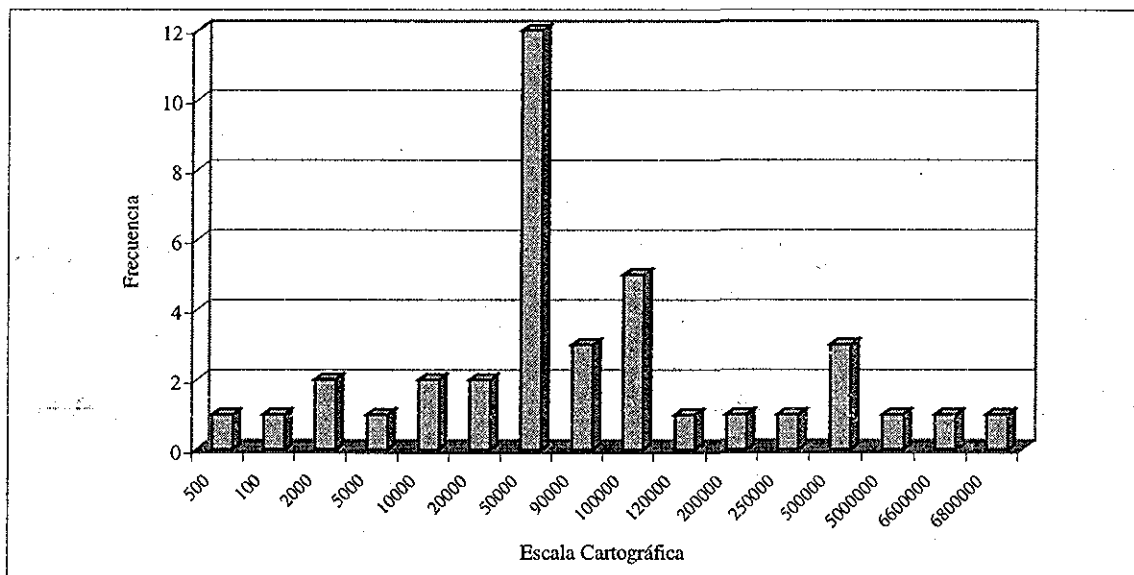


Figura 2.6. Histograma de las escalas empleadas en la cartografía de las tesis de la Faja Volcánica Mexicana.

El caneavá, o la red de coordenadas completa, más las coordenadas indicadas al margen se registraron sólo en un 58% de los mapas, pese a que este tipo de elementos cartográficos es muy importante para localizar cualquier sitio dentro de cada mapa. En general, al margen de los mapas se registraron coordenadas geográficas, excepto en los relacionados con proyectos mineros, los cuales las indicaron con proyección y coordenadas UTM, o en coordenadas cartesianas arbitrarias.



El marco de los mapas está definido en dos formas: la primera es por coordenadas extremas (MDCE, 50%), cuyo valor aparece en las esquinas, y la segunda por gráficos externos (ME, 46%). Estos últimos mejoran notablemente la presentación final.

### 2.3.3.3 Elementos de Representación Cartográfica

En Ciencias de la Tierra se mantienen varias restricciones en cuanto a la simbología y nomenclatura, como es el caso de los mapas geológicos. Sin embargo, hay gran flexibilidad en otras expresiones cartográficas, como en el caso de los mapas geomorfológicos, donde el autor puede definir sus propios criterios de representación, siempre y cuando sean consistentes.

En esta evaluación los mapas con explicación completa, es decir con leyenda y simbología convencional, fueron sólo 57 (33%), con leyenda fueron 113 (66%) y con simbología fueron 91 (53%), con lo cual se definió el número final de mapas con elementos de explicación que fue de 147 (86%). Las fuentes de información se registraron en 65 mapas (38%), las referencias completas de los mapas base permitió conocer o inferir alguno de los atributos cartográficos no indicado en el mismo.

El promedio de elementos presentes en este grupo fue del 47%. Sin embargo, al igual que en el grupo de la base matemática, se realizaron las evaluaciones EB y ER. La primera fue del 62% y estuvo integrada por la explicación y las fuentes de información. La segunda fue del 36% y en ella se prefirió utilizar la explicación completa.

### 2.3.4 Evaluación por Facultad

Los mapas agrupados por facultad muestran que 44% son de Ciencias y CCH-UACPyP, 33% de Filosofía y Letras, y finalmente 23% de Ingeniería (Figura 2.7). Las Tablas 2.4 y 2.5, así como la Figura 2.8 muestran el número total de elementos cartográficos en los mapas clasificados por Facultad.

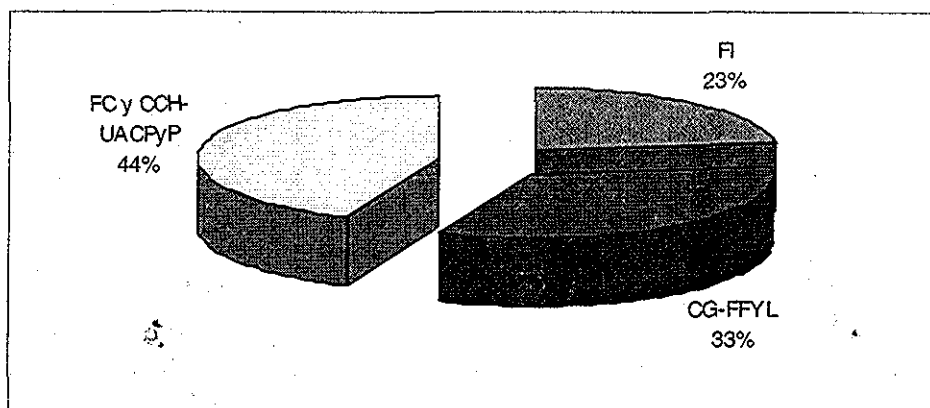


Figura 2.7. Mapas evaluados agrupados por facultad.

Clave	Elemento	FI	CG-FFYL	UACPYP - FC	Total Renglón
1	Autor	40	57	74	171
2	Localidad	40	57	74	171
3	Coordenadas	36	46	45	127
4	Proyecto	40	57	74	171
5	Título	40	57	73	170
6	Escala Numérica	22	15	1	38
7	Escala Gráfica	40	53	42	135
8	Red de Coordenadas	26	32	41	99
9	Marco	32	45	65	142
10	Proyección	16	23	2	41
11	Leyenda	35	51	27	113
12	Simbología	30	25	36	91
13	Fuentes	18	6	41	65
14	Complementos	21	10	10	41
	Total Columna	436	534	605	1575

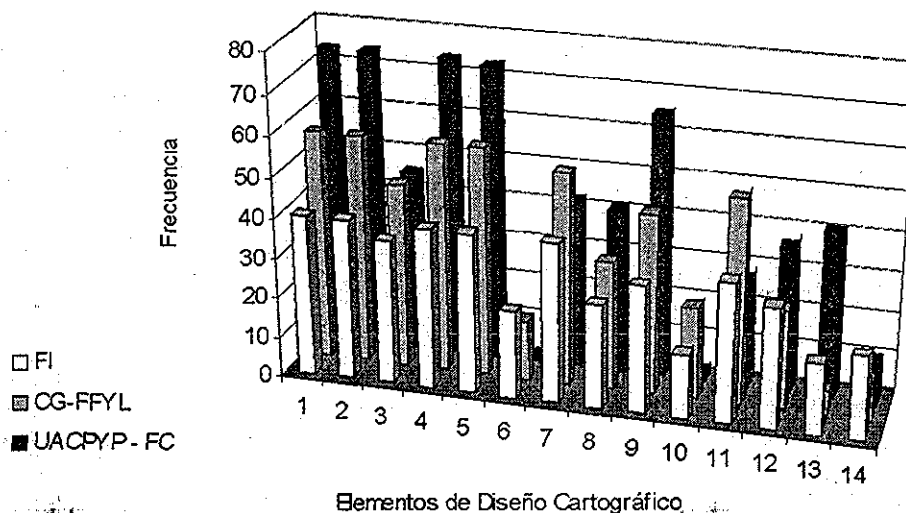


Figura 2.8. Elementos de diseño cartográfico contenidos en los mapas según la Facultad.

Se encontró que la escala numérica y la proyección presentaron los valores más bajos, registrando entre ambos aproximadamente el 5% con respecto al gran total. Los mapas del CCH-UACPYP fueron quienes menos atención le prestaron a la inclusión de estos importantes elementos.

Los datos complementarios y las fuentes de información también tuvieron valores muy bajos, el más crítico de éstos es sin duda el segundo, ya que puede ocasionar que se haga un uso indebido del mapa o de la información espacial contenida. Los mapas del CG-FFYL fueron los que le dieron menor importancia a la inclusión de las fuentes de información.

Tabla 2.5. Frecuencia relativa de los elementos de diseño cartográfico por facultad					
Porcentajes por renglón					
Clave	Elemento	FI	CG-FFYL	FC y CCH- UACPYP	Total Renglón
1	Autor	23.39	33.33	43.27	100
2	Localidad	23.39	33.33	43.27	100
3	Coordenadas	28.35	36.22	35.43	100
4	Proyecto	23.39	33.33	43.27	100
5	Título	23.53	33.53	42.94	100
6	Escala Numérica	57.89	39.47	2.63	100
7	Escala Gráfica	29.63	39.26	31.11	100
8	Red de Coordenadas	26.26	32.32	41.41	100
9	Marco	22.54	31.69	45.77	100
10	Proyección	39.02	56.10	4.88	100
11	Leyenda	30.97	45.13	23.89	100
12	Simbología	32.97	27.47	39.56	100
13	Fuentes	27.69	9.23	63.08	100
14	Complementos	51.22	24.39	24.39	100
Porcentajes con respecto al gran total					
Clave	Elemento	FI	CG-FFYL	FC y CCH- UACPYP	Total Renglón
1	Autor	2.54	3.62	4.70	10.86
2	Localidad	2.54	3.62	4.70	10.86
3	Coordenadas	2.29	2.92	2.86	8.06
4	Proyecto	2.54	3.62	4.70	10.86
5	Título	2.54	3.62	4.63	10.79
6	Escala Numérica	1.40	0.95	0.06	2.41
7	Escala Gráfica	2.54	3.37	2.67	8.57
8	Red de Coordenadas	1.65	2.03	2.60	6.29
9	Marco	2.03	2.86	4.13	9.02
10	Proyección	1.02	1.46	0.13	2.60
11	Leyenda	2.22	3.24	1.71	7.17
12	Simbología	1.90	1.59	2.29	5.78
13	Fuentes	1.14	0.38	2.60	4.13
14	Complementos	1.33	0.63	0.63	2.60
	Total Columna	27.68	33.90	38.41	100.00

La Figura 2.9 muestra la relación entre el número de elementos presentes en los mapas y la frecuencia. Se encontró que los mapas con la mayor cantidad de los 14 elementos evaluados fueron los realizados en la Facultad de Ingeniería (FI; de hecho fue la única institución donde algunos mapas tuvieron todos los elementos considerados), registró el 78% de los elementos esperados en todos ellos. Después se encontraron los de la Facultad de Filosofía y Letras (con 67%), finalmente los de la Facultad de Ciencias (FC) y el CCH-UACPYP (con 60%). Estos últimos fueron agrupados porque corresponden principalmente a mapas contenidos en tesis de maestría en ciencias (Geología, Sismología y Física del Interior de la Tierra, respectivamente). Por lo anterior, aunque en la FC y el CCH-UACPYP se ha elaborado el 44% de los mapas analizados, estos tuvieron la evaluación más baja.

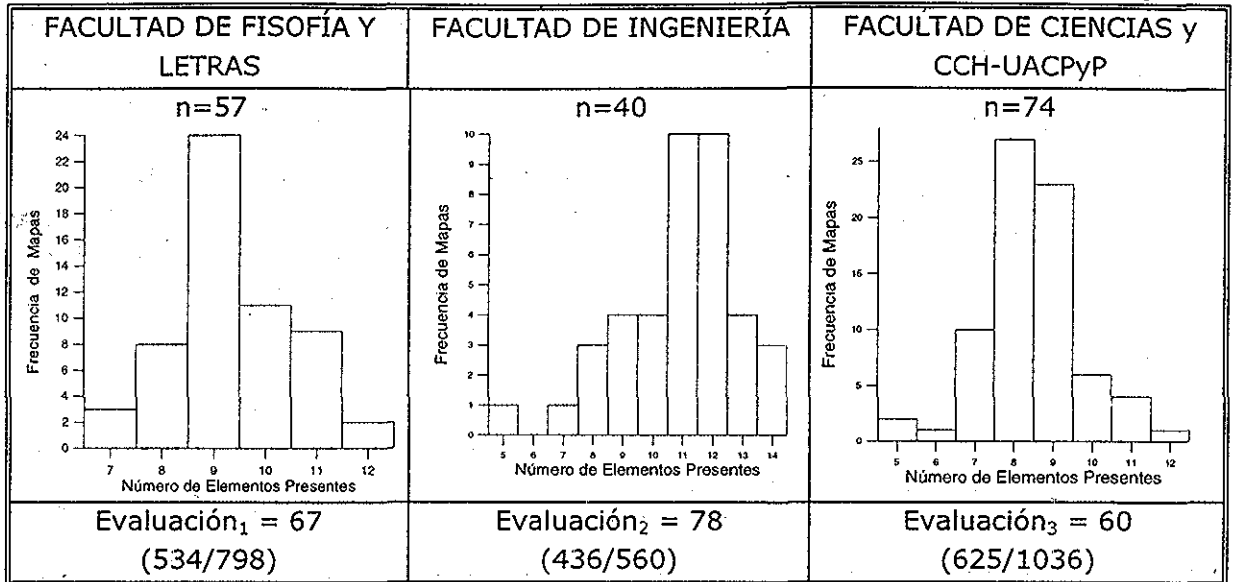


Figura 2.9. Histogramas de evaluación de los mapas en términos del número total de elementos presentes en los mismos por institución académica.

### 2.3.5 Evaluación Final

La Figura 2.10 muestra el histograma de evaluación final de los mapas. La moda corresponde a los mapas que sólo cuentan con 9 de los 14 elementos evaluados. El 52% de todos los mapas tiene 8 ó 9 elementos. Únicamente el 37% de los mapas tiene la mejor evaluación con 10 o más elementos cada uno. La evaluación general de los mapas indica un 67% de los elementos esperados.

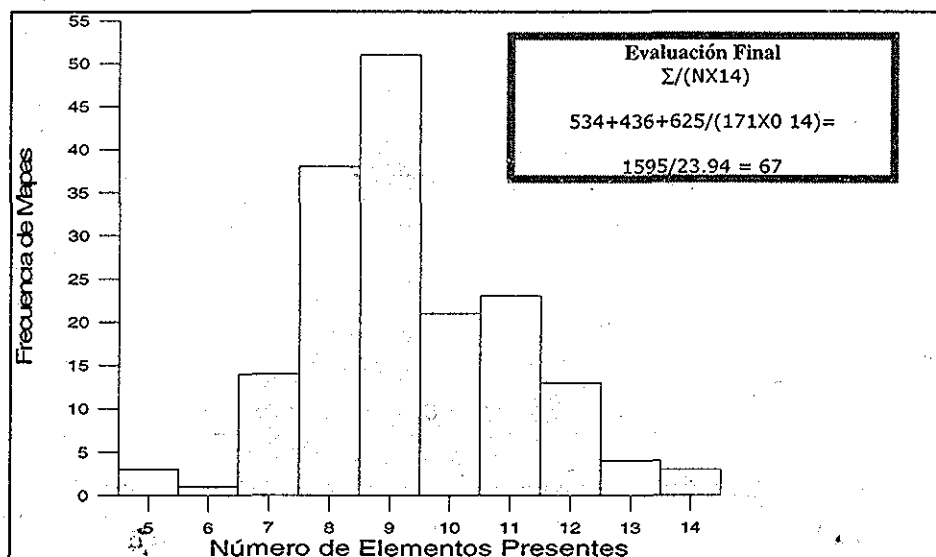


Figura 2.10. Histograma de evaluación final de los mapas contenidos en las tesis de la FVM.

## 2.4 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA CARTOGRAFÍA INSTITUCIONAL

La producción cartográfica de los Institutos de Geofísica, Geología y Geografía considerada en este análisis se puede consultar en el Anexo 2.2. El Instituto de Geofísica cuenta con 15 mapas que se relacionan con la FVM, el Instituto de Geología tiene 17 cartas y el Instituto de Geografía editó 12 hojas en el Atlas Nacional de México con más de 20 mapas, los cuales son de gran contenido para las Ciencias de la Tierra. En total en este trabajo se evaluaron 49 mapas, los cuales se agruparon en geológicos (35%), geomorfológicos (35%) y geofísicos (30%).

### 2.4.1 Evaluación Cartográfica

Para esta evaluación se utilizaron los mismos criterios definidos para los mapas elaborados en las tesis, los elementos tomados en cuenta también fueron los indicados en la Tabla 2.2.

La Tabla 2.6 muestra el número y porcentaje de mapas que cuentan con cada uno de los elementos indicados, en general tiene las mismas características de la Tabla 2.3. En la Figura 2.11 se han graficado los 14 elementos evaluados para todos los institutos.

Tabla 2.6. Elementos contenidos en los mapas				
IDENTIFICACIÓN				
ELEMENTO			FRECUENCIA	%
Autor(es)			49	100
Localidad o zona de estudio			49	100
Coordenadas Extremas (CE)			28	57
Proyecto			40	82
Título			48	98
Promedio			214/245	87
BASE MATEMÁTICA				
ELEMENTO	EB	ER	FRECUENCIA	%
Escala Numérica (N)			38	78
Escala Gráfica (G)	X		42	86
Ambas Escalas (N y G)		X	31	63
Red de Coordenadas Completas (RC)	X	X	44	89
Marco Externo (ME)		X	34	70
Marco Definido por CE (MDCE)			7	14
Marco (ME + MDCE)	X		41	84
Proyección	X	X	27	55
Promedio			264/392	67
REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA				
ELEMENTO	EB	ER	FRECUENCIA	%
Leyenda (L)			41	84
Simbología convencional (S)			17	35
Explicación Completa (Ec = L y S)		X	9	18
Explicación (L + S - Ec)	X		49	100
Gráficos de medición			6	12
Fuentes de Información	X	X	35	71
Promedio			157/294	53
DATOS COMPLEMENTARIOS				
ELEMENTO			FRECUENCIA	%
(Perfiles o secciones, Columnas Estratigráficas, Diagramas, Bloques-diagrama, Tablas, Información textual)			36	73
Total:				

EB, elementos considerados en la Evaluación Básica ER, elementos considerados en la Evaluación Rigurosa. La explicación de ambas se encuentra en el texto.

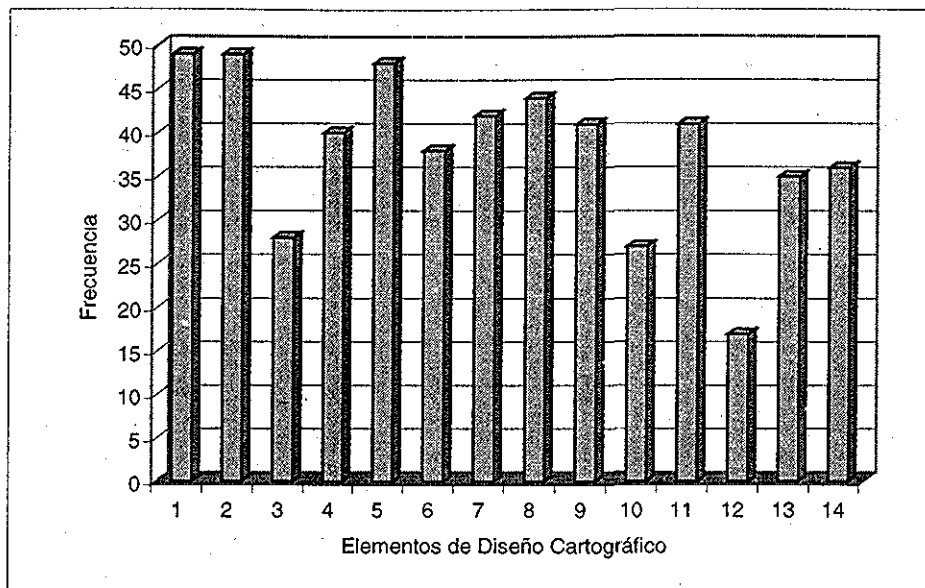


Figura 2.11. Histograma de elementos contenidos en todos los mapas de los institutos.

#### 2.4.1.1 Elementos de Identificación

La evaluación de todo este grupo se obtuvo del valor promedio de elementos presentes, el cual fue del 87%. Todos los mapas cuentan con el nombre del autor y la localidad o zona de estudio. En la mayoría se registró el título del mapa y el proyecto. Sin embargo, las coordenadas extremas únicamente se indicaron en el 57% de los mapas evaluados, porcentaje que resulta menor con respecto a la cartografía incluida en las tesis.

#### 2.4.1.2 Elementos de la base matemática

El promedio de elementos presentes en este grupo fue del 67%. Además, se realizaron las evaluaciones EB y ER con los elementos indicados en la Tabla 2.3, la primera fue de 79% y la segunda fue de 69%.

La proyección se indicó o fue inferida en 55% de los mapas. La mayoría de los mismos son sinópticos y representan todo el país, la proyección más usada fue Cónica Conforme de Lambert. Sólo 6 mapas (12%) registraron proyección y retícula UTM con datum NAD27.

Los mapas que contienen tanto la escala gráfica como la numérica fueron 31, es decir el 63%, la escala numérica se registró en 38 mapas (78%) y la gráfica en 42 (86%). Las escalas cartográficas más comunes en términos numéricos fueron 1:8,000,000; 1:4,000,000 y 1: 100,000. En general, la cartografía que comprende todo el país es

adecuada para aplicaciones regionales y para realizar comparaciones entre la FVM y otras regiones.

La Figura 2.12 muestra con detalle las escalas empleadas en la cartografía institucional evaluada.

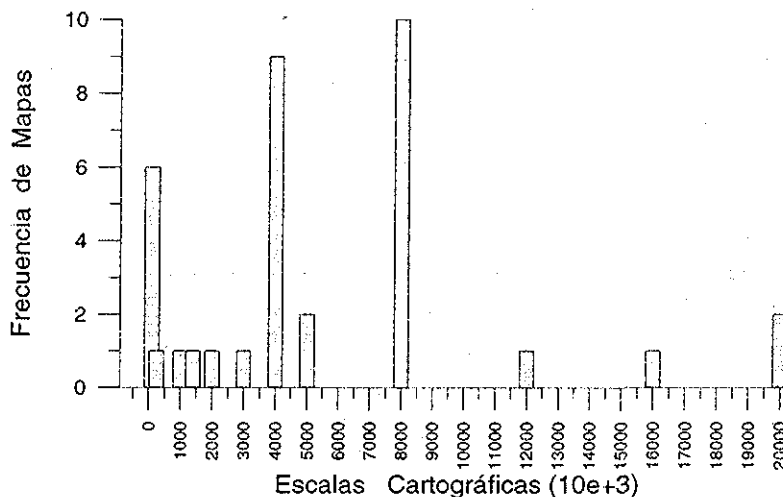


Figura 2.12. Histograma de las escalas empleadas en la cartografía de la FVM elaborada por los Institutos de Ciencias de la Tierra.

El caneavá, o la red de coordenadas completa se registró en un 89% de los mapas. El marco de los mismos está definido en dos formas: por coordenadas extremas (14%) y por gráficos externos (70%).

#### 2.4.1.3 Elementos de Representación Cartográfica

El promedio de elementos presentes en este grupo fue del 53%. También fueron realizadas las evaluaciones EB y ER (como en la Tabla 2.3) con valores de 86% y 45%, respectivamente.

Los mapas con explicación completa, es decir con leyenda y simbología convencional, fueron sólo 18%, con leyenda fueron 84% y con simbología fueron 35%. Con esta información se determinaron los mapas con elementos de explicación, los cuales representaron el 100%. Finalmente, las fuentes de información se registraron en un 71%.

#### 2.4.2 Evaluación por Institutos

Para la agrupación por institutos se consideraron sólo 44 mapas, ya que 5 estuvieron incluidos en otros como llamada cartográfica a escala diferente. Esta agrupación muestra que 23% son del Instituto de Geología, 36% del Instituto de Geofísica, y finalmente 41% del Instituto de Geografía.

Las Tablas 2.7 y 2.8 presentan la frecuencia absoluta y relativa de los elementos cartográficos de los mapas de cada instituto. La Figura 2.13 incluye la gráfica de los elementos evaluados por instituto.

Tabla 2.7. Frecuencia absoluta de los elementos de diseño cartográfico por instituto.					
Clave	Elemento	Geología	Geofísica	Geografía	Total Renglón
1	Autor	10	16	23	49
2	Localidad	10	16	23	49
3	Coordenadas	6	3	19	28
4	Proyecto	8	9	23	40
5	Título	10	15	23	48
6	Escala Numérica	7	8	23	38
7	Escala Gráfica	9	13	20	42
8	Red de Coordenadas	9	12	23	44
9	Marco	6	12	23	41
10	Proyección	1	3	23	27
11	Leyenda	6	12	23	41
12	Simbología	8	6	3	17
13	Fuentes	9	3	23	35
14	Complementos	10	10	16	36
	Total Columna	109	138	288	535

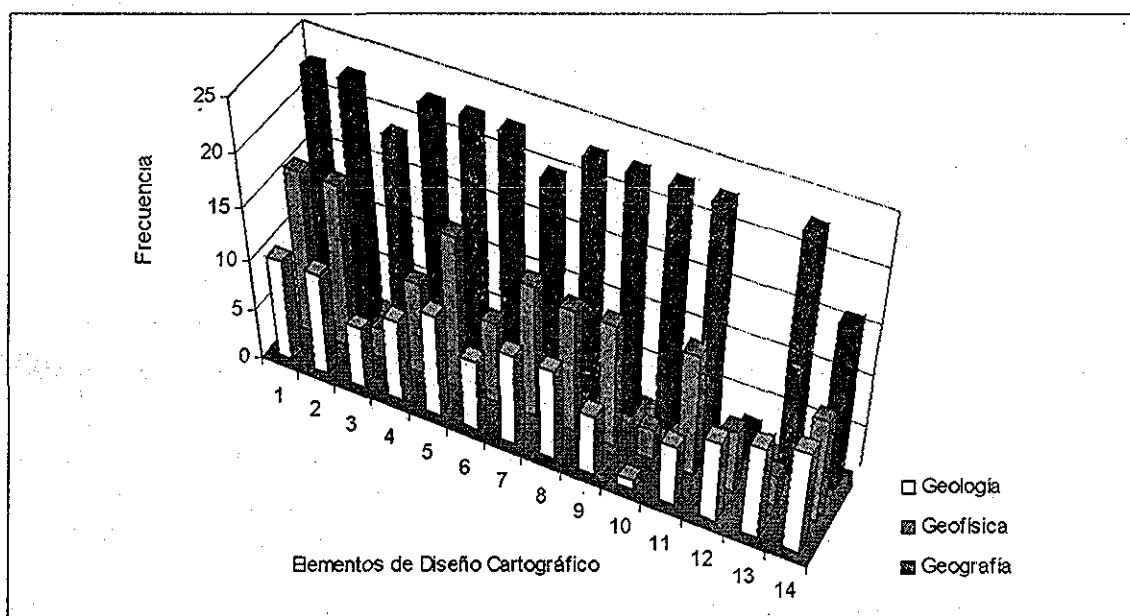


Figura 2.13. Histograma de las escalas empleadas en la cartografía de la FVM elaborada por los Institutos de Ciencias de la Tierra.



**Tabla 2.8. Frecuencia relativa de los elementos de diseño cartográfico por instituto.**

Porcentajes por renglón.

Clave	Elemento	Geología	Geofísica	Geografía	Total Renglón
1	Autor	20.41	32.65	46.94	100
2	Localidad	20.41	32.65	46.94	100
3	Coordenadas	21.43	10.71	67.86	100
4	Proyecto	20.00	22.50	57.50	100
5	Título	20.83	31.25	47.92	100
6	Escala Numérica	18.42	21.05	60.53	100
7	Escala Gráfica	21.43	30.95	47.62	100
8	Red de Coordenadas	20.45	27.27	52.27	100
9	Marco	14.63	29.27	56.10	100
10	Proyección	3.70	11.11	85.19	100
11	Leyenda	14.63	29.27	56.10	100
12	Simbología	47.06	35.29	17.65	100
13	Fuentes	25.71	8.57	65.71	100
14	Complementos	27.78	27.78	44.44	100

Porcentajes con respecto al Gran Total

Clave	Elemento	Geología	Geofísica	Geografía	Total Renglón
1	Autor	1.87	2.99	4.30	9.16
2	Localidad	1.87	2.99	4.30	9.16
3	Coordenadas	1.12	0.56	3.55	5.23
4	Proyecto	1.50	1.68	4.30	7.48
5	Título	1.87	2.80	4.30	8.97
6	Escala Numérica	1.31	1.50	4.30	7.10
7	Escala Gráfica	1.68	2.43	3.74	7.85
8	Red de Coordenadas	1.68	2.24	4.30	8.22
9	Marco	1.12	2.24	4.30	7.66
10	Proyección	0.19	0.56	4.30	5.05
11	Leyenda	1.12	2.24	4.30	7.66
12	Simbología	1.50	1.12	0.56	3.18
13	Fuentes	1.68	0.56	4.30	6.54
14	Complementos	1.87	1.87	2.99	6.73
	Total Columna	20.37	25.79	53.83	100.00

Se encontró que la simbología convencional fue el elemento con menor cantidad de registros, siendo los mapas del Instituto de Geografía los que omitieron más dicho elemento. Dentro de los elementos de la base matemática, nuevamente la proyección fue el más ignorado, siendo el Instituto de Geología quien menos importancia le dio. Además, con esta clasificación se encontró también que las coordenadas extremas tuvieron pocos registros y en los mapas del Instituto de Geofísica fue donde menos se presentó esta información.

La Figura 2.14 presenta la relación entre el número de elementos presentes en los mapas y la frecuencia. Se encontró que los mapas con la mayor cantidad de los 14 elementos evaluados fueron los realizados en el Instituto de Geografía con un 86%.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Después se encontraron los del Instituto de Geología (con 84%) y finalmente los del Instituto de Geofísica (con 74%).

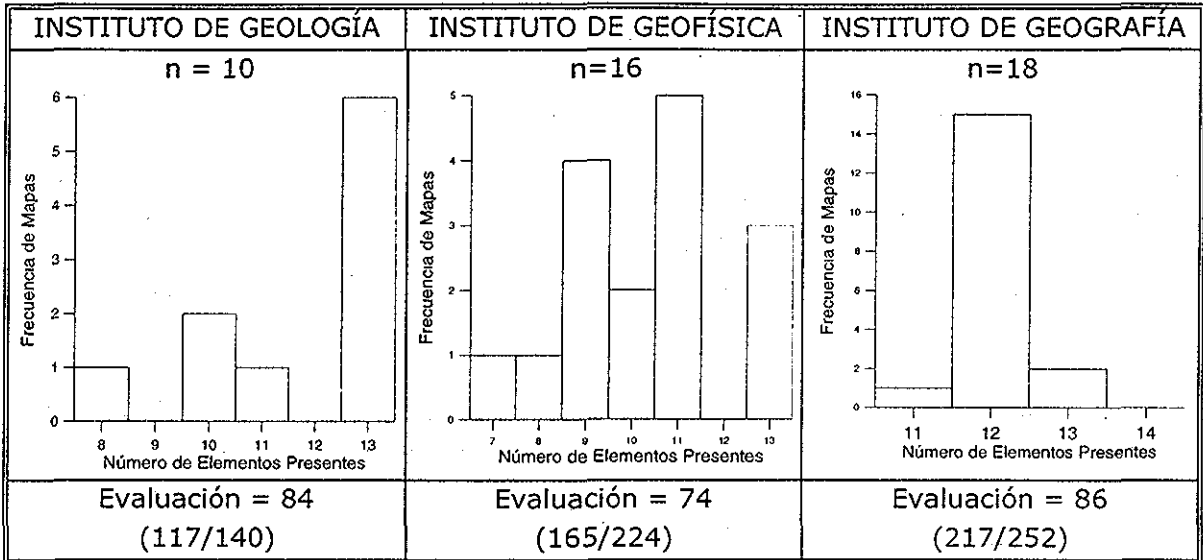


Figura 2.14. Histogramas de evaluación de los mapas en términos de los elementos presentes en los mismos por instituto.

#### 2.4.3 Evaluación Final

La Figura 2.15 muestra el histograma de evaluación final de la cartografía institucional. La moda representa el 68%, corresponde a los mapas que cuentan con 12 y 13 de los 14 elementos evaluados. El 93% de todos los mapas tiene la mejor evaluación con 10 o más elementos cada uno. La evaluación general de los mapas indica el 81% de los elementos esperados.

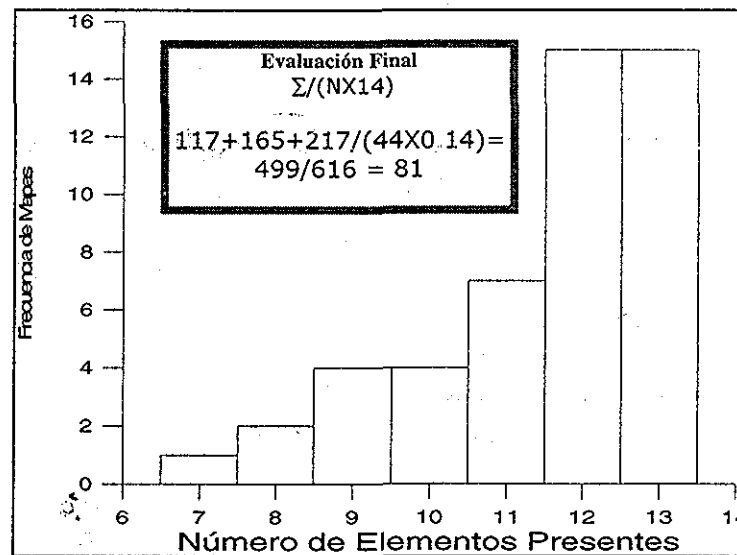


Figura 2.15. Histograma de la evaluación final de los mapas diseñados por Institutos.

## 2.5 DIAGNÓSTICO

En este análisis se han presentado las más recientes contribuciones al conocimiento cartográfico de la FVM que se realizan en la UNAM. De acuerdo a la información presentada el avance cartográfico en la FVM es aceptable, pero no así su calidad. En la evaluación de la calidad se consideró un punto de vista esencialmente técnico, donde se analizaron los elementos de diseño cartográfico incluidos en los mapas. El cubrimiento cartográfico es más completo en la porción occidental y en la parte central de la FVM, pero el sector oriental carece aún de una adecuada cobertura. En general, la calidad de los mapas de las tesis es menor que la correspondiente a la cartografía institucional. La evaluación de los primeros fue del 67% y la de los segundos del 81%.

La cartografía evaluada carece de elementos críticos para su transformación a formato digital, específicamente los correspondientes a la base matemática, ya que se minimiza su importancia, así como a la falta de una normalización de procesos en la elaboración de los mismos. Los aspectos más débiles de dicha cartografía son: la omisión de información sobre las proyecciones de representación y las fuentes cartográficas, necesarios para la estimación de los errores acumulados. Lo anterior se debe quizás a una concepción errónea del marco teórico de la cartografía que desvincula sus contenidos artísticos, técnicos y científicos.

Los mapas más empleados son de tipo geológico, en la cartografía de las tesis representan el 52% y en la de instituciones el 35%. Las proyecciones estandarizadas para los mapas de la FVM que se realizan en Ciencias de la Tierra son: UTM (para escalas grandes y medias) y Cónica Conforme de Lambert (para escalas pequeñas). Diferentes escalas cartográficas se han elegido para la elaboración de mapas geológicos en sectores de la FVM, pero la más empleada es: 1:50,000, incluso mapas en otras escalas se han derivado de ésta.

Las propuestas de este estudio se presentan en el capítulo 3 y están orientadas a fortalecer la calidad de los mapas que se elaboran en la UNAM, especialmente en los grados académicos de licenciatura y maestría, por ser ahí donde se elabora la mayor parte de la información cartográfica, así como en los materiales de los Institutos de Geofísica, Geología y Geografía.

En el Anexo 2.3 se presenta una síntesis de la FVM con referencias a la cartografía elaborada en los últimos años.



## **CAPÍTULO 3**

### **BASES DE DATOS ESPACIALES**



### 3. BASES DE DATOS ESPACIALES

Este capítulo incluye una propuesta metodológica para la creación, mantenimiento y administración de bases de datos espaciales en formato digital, las cuales están dirigidas al diseño de cartografía en Ciencias de la Tierra. El objetivo es integrar una guía de procesos para normalizar en lo posible el desarrollo de dichas bases de datos.

La construcción de bases de datos espaciales es la parte que consume más tiempo en un proyecto de cartografía digital analítica, entendiéndose por este último adjetivo la capacidad de realizar análisis espacial. Las características de la base de datos determinarán la calidad del análisis y del producto final. La Tabla 3.1 muestra las etapas en el desarrollo de una base de datos espacial.

Etapa	Características
Conceptualización, Análisis y Diseño	Determinación de límites del área de estudio, sistema de coordenadas a usar, capas o coberturas que se necesitan, elementos geográficos en cada una de ellas, codificación y organización de atributos, etc.
Automatización	Captura de datos espaciales en la base de datos (digitalizar, importar o convertir datos), depurar la información (verificar errores de edición), creación de topologías (nodos, redes y polígonos), introducir la información de los atributos en la base de datos y crear sus ligas con los rasgos espaciales.
Administración y Manejo	Transformar la información espacial a sistemas de coordenadas reales, enlazar coberturas adyacentes, mantenimiento y actualización de la base de datos.

A continuación se presentan las características más importantes de dichas etapas, indicando las actividades, procesos y consideraciones especiales de cada una, las cuales se deberán aplicar de acuerdo a las opciones disponibles en los diferentes programas de SIG que se utilicen. En este trabajo se sigue principalmente el modelo de datos de SIG de Arc/Info 7.2 y Arcview 3.x.

#### 3.1 CONCEPTUALIZACIÓN, ANÁLISIS Y DISEÑO

##### 3.1.1 Escalas, proyecciones y sistemas de coordenadas

Se debe evaluar con cuidado la selección de la escala cartográfica más apropiada para desarrollar un proyecto. En general para la selección de la escala cartográfica se deben considerar los siguientes factores:

- ✓ Requerimientos de exactitud y resolución.
- ✓ Disponibilidad de datos y mapas.
- ✓ Disponibilidad de tiempo para la realización completa del proyecto.
- ✓ Costo del proceso de digitalización, barrido óptico electrónico y almacenamiento de datos.

La extensión del área de estudio y el objetivo del proyecto de aplicación representan el parámetro principal para definir proyecciones y escalas de representación cartográfica. Para regiones muy grandes se utilizarán escalas cartográficas pequeñas, tales como 1:1 000,000, cuya aplicación es en el análisis regional. Por otra parte, las áreas de mucho menor extensión se representarán en escalas medias y grandes, tales como

1:50,000, donde los atributos de la localidad y sus zonas adyacentes son determinantes.

Dentro de lo posible, en la integración de datos se deberá de evitar la fusión de materiales multi-escala debido a la diferencia en la exactitud de cada material. Sin embargo, cuando esta operación sea indispensable se deberá de evaluar adecuadamente la exactitud final de la información generada.

#### *3.1.1.1 Proyecciones para la captura de información*

Para la captura de información cartográfica siempre se deberá de respetar la proyección original del mapa. Por ejemplo, si un documento cartográfico proyectado se digitaliza por alguna razón en coordenadas geográficas sin proyección, perdería sus atributos geométricos. El problema anterior se manifiesta especialmente en programas que no soportan la digitalización proyectiva. Es decir, el proceso de digitalizar desde una proyección directamente en otra.

En programas como ArcView GIS 3.x, una vez que se configura la proyección del mapa por capturar, los datos digitalizados se almacenan automáticamente en el sistema de coordenadas geográficas (ESRI, 1996). Este método de digitalización proyectiva resulta muy conveniente para implementar bases de datos espaciales, ya que la mayoría de los programas de SIG proveen diferentes métodos para convertir cualquier punto desde una coordenada esférica (latitud y longitud) a una coordenada cartesiana (x,y).

Sin embargo, cuando los documentos cartográficos no indiquen otra información sobre la proyección, excepto sus coordenadas geográficas (latitud y longitud), entonces se podrán digitalizar dichos materiales en este sistema coordenado.

#### *3.1.1.2 Coordenadas para la implementación de la base de datos*

Se recomienda que la integración de bases de datos espaciales se realice en un sistema de coordenadas geográficas sin proyección con esferoide WGS84. En programas de SIG como ArcView 3.x este sistema de coordenadas permite transformar a valores (x, y) para cualquier proyección cartográfica, realizando la conversión en tiempo real, es decir, durante su despliegue en pantalla. Además el uso de las coordenadas geográficas no está limitado a zonas específicas.

Debido a que se propone que los datos originales se capturen directamente en el sistema de coordenadas de su proyección cartográfica, será necesario transformarlos posteriormente al sistema de coordenadas geográficas sin proyección, para lo cual se debe usar el método mapa a mapa (sección 3.3.2.3). Esta técnica garantiza la calidad en el proceso porque incluye todos los parámetros de la proyección original, lo cual minimiza los errores en la transformación.



### 3.1.1.3 Proyecciones para la elaboración de mapas

Las proyecciones para la elaboración de mapas y productos cartográficos que aquí se proponen se han elegido principalmente de acuerdo a la extensión del área de estudio y a la compatibilidad con la cartografía del INEGI. Sin embargo, aplicaciones con necesidades especiales de representación cartográfica y/o exactitud, pueden definir nuevas proyecciones o adaptar sus parámetros. En este caso el producto final deberá contener la información sobre todas las características de la proyección utilizada.

- Análisis regional: Proyección Cónica Conforme de Lambert

Debido a la extensión este-oeste (E-W) de la FVM se recomienda utilizar la proyección Cónica Conforme de Lambert en la producción cartográfica final de estudios regionales que incluyan toda la FVM. Esta proyección es la que preserva mejor la configuración espacial de superficies que se extienden horizontalmente sobre el mapa, manteniendo la escala verdadera en los paralelos base, entre éstos se reduce y aumenta fuera de los mismos (Kennedy y Köpp, 1994; Maling, 1992). Se ha demostrado que dentro de las proyecciones ortomórficas, la proyección cónica conforme de Lambert es la más favorable para el territorio de México (Poncelis-Gasca, 1983). Además de respetar la forma del territorio cartografiado, esta proyección se utiliza principalmente para la navegación. Por las características mencionadas el INEGI la ha adoptado para sus productos que cubren todo el país en escalas 1:1,000,000 y menores (Tabla 3.2).

	México	Faja Volcánica Mexicana
Esferoide	Clarke 1866	Clarke 1866
Proyección	Cónica Conforme de Lambert	Cónica Conforme de Lambert
1 <sup>er</sup> paralelo base	17° 30'	18° 30'
2 <sup>o</sup> paralelo base	29° 30'	20° 30'
Meridiano central	-102.00	-101.00
Latitud de origen	14.00	17.00
Falso este (metros)	2,500,000.00	2,500,000
Falso norte (metros)	0.00	0.00
Datum horizontal	Norteamericano 1927	Norteamericano 1927

- Análisis local: Universal Transversa de Mercator (UTM)

El sistema de coordenadas UTM es una adaptación especial de la proyección Transversa de Mercator, se diseñó para realizar la cartografía de la mayor parte de la superficie terrestre dividiéndola en zonas con distorsiones mínimas (Maling, 1992; Kennedy y Köpp, 1994). El sistema es totalmente ortogonal, lo cual facilita el cálculo de áreas en el mapa. En este sistema la Tierra se divide en 60 zonas, cada una con extensión de 6 grados de longitud y con su propio meridiano central. Las distorsiones se incrementan desde el meridiano central de cada zona hacia los extremos. Silva-Romo *et al.* (2001) presentan una descripción detallada sobre la construcción de la proyección y el sistema de coordenadas UTM, así como de la nomenclatura para las cartas elaboradas con éste.

Las zonas UTM que cubren el territorio de México se muestran en la Tabla 3.3, la FVM se encuentra dentro de las zonas 13 y 14.

Zona	Extremo Oeste	Meridiano Central	Extremo Este
11	-120°	-117°	-114°
12	-114°	-111°	-108°
13	-108°	-105°	-102°
14	-102°	-99°	-96°
15	-96°	-93°	-90°
16	-90°	-87°	-84°

Para mantener la compatibilidad con la cartografía del INEGI en la elaboración de mapas a escala mayor a 1:1,000,000 se recomienda el sistema UTM, ya que además se utiliza como un estándar internacional. De acuerdo a la escala de los mapas y a la exactitud requerida se puede emplear tanto el *datum* horizontal NAD27, el cual presenta distorsiones de decenas de metros (Mueller, 1974 y Junkins, 1988); así como el sistema de referencia terrestre ITRF (al menos en su versión 92 época 1988.0), el cual tiene exactitud de centímetros (Boucher *et al.*, 1993).

El NAD27 fue diseñado por William Bowie a principios de siglo, con el propósito de tener una precisión promedio de 1/25,000, sin embargo este objetivo no fue alcanzado debido a inconsistencias en los métodos de observación, cálculos no rigurosos, carencia de un ajuste integral, distribución heterogénea de las observaciones y movimientos de la corteza terrestre, entre otras causas de error (Hernández-Navarro, 1992a). La combinación de todos estos efectos produce inconsistencias en el sistema que arrojan una precisión de una parte en 15,000 en promedio (NAS, 1971; DMA, 1972).

El *IERS Terrestrial Reference Frame* (ITRF) fue establecido en 1988 por el *Internacional Earth Rotation Service* (IERS) de París con el objetivo de realizar el monitoreo preciso de los *Earth Orientation Parameters* (EOP). Este sistema utiliza principalmente técnicas tales como *Very Long Baseline Interferometry* (VLBI), *Satellite Laser Ranging* (SRL) y *Doppler* por satélite. Desde 1988 se ha producido anualmente una solución ITRF para incorporar nuevas observaciones y estaciones que permitan mejorar el conocimiento de las velocidades de las estaciones (indispensable para mantener la exactitud del marco de referencia) (Boucher, 1990; Álvarez-García *et al.*, 1992). Además, las observaciones GPS han constituido la técnica más eficiente para la densificación del ITRF.

Por lo anterior, el ITRF (en sus diferentes versiones) es un marco de coordenadas geocéntrico absoluto, con el origen en el centro de masa de la Tierra, incluyendo los océanos y la atmósfera (Boucher, 1990). La geocentricidad del ITRF hace que este sistema de coordenadas sea válido para todo tipo de investigaciones científicas (Álvarez-García *et al.*, 1992). En general para aplicaciones cartográficas se recomienda utilizar la solución de 1992 porque es la utilizada en la nueva cartografía del INEGI y porque mantiene exactitud de centímetros. Sin embargo, algunos estudios de Ciencias de la Tierra que requieren mayor exactitud, tales como los relacionados con el movimiento de placas tectónicas, utilizan las soluciones ITRF más recientes, por ejemplo el ITRF97 o ITRF2000.

Debido a que el NAD27 y el ITRF92 son sistemas definidos en forma diferente son incompatibles entre sí, lo que ocasiona que no sea posible llevar las coordenadas de un sistema al otro sin introducir severas deformaciones (Hernández-Navarro, 1992a). Sin embargo, el método adoptado de manera oficial en México por el INEGI, se basa en la modelación matemática de las diferencias entre los dos sistemas involucrados (Hernández-Navarro, 1992b). El tratamiento de la información se fundamenta en la técnica de ajustes de superficies, a través de funciones algebraicas mezcladas, desarrolladas originalmente en Canadá para determinar alturas geoidales en función de la desviación de la vertical (Vanicek y Merry, 1973).

Con el propósito de homogeneizar la transformación entre el NAD27 y el ITRF92, el INEGI implementó el algoritmo de transformación mencionado dentro del programa TRANINV. Este programa sirve para convertir exclusivamente datos puntuales. Se puede utilizar en escalas iguales y/o menores a 1:5,000, ya que la solución final adoptada se generó con 251 observaciones GPS, realizadas en vértices geodésicos generando un error RMS de  $\pm 3$  m, lo cual gráficamente representa a dicha escala 0.6 mm.

Por otra parte, Álvarez-García et al. (1992) demostraron que las diferencias entre el ITRF y el datum NAD83 utilizado en la cartografía del USGS de Estados Unidos son de  $\pm 2$  m, lo cual las hace imperceptibles para las cartas iguales o menores a 1:20,000. De acuerdo con esto, y considerando que la escala cartográfica más utilizada en las tesis de la UNAM es 1:50,000, para realizar una integración rápida con esa tolerancia utilizando programas de SIG, se puede efectuar la transformación de cartografía digital de NAD27 a NAD83. Esta operación permitirá hacer comparaciones con la cartografía elaborada con ITRF92.

El documento cartográfico que se elabore con el sistema de coordenadas UTM deberá contener como mínimo los parámetros cartográficos que se indican en la Tabla 3.4.

Esferoide	Clarke 1866 / GRS80
Proyección	Transversa de Mercator (UTM)
Sistema de Coordenadas de la Cuadrícula	UTM a cada X metros
Datum Horizontal / Sistema de Referencia Terrestre	Norteamericano de 1927 / ITRF92 Época 1988.0
Zona UTM	13 ó 14 (Norte) para la FVM según corresponda.

Finalmente, cuando se utilice el sistema UTM se debe de considerar que las áreas menores a 6 grados en longitud que se encuentren entre dos zonas UTM, se tienen que representar en mapas separados para mantener la precisión cartográfica. Sin embargo, es posible realizar sobreposición de zonas aproximadamente en un rango de 40 km de traslape. Proyectos incluidos en dicha región pueden utilizar cualquiera de las dos zonas UTM, no así cuando el área de estudio se extienda, en cuyo caso se deberá utilizar la zona UTM que contenga el mayor porcentaje de dicha región (Kennedy y Kopp, 1994).

### 3.1.2 Selección de datos e información requerida

La incorporación de datos dentro de cualquier proyecto de cartografía digital lleva implícito el procedimiento de captura o conversión a formatos que se puedan utilizar de manera directa por el programa seleccionado. En general, los tipos de datos a capturar o transformar para el manejo interno son muy amplios, entre los cuales se pueden mencionar: cartografía previa (impresa o digital), estadísticas, observaciones en campo, mediciones de laboratorio, imágenes de sensores remotos y registros de coordenadas a partir de sistemas GPS (Luna-González, 1997).

Para la instrumentación de la base de datos espacial resulta indispensable considerar previamente los tipos de datos y los formatos de captura que van a integrarla.

Los datos por incorporar se deben seleccionar de acuerdo a los objetivos de cada proyecto. A continuación se muestran los tipos de elementos geométricos y algunos ejemplos de los rasgos geográficos que representan:

- ✓ Puntos: sitios de muestreo y medición, puntos de control en el terreno.
- ✓ Líneas: fallas y lineamientos, ríos (perennes o intermitentes), carreteras.
- ✓ Polígonos: estados y municipios, unidades litoestratigráficas, unidades geomorfológicas.
- ✓ Celdas y píxeles: modelos digitales de elevación e imágenes de satélite.

Para facilitar el manejo, la representación y el análisis de los diferentes datos, la organización de los rasgos geográficos se debe realizar en capas, como por ejemplo: estructuras disyuntivas, carreteras, curvas de nivel y municipios. Cada grupo de objetos que representen un tipo de rasgo geográfico diferente se deberá almacenar en una cobertura o vista temática separada. En esta fase se recomienda definir el orden a seguir en la digitalización de puntos, líneas y polígonos, ya que afecta en la construcción de las relaciones espaciales entre rasgos geográficos vecinos (ESRI, 1997).

### 3.1.3 Nomenclatura y codificación de la información

En esta fase se debe definir el sistema de nomenclatura adoptado en la integración de los datos, ya sean en formato raster o vectorial. Todos los nombres de coberturas y archivos generados deben seguir una nomenclatura sencilla y almacenarse en disco de acuerdo a estructuras de árbol lógicas. Por lo tanto, se debe de crear un documento de referencia separado, el cual tiene que describir la nomenclatura empleada. En el caso de datos vectoriales se debe incluir también la determinación del formato de registro de los atributos y la elaboración del diccionario de datos, es decir, el significado de los campos usados en la base de datos (ESRI, 1997).

### 3.2 AUTOMATIZACIÓN

La automatización de datos espaciales representa el medio que asegura la consistencia en la calidad de la información. Se debe tener precaución en el seguimiento de algunas medidas relacionadas con los procesos de captura para asegurar la exactitud adecuada de dicha información. En esta sección se presentan los principales procesos para la creación de datos digitales.

#### 3.2.1 Importación y ligas directas

En la actualidad la mayoría de los programas de SIG cuentan con herramientas que permiten leer directamente formatos pertenecientes a otros programas, así como a estructuras estandarizadas de información espacial (Earth Resource Mapping, 2000). Algunos programas pueden incluso editar dichos archivos sin cambiar su formato, otros requieren para esta función realizar las operaciones de importación a una estructura interna. Esta última opción es la que se recomienda utilizar cuando se decide integrar cualquier dato a un proyecto con propósito de editarlo, ya que en general tendrá un mejor uso de las funciones analíticas del programa utilizado y reducirá los tiempos de procesamiento.

##### 3.2.1.1 Formatos gráficos raster

Los gráficos *raster* más utilizados corresponden a imágenes de sensores remotos, Modelos Digitales de Elevación (DEM), datos de variables geofísicas interpolados, así como fotografías y mapas. Dichas imágenes tienen diferentes aplicaciones, por ejemplo en la edición y actualización de información cartográfica vectorial. En el Anexo 3.1 se presentan las características de los formatos gráficos *raster* más utilizados en la implementación de una base de datos de cartografía digital.

##### 3.2.1.2 Formatos gráficos vector

El formato gráfico *vector* es el más utilizado para la producción cartográfica digital porque la mayoría de los programas de CAD como GIS permiten ligar los objetos geográficos con tablas de atributos no espaciales, las cuales pueden estar almacenadas en bases de datos internas o externas. El Anexo 3.2 muestra las características más importantes de los formatos *vector* más comunes.

#### 3.2.2 Digitalización

Es el proceso más común de conversión de información gráfica existente en papel a formato digital vectorial. Si ya existe una capa base en formato digital que contiene algunos puntos o líneas, los cuales representan los mismos rasgos a digitalizar en una nueva cobertura, se deben de copiar de la misma y evitar ser digitalizados nuevamente. Para este proceso se requiere que la capa base sea de la misma escala y con exactitud similar a la del material digitalizado.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 3.2.2.1 Preparación de los mapas fuente

#### Materiales con geocodificación

Antes de que se digitalize cualquier mapa, se debe tratar de conocer las características de su proyección. Los mapas por digitalizar deben estar en condiciones adecuadas para el proyecto, ya que los errores en la fuente original se reflejarán en el mapa digital. En particular se requiere determinar si la exactitud absoluta o relativa de cada mapa es funcional para el proyecto, si la fecha del mapa es válida para los objetivos y si los diferentes mapas están en la misma escala (ESRI, 1997).

Los mapas, planos y dibujos en papel son susceptibles de modificar sus dimensiones con los cambios de humedad. Por lo tanto, la digitalización desde tales productos se debería de evitar. Dentro de lo posible, se recomienda copiar los rasgos de interés a un medio más estable, el papel estabilizado (*mylar* o *vellum*) sobrepuesto servirá para tal propósito. De esta forma, la digitalización de coberturas homogéneas mantendrá un material libre de otros rasgos que dificultarían el proceso de digitalización. En el proceso de copiado, cada cobertura se debe registrar con respecto al material original usando un mínimo de 4 puntos de control evidentes (*tics*), por ejemplo las esquinas del área representada (ESRI, 1997).

Sobre las coberturas copiadas en el material dimensionalmente estable, además de los *tics*, se deben realizar algunas anotaciones, las cuales permitirán su identificación. Por ejemplo: tema del material cartográfico, número de serie o clave, escala, proyección, *datum*, fecha, responsable de la digitalización, institución y nombre del proyecto.

#### Materiales sin geocodificación

Algunos materiales derivados de fotointerpretación directa sobre fotografías aéreas no contienen geocodificación, sin embargo se pueden registrar a partir de puntos de control correspondientes a las marcas fiduciales. Por lo tanto, se deberá marcar un mínimo de 4 *tics* de registro en cada cobertura derivada.

Antes del uso de fotografías aéreas, se debería de conocer información adicional como la escala de la misma, la fecha y hora del vuelo. Para minimizar la distorsión, se debería de utilizar solo el área efectiva de las fotos, es decir, donde la distorsión está minimizada. Por ejemplo, en zonas de bajo relieve el área efectiva de una fotografía de 9"x9" se reduce a solo 6"x6".

### 3.2.2.2 Calibración

La calibración es el proceso de creación de una correspondencia entre el sistema de coordenadas del mapa con un sistema de coordenadas cartesianas. Una vez configurada la tableta digitalizadora, las operaciones son las siguientes:



### Fijar el mapa a la tableta

Los materiales por digitalizar se deben tratar con cuidado y precaución para mantener sus propiedades dimensionales y la exactitud, en especial no se deberían de doblar, rasgar, manchar o modificar. Para su captura se deben fijar a la tableta utilizando una cinta adhesiva en sus extremos.

### Calibración del digitalizador

Este proceso se realiza para registrar el digitalizador con el sistema de coordenadas que se está usando en el mapa. Cuando se inicia el comando correspondiente, con el digitalizador se indican los puntos sobre el mapa, y se capturan las coordenadas respectivas por cada punto en el mapa impreso.

Lógicamente, entre más puntos se seleccionen para calibrar el mapa, será mayor la exactitud de la transformación; sin embargo, esta relación no siempre es funcional. El número de puntos requeridos depende del tamaño total del mapa, el nivel de precisión que se necesita y la distorsión del original. La selección de un máximo de 9 puntos es una buena regla; especificar un número mayor incrementa el tiempo de cómputo con mejoras mínimas en la exactitud (Autodesk, 1999). Si el original es un material nuevo o bien conservado y sin dobleces, 4 puntos en las esquinas y 2 puntos internos deberían ser suficientes. Lo más importante es distribuir los puntos alrededor de todo el mapa y evitar que se concentren (Anexo 3.3).

Para completar la calibración, se requiere elegir una opción de transformación y calcular los errores asociados con las opciones de transformación disponibles (*orthogonal*, *affine* y *projective*; Autodesk, 1999). Cuando los cálculos estén completos, se podrán evaluar los resultados para cada tipo de transformación (Tabla 3.5).

Opción	Características
<i>Orthogonal</i>	Necesita solo 2 puntos de calibración especificados y digitalizados para crear una transformación consistente de traslación arbitraria, escalado uniforme y rotación. Este método no se recomienda a menos que solo se puedan encontrar 2 puntos.
<i>Affine</i>	Requiere un mínimo de 3 puntos. Permite una transformación de la tableta incluyendo traslación, escalado independiente en (x,y), rotación y sesgo. Provee una transformación lineal arbitraria en un espacio bidimensional. Es el método idóneo para registrar mapas en un sistema de coordenadas cartesiano como el UTM.
<i>Projective</i>	Necesita por lo menos 4 puntos. Realiza una transformación equivalente a una proyección perspectiva de cualquier plano en otro plano. Llevada a cabo por estiramiento del original en diferentes proporciones. Es la mejor opción para materiales derivados de imágenes de satélite.

### Determinación de errores permisibles

El error cuadrático medio o RMS (*Root Mean Square*), indica qué tan uniforme o extrema resultó la transformación de calibración, los valores bajos cercanos a 0 indican mejor calibración. Algunos programas como AutoCAD Map 2000 reportan la desviación estándar en todos los puntos de calibración, el error residual indica qué tan lejos un

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

punto de calibración está con respecto a su localización supuesta y es la diferencia entre el punto de calibración actual y el punto calculado por la transformación. Una gran diferencia indica un error en el procedimiento, invirtiendo alguna de las coordenadas capturadas (error muy común) o incorporando algún punto extraño.

Para seleccionar el tipo de transformación se debe de elegir la opción con los valores RMS y desviación estándar menores (Autodesk, 1999). La tolerancia para algunos programas como ARC/INFO considera que el RMS máximo en el registro sea de 0.127 mm (0.005") medidos sobre el papel, los cuales multiplicados por la escala indicarán el valor en el terreno (ESRI, 1997). De acuerdo con esta tolerancia, en el caso de mapas a escala 1:50,000, el error RMS debe ser menor a 6.35 metros en el terreno.

### 3.2.2.3 Consideraciones durante la digitalización

La capacidad de realizar sobreposición entre polígonos, líneas o puntos es una característica esencial de los programas de SIG vectoriales. Constituye la parte central de las tareas de análisis espacial. Por lo tanto, se requiere de una estructura adecuada de los datos para realizar estas funciones. Todas las medidas y precauciones que se tomen durante la digitalización mejorarán la calidad en la integración final de los datos espaciales.

En general se recomienda digitalizar suficientes puntos para representar con exactitud rasgos lineales y de superficie (polígonos). Las impresiones de materiales previamente digitalizados, cuyos archivos originales no sean accesibles y requieran digitalización, deberán de mantenerse dentro de un rango de 0.25 mm (0.01") de variación con respecto a los rasgos del material fuente. De esta manera se evitará la generación de nueva información con errores mayores a los permisibles por la escala. Se deben de capturar solo los puntos que cumplan dicho valor, ya que puntos innecesarios requieren procesamiento extraordinario y espacio de almacenamiento.

Como recomendación se debe digitalizar a lo largo del centro de las líneas y en el centro de los puntos. La tolerancia recomendada para la distancia entre dos puntos (tolerancia *weed* en ARC/INFO) es de 0.05 mm (0.002") sobre la tableta de digitalización, los cuales multiplicados por la escala del material darán el valor en el terreno (ESRI, 1997). Por ejemplo, en mapas a escala 1:50 000 esta tolerancia debería ser de 2.5 m

En el Anexo 3.4 se presentan recomendaciones específicas para la digitalización de puntos, líneas y polígonos.

### 3.2.2.4 Codificación de Atributos y Diccionario de Datos

Cada punto, línea y polígono debe tener un solo número de identificación (*ID*) de rasgo. Cada proyecto debe de desarrollar un Diccionario de Datos, el cual contendrá una lista con la explicación de todos los esquemas de codificación existentes.



### 3.2.2.5 Topología

#### Generación de limpieza (pre-topología)

El componente gráfico de todos los datos digitales producidos se debe limpiar para depurar su manejo. Lo cual significa que en los datos capturados no deben existir: polígonos con bordes duplicados, abiertos, sin etiqueta; etiquetas duplicadas o fuera de polígonos; segmentos sin conectar o cruzados y líneas sin intersección (ESRI, 1997; Autodesk, 1999)

#### Procesamiento topológico en ARC/INFO

Para completar la integración de los datos, se deben realizar operaciones de limpieza y/o construcción de topología. Por ejemplo, los polígonos se deben depurar, la limpieza incluye intersección de líneas, eliminación de segmentos que cruzan una intersección, integración de segmentos independientes al rasgo más cercano a través de un nuevo nodo y, finalmente, generación de la topología. A diferencia de la limpieza, la construcción de topología realiza exclusivamente el último paso. La selección de cuál opción utilizar para el caso de líneas es una función del tipo de datos, los procedimientos empleados y los objetivos de aplicación. El uso excesivo de las funciones de limpieza puede cambiar la geometría de los rasgos, debido a la creación de la estructura topológica. Este cambio se llama 'fuzzy creep' y se crea cuando se fusionan arcos cercanos y nodos (ESRI, 1997).

Los errores se detectan en una gráfica disponible en las funciones de algunos sistemas como en el módulo ARCPLOT de ARC/INFO 7.x. Dicha gráfica presenta los errores de nodos y de etiquetas. Los errores de nodos incluyen arcos sin conexión a un nodo (*undershoots*) y arcos que pasan el límite dado por una intersección (*overshoots* o *dangles*). Los errores en las etiquetas incluyen omisión y duplicación. A continuación se describe cómo evitar y corregir dichos errores (ESRI, 1997).

#### Prevención de errores

Para evitar errores *undershoot* y trabajo de edición en nodos se recomienda que durante la digitalización el operador cruce ligeramente el límite dado por una intersección, es decir que genere *overshoots* o *dangles*. Cuando se limpie la cobertura, los *overshoots* generados con distancia menor a la longitud de la distancia *dangle* se cortarán hasta donde se encuentra el nodo correspondiente. Un *overshoot* más largo que la distancia *dangle* se puede borrar fácilmente después de limpiar la cobertura. Resulta mucho más fácil y exacto borrar un arco *overshoot* que unir un arco *undershoot* a otro normal. Por ejemplo, en ARC/INFO, cuando se utiliza ARCEDIT, el ambiente de SNAP se debe configurar con la capacidad para realizar funciones tanto de integración de arcos (ARC SNAP) como de nodos (NODESNAP); así como también para evitar errores en nodos.

Para evitar errores en etiquetas, se deben capturar solo después de que todos los elementos de la cobertura planeada se hayan completado y certificado por su consistencia topológica. Las opciones para la creación automática de etiquetas son disponibles en diferentes programas. Por ejemplo, en ARC/INFO el comando CREATELABELS genera un punto de etiqueta exclusivo para cada polígono dentro de la cobertura. El *ID* del rasgo indicado se carga en la tabla de atributos o reemplaza el *ID* generado automáticamente por CREATELABELS, también se puede agregar un campo separado a la tabla de atributos de polígonos (PAT) para el contener el *ID* del rasgo.

### Corrección de errores

En general, se debería minimizar el uso de las funciones de limpieza. En ARC/INFO el comando CLEAN se puede usar en forma de diagnóstico. En esta modalidad, se ejecuta el comando y se producen gráficas de error desde los resultados producidos por la limpieza, pero se corrigen los errores detectados sobre la cobertura original (pre-CLEAN). El uso repetido de las funciones de limpieza causa el problema "fuzzy creep", ya descrito, el cual genera cambios pequeños en la geometría de los rasgos.

Si la limpieza no cubre muchos de los errores en nodos, se puede indicar un cambio en uno o ambos de los parámetros usados por el comando CLEAN. Si hay muchos *undershoots* con pequeños espacios, la cobertura original se debería de limpiar de nuevo con una tolerancia *fuzzy* más grande. La tolerancia *fuzzy* automática en las funciones de limpieza es de 1/10,000 del ancho de la cobertura (0.002 si la cobertura está en coordenadas de pulgada). Sin embargo, se puede duplicar e incrementar hasta 1/1000 del ancho de la cobertura (0.02 para coordenadas en pulgadas; ESRI, 1997).

Si hay muchos arcos tipo *dangle*, la cobertura original se debería de limpiar de nuevo con una distancia *dangle* más grande. La distancia *dangle* automática es 0, parámetro que se puede configurar a un rango comparable al descrito anteriormente para la tolerancia *fuzzy*. Si ambos problemas persisten, ambos parámetros se deberían de incrementar antes de limpiar la cobertura original nuevamente. Se espera que si la cobertura se vuelve a limpiar, se genere otra gráfica de error con menor número de errores en nodos. Los errores remanentes se deben corregir en la cobertura original, en ARC/INFO se puede utilizar ARCEDIT o ADS.

Si hay varios *undershoots* en una cobertura, se debería considerar un procedimiento de fusión alternativo con funciones del programa. En ARC/INFO, dicha operación se realiza con la función ARCEDIT EXTEND FEATURE, o bien, MATCHNODE con la opción EXTEND.

El proceso para corregir errores en las etiquetas es mucho más directo. Si existen etiquetas duplicadas, cualquiera de los arcos que se supone las separan se debe de unir o un nodo para definir 2 polígonos, o bien, uno de los puntos de etiqueta se debe de borrar. Una etiqueta omitida o ausente simplemente se debe de capturar dentro del polígono correspondiente.

Una vez que los errores de nodos y etiquetas se han corregido, la versión final editada de las coberturas originales se debe de generar (BUILT) o limpiar (CLEAN), produciendo la gráfica de errores como se explicó anteriormente. Cuando dejan de aparecer errores, la cobertura se puede considerar topológicamente certificada y con esto se completa toda la fase de digitalización.

### 3.2.3 Barrido Óptico Electrónico (BOE)

El BOE constituye una de las vías alternas para la automatización cartográfica. La mayor parte de los mapas topográficos se realizan por métodos fotogramétricos que implican el uso de dicha técnica, también es más frecuente la aplicación de métodos de vectorización automática a partir de imágenes de documentos cartográficos. La Tabla 3.6 muestra las principales características de los dispositivos para realizar el BOE.

Categoría	Documentos	Máxima Resolución Óptica (dpi)	Tamaño máximo de barrido	Factor limitante para aplicación en cartografía
<i>Scanners</i> genéricos de cama plana	Texto, gráficos Mapas pequeños o en partes	600 1200	A4 (8 27"x 11 69") Tabloide (11"x17")	El tamaño máximo de barrido (carta/A4) no es adecuado para fotos aéreas.
<i>Scanners</i> de cilindro	Planos, Mapas, Carteles	1000	1m x 1m	Es muy lento para realizar el barrido
<i>Scanner</i> con Sistema de Video Electrónico	Planos, Mapas, Carteles	400	1m x 1m	Baja resolución en el barrido
<i>Scanner</i> de formato grande con sensor CCD	Planos, Mapas, Carteles	50-800- configurables con incrementos de 1 dpi	E/A0 (36" x 40")	Son sistemas relativamente caros
<i>Scanners</i> Fotogramétricos	Rollo de película, Diapositivas	2500-6350	32cm x 32 cm	Son sistemas muy caros

En general, para la aplicación de BOE en cartografía se debe evitar el barrido de documentos que se han impreso con la técnica de medios tonos, ya que en lugar de detectar líneas sólidas o colores de tinta, el BOE detectará cada uno de los puntos existentes. El resultado de este proceso genera una imagen perfectamente aceptable, pero imposible de procesar en *software* de vectorización. En el Anexo 3.5 se pueden consultar los pasos generales del BOE.

#### 3.2.3.1 Mapas

Se recomienda realizar el barrido de mapas y documentos cartográficos tales como ortofotos, ortofotomapas y espaciomaps en resoluciones mínimas de 300 dpi. Por ejemplo, un mapa del INEGI escala 1:50,000 barrido a 300 dpi genera imágenes con tamaños de píxel de 4.2 m. Para una imagen de este tipo el tamaño de archivo en formato TIF con 8 bits (256 colores indexados) sería ~70 MB sin compresión.

#### 3.2.3.2 Fotografías aéreas

Para obtener la información disponible en fotografías aéreas con la mejor exactitud se requiere el empleo de *scanners* fotogramétricos, los cuales permiten entre otras

especificaciones, un muestreo óptico menor a 10  $\mu\text{m}$  (~2540 dpi). Para mejores resultados se recomienda el BOE directamente de la película original o de la diapositiva en tono continuo de cada foto, usando resoluciones mínimas de 500 dpi y guardando las imágenes obtenidas en formato TIFF sin compresión.

Dos factores afectan la resolución de la imagen y el tamaño de los rasgos más pequeños en la imagen digital de la fotografía aérea, estos factores son:

- ✓ La escala de la fotografía original. Determinada por la altura del vuelo sobre el terreno y la distancia focal de la cámara.
- ✓ La resolución del barrido. Determinada por los puntos por pulgada (dpi) usados para realizar el BOE de la fotografía aérea.

La Tabla 3.7 muestra un ejemplo comparativo entre la escala de fotografía aérea a utilizar y la resolución aproximada que se debería de aplicar durante el barrido.

Escala de la foto aérea		10,000	24,000	40,000	Tamaño de la imagen obtenida (en píxeles y en MB)		
Kilómetros de ancho		2.3	5.5	9.1	Tamaño de la imagen obtenida (en píxeles y en MB)		
Resolución		Tamaño del píxel en el terreno (en metros)			Longitud en Píxeles	Color a 24 bits (MB)	Grisés (MB)
(dpi)	( $\mu\text{m}$ )						
150	170	1.7	4.1	6.8	1,350	5	2
300	85	0.8	2.0	3.4	2,700	21	7
600	42	0.4	1.0	1.7	5,400	83	28
1200	21	0.2	0.5	0.8	10,800	334	111
2400	11	0.1	0.3	0.4	21,600	1,335	445

El INEGI dentro de sus normas técnicas para la elaboración de ortofotos digitales (INEGI, 2000) considera para el barrido de las fotografías aéreas los elementos expresados en la Tabla 3.8. En esta tabla, se muestran los valores de tamaño de píxel en el archivo digital, su equivalencia en el terreno y el tamaño del archivo en función de la escala de la fotografía y la escala final de la ortofoto.

En el Anexo 3.6 se muestra el procedimiento genérico para el BOE de fotografías aéreas, especialmente para aquellas que serán utilizadas en la composición de ortofotomosaicos con escalas no incluidas en estas tablas.

Tabla 3.8: Relación entre la escala y la resolución de barrido de fotografía aérea (INEGI, 2000)

"Escala de la Ortofoto"	Escala del Vuelo	Tamaño del pixel en el archivo digital ( $\mu\text{m}$ )	Tamaño del pixel en el terreno (m)	Tamaño del archivo (MB)
1:20 000	1:75 500	12.5	0.94	340
		25	1.9	85
		30	2.26	59
1:10 000	1:37 500	12.5	0.47	340
		25	0.94	85
		30	1.125	59
1:5 000	1:20 000	12.5	0.25	340
		25	0.50	85
		30	0.60	59
1:2 000	1:10 000	12.5	0.125	340
		25	0.25	85
		30	0.30	59
1:1 000	1:4 000	12.5	0.0625	340
		25	0.125	85
		30	0.15	59

### 3.2.4 Vectorización

La vectorización es la conversión de cualquier modelo de datos espacial a una estructura de datos vectorial. Normalmente se refiere a la conversión desde el sistema *raster*, dicho proceso implica una pérdida de precisión en la representación de los datos derivada de las diferentes resoluciones entre los modelos (Clark, 1995; sección 1.2.4.2). Esta conversión puede ser de puntos, líneas y polígonos. Sin embargo, considerando que la conversión de líneas es la más complicada y una de las más importantes en cartografía, es la única técnica que se describe en el Anexo 3.7. Algunos programas de vectorización con tal enfoque son ArcScan para Arc/info de ESRI, CAD Overlay de Autodesk, I/GeoVec y GeoVec Office de Intergraph. En general, todos ellos tienen funciones para realizar las etapas de la vectorización definidas en el Anexo 3.7 (Clark, 1995; Robinson *et al.*, 1995; Decelis-Burguete, 2001). En México el Instituto Politécnico Nacional ha desarrollado una metodología para la vectorización completa de líneas, con la ventaja que su propuesta requiere intervención mínima del usuario (Decelis-Burguete, 2001).

## 3.3 ADMINISTRACIÓN Y MANEJO

### 3.3.1 Corrección geométrica de imágenes

En esta sección se analizan las técnicas de corrección aplicadas a imágenes de sensores remotos, fotografía aérea y cartografía impresa.

### 3.3.1.1 Distorsiones presentes en datos de sensores remotos

Para que las imágenes de sensores remotos se puedan utilizar en el ambiente de un SIG se requiere realizar primero la corrección de las distorsiones geométricas. La tabla 3.9 muestra las principales distorsiones presentes en las imágenes de sensores remotos.

Tipo de Plataforma	Rotación y curvatura de la Tierra	Relieve terrestre	Estabilidad
Satélite	✓ ✓ ✓	✓	Las orbitas casi sin perturbación tienen la ventaja de gran estabilidad en altitud y velocidad
Avión	✓	✓ ✓ ✓	Propensos a las distorsiones presentes en la trayectoria del vuelo (variaciones de altitud y velocidad, <i>pitch</i> , <i>roll</i> y <i>yaw</i> ), así como a efectos panorámicos relacionados con la geometría de las imágenes.

\*El número de símbolos de verificación es proporcional al grado de afectación o distorsión que se produce de acuerdo a la plataforma.

Existen además distorsiones geométricas que son propias del proceso de captura del sensor, tales como: tasa de barrido, alineación errónea en sensores de barrido, amplio campo de vista, efectos propios de la geometría de visión lateral en sensores activos, entre otros (Ehlers, 1997).

### 3.3.1.2 Operaciones de corrección geométrica de imágenes

De acuerdo con Ehlers, (1997) las operaciones de corrección geométrica son:

**Referencia de imágenes.** Técnica que consiste en referenciar los píxeles de la imagen a un sistema de coordenadas maestras. Este sistema puede ser de coordenadas de píxeles de una imagen patrón (referencia relativa) o un sistema de coordenadas geodésico o geográfico (referencia absoluta o *georreferencia*). Este proceso no incluye la modificación geométrica de la imagen por referenciar (imagen esclava), constituye solamente el cálculo de una función de transformación de coordenadas.

**Registro.** Proceso que se realiza después del cálculo de la función de transformación de coordenadas. Incluye la modificación geométrica de los píxeles de la imagen esclava en la geometría de la imagen maestra o la definida en la cartografía base. El registro también puede incluir el reformateo del tamaño de los píxeles y en consecuencia la asignación de nuevos valores en los niveles digitales de la imagen.

**Rectificación.** Proceso de registro de una imagen a un sistema de coordenadas del mundo real (geodésico o geográfico). Por lo tanto, la rectificación se conoce también como geocodificación, proceso de corrección que elimina los errores geométricos (locales y globales), y transforma la imagen de acuerdo a un sistema de coordenadas.

Las técnicas de registro y rectificación se pueden combinar cuando la imagen esclava se registra a una imagen maestra ya geocodificada.

**Remuestreo.** Es una parte del proceso de registro/rectificación. Puede incluir la asignación de nuevos valores en los niveles digitales de la imagen, ya que con frecuencia la localización de los píxeles registrados o geocodificados no se proyectan en la localización exacta de un píxel, por lo cual se deben interpolar por algún método.

**3.3.1.3 Cuando aplicar la corrección geométrica de imágenes**

La corrección geométrica es un requerimiento fundamental para el procesamiento integrado de datos de sensores remotos con datos SIG. De hecho, para realizar la sobreposición de imágenes y generar catálogos o mosaicos de las mismas, se debe utilizar la misma proyección cartográfica. En la Tabla 3.10 se presentan diferentes ejemplos de aplicaciones donde se requiere realizar necesariamente la corrección geométrica de imágenes.

Tabla 3.10 Aplicaciones que requieren la corrección geométrica de imágenes (Earth Resource Mapping, 2000)	
1.	Comparación entre imágenes. Detección de cambios, identificación de áreas que han cambiado durante determinado tiempo. Ambas imágenes requieren estar geocodificadas a una proyección específica, o al menos registrada una con respecto a la otra.
2.	Mosaico de imágenes. Integración de imágenes independientes en una sola para cubrir completamente una área geográfica de interés
3.	Fusión de datos. La geocodificación resulta indispensable cuando se requiere sobreponer o integrar diferentes imágenes y datos de la misma zona, mezclando sus bandas con el propósito de realizar diferentes operaciones matemáticas o de realce
4.	Medición. Cuantificación indirecta de parámetros geométricos, actualización de bases de datos de un SIG, aplicaciones que requieren el conocimiento del tamaño de los rasgos en el terreno (área, dirección y distancia)
5.	Elaboración de Mapas. Para incorporar datos vectoriales, sobreponer la malla de coordenadas y otros elementos con georreferencia.
6.	Actualización de imágenes. Para actualizar parte de una escena más vieja, incluso toda una imagen.

La tabla 3.11 indica los métodos de corrección geométrica que son más apropiados.

Tabla 3.11 Métodos de corrección geométrica de acuerdo al tipo de imagen (Earth Resource Mapping, 2000; RSI, 2000)					
Tipo de imagen	RST	Polinomial	Triangulación	Ortorectificación	IGM*
Satélite óptico (Landsat)	✓	✓			
Satélite óptico (SPOT)	✓	✓		✓	
Satélite de radar		✓			
Aerofotos			✓	✓	
Scanner óptico aerotransportado		✓	✓		
Radiómetro Hiperespectral aerotransportado					✓

\*IGM, Input Geometry.

**3.3.1.4 Georreferencia de imágenes**

Las imágenes se almacenan como datos raster (Anexo 3.1), donde cada celda en la imagen tiene un número de renglón y columna. Para desplegar datos vectoriales sobre imágenes se requiere establecer un método de transformación de coordenadas de imagen a coordenadas en el mundo real (georreferencia). Esta información se almacena comúnmente con la imagen, en el mismo archivo donde reside la matriz de datos, como por ejemplo: GeoTIFF, ERDAS LAN, GIS e IMAGINE (IMG). Algunos

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

formatos como BSQ, BIL, BIP, GeoSPOT y Er-Mapper almacenan las características de la georreferencia en el archivo encabezado de la imagen. Sin embargo, otros formatos almacenan dicha información en un archivo ASCII. Estos archivos generalmente se denominan *world*, ya que contienen los datos para realizar la transformación a coordenadas del mundo real (ESRI, 1996). Por lo tanto, los archivos *world* se pueden crear y/o editar con cualquier editor de texto. También se pueden crear casi en forma automática desde diferentes sistemas o usando el comando REGISTER de ARC/INFO.

En el Anexo 3.8 se explica detalladamente la transformación de coordenadas usando archivos *world* y se muestran las características para generar dichos archivos.

### 3.3.1.5 Rotación de la Imagen

Con frecuencia es más fácil rotar o realizar la transposición horizontal o vertical de las imágenes antes del registro para dejarlas aproximadamente en la orientación correcta (RSI, 2000). Esta operación facilitará la rectificación en el método imagen a imagen (sección 3.3.2.1), así como el método imagen a mapa (sección 3.3.2.2). La mayoría de los programas permiten seleccionar una parte de la imagen y realizar el proceso en forma estándar (con múltiplos de 90 grados) o indicando el ángulo exacto de rotación con un algoritmo de remuestreo (sección 3.3.5), en este método se debe elegir también el valor de fondo deseado en ND para los píxeles sin dato. Algunos programas permiten realizar la matriz transpuesta de la imagen, en forma vertical rotando 270 grados con transposición, y en forma horizontal rotando 90 grados con transposición (si el sistema cuenta los grados en el sentido de las manecillas del reloj).

Si se requiere solo remuestrear la imagen, es decir cambiar el tamaño del píxel, se debe seleccionar la técnica de remuestreo con rotación nula.

### Rectificación de Imágenes de Mapas

En proyectos de restauración y reproducción de cartografía se requiere mantener solo la calidad del producto gráfico, con lo cual es suficiente el archivo que se obtiene de un material cartográfico por BOE. Sin embargo, algunos proyectos de SIG requieren que la imagen del documento cartográfico sea georreferida. Para lo cual se debe determinar el ángulo de desplazamiento promedio utilizando por lo menos 4 puntos de referencia, después el archivo se debe rotar. Tales operaciones se pueden realizar en programas como Photoshop. Finalmente, se debe construir un archivo *world* que incluya la información de la georreferencia (sección 3.3.1.4).

Otro método para rectificar la imagen de un mapa es a través de puntos de control en el terreno (GCP), los cuales deben ser por lo menos 9. En el caso de la cartografía 1:50,000 y 1:250,000 del INEGI, se puede usar como GCP un muestreo sistemático de los cruces entre las coordenadas UTM, de manera que los GCP queden distribuidos uniformemente en toda la superficie cubierta por el mapa (sección 3.3.2.2.)



### 3.3.2 Modelos estadísticos para la rectificación geométrica de imágenes

Estos modelos consideran una relación matemática existente entre la localización de los píxeles de la imagen esclava y la imagen maestra, o bien, las coordenadas de puntos de control en el terreno (GCP; Ehlers, 1997).

#### 3.3.2.1 Imagen a Imagen

Realiza la transformación en forma lineal (Triangulación de Delaunay) o por un polinomio de grado 1 a  $n$  usando GCP. Requiere que las dos imágenes sean desplegadas: la imagen esclava (no corregida) y la imagen maestra (con o sin proyección), así como ventanas de acercamiento para cada una. Incluye la selección de GCP con coordenadas subpíxel (fraccionales), la rectificación y la evaluación del resultado (Anexo 3.9; RSI, 2000).

#### 3.3.2.2 Imagen a Mapa

Método muy parecido al de Imagen a Imagen. Rectifica la imagen a una proyección cartográfica. Requiere por lo menos que la imagen sin corrección sea desplegada (RSI, 2000). Este método se recomienda para la rectificación de imágenes de mapas utilizando como GCP un submuestreo sistemático de las intersecciones en la retícula de coordenadas del mapa (Anexo 3.10). La imagen del mapa rectificado se puede utilizar para realizar el registro de otros tipos de imágenes usando el método imagen a imagen.

#### 3.3.2.3 Conversión entre diferentes proyecciones y coordenadas (Mapa a Mapa)

Cuando se requiere cambiar entre dos espacios de coordenadas conocidos se puede aplicar la transformación usando una fórmula matemática. Estas operaciones realizan la conversión desde un archivo raster o vector con una proyección definida a otra diferente (Earth Resource Mapping, 2000; RSI, 2000). Requiere configurar los parámetros cartográficos de la imagen o archivo vector resultante, entre ellos las unidades. Se pueden usar algunos de los siguientes métodos de transformación: RST, polinomial o triangulación (sección 3.3.4). En el caso de imágenes, las técnicas de remuestreo disponibles son: vecino más cercano, bilineal y convolución cúbica (sección 3.3.5, Tabla 3.13).

### 3.3.3 Selección de Puntos de Control en el Terreno (GCP)

Consiste en la definición de puntos (píxeles) de correspondencia entre rasgos comunes tanto en la imagen esclava como en la imagen maestra, o bien, con un mapa o datos GPS. Los GCP se seleccionan utilizando el cursor en una ventana de acercamiento. En algunos sistemas la fracción del píxel disponible en la ventana de acercamiento es proporcional al factor del acercamiento, por lo tanto es conveniente definir los GCP con un acercamiento adecuado según el tamaño del píxel (RSI, 2000). La mayoría de los

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

sistemas cuentan con la función que permite ubicar el indicador en una coordenada específica, la cual corresponderá con el centro de la ventana activa.

### 3.3.3.1 Especificaciones para el método de Imagen a Mapa

Las coordenadas cartográficas correspondientes se pueden capturar manualmente desde un mapa. Los sistemas más avanzados permiten capturar las coordenadas en latitud y longitud (tanto en grados decimales como en grados, minutos y segundos). Después se debe de elegir la proyección adecuada y los parámetros del sistema de coordenadas correcto, con esta información el programa realizará automáticamente la transformación desde el sistema de coordenadas geográficas.

Los GCP también se pueden capturar en forma semiautomática desde los siguientes medios: una ventana de despliegue de un archivo vector, un mapa sobre una tableta digitalizadora o una lista de datos de un receptor GPS.

### 3.3.3.2 Número adecuado de GCP

Para la rectificación de imágenes de satélite (escenas completas) por el método de Triangulación o Polinomial, se recomiendan 32 GCP como mínimo, ya que con este número se podrán evaluar diferentes combinaciones de las técnicas de transformación y remuestreo, incluyendo hasta polinómios de tercer grado (Tabla 3.12).

En el caso de función polinomial, el número necesario de puntos de control depende del grado de la misma. Sin embargo, en la práctica se utiliza un número significativamente mayor al mínimo requerido y los coeficientes se estiman usando técnicas de mínimos cuadrados (Tabla 3.12). Se debe elegir por lo menos el doble del número de GCP requeridos por el grado del polinomio con el propósito de calcular el RMS (RSI, 2000).

Orden del Polinomio	GCP esenciales	GCP esenciales en ENVI ( $\#GCP > (grado+1)^2$ )	Mínimo Recomendado
1	3	4	8
2	6	9	18
3	10	16	32

### 3.3.3.3 Predicción de la posición del GCP

En varios programas se cuenta con una técnica que facilita la ubicación de los GCP, determinada por el número definido de GCP y el grado del polinomio usado. Esta técnica consiste en posicionar un GCP en la ventana de acercamiento de la imagen maestra, seleccionar la opción de predicción, refinar la predicción al píxel correcto en el acercamiento de la imagen esclava y agregar el punto a la lista. Con esta técnica se reduce el tiempo de captura de puntos.

### 3.3.3.4 Distribución de GCP

Se debe de tener una buena distribución de los GCP por toda la imagen y evitar su concentración exclusiva en un sitio. Se recomienda realizar la selección de acuerdo a

un patrón regular, tratando de cubrir la mayor cantidad de puntos dentro de la imagen sin rectificar, aplicando atención particular a los bordes de la imagen. Se prefiere utilizar como GCP solamente rasgos fáciles de ubicar y bien definidos, tales como intersecciones de caminos.

### 3.3.3.5 Aplicación y almacenamiento de los GCP

Los GCP se utilizan en la construcción de un modelo de transformación. La calidad de los GCP seleccionados estará altamente correlacionada con la calidad de la rectificación final.

Después de capturar los GCP se deben guardar en un archivo de salida para llevar la historia de procesos realizada y generar finalmente los metadatos. La mayoría de los programas cuentan con la opción para integrar también los resultados del RMS total, se debe tener especial cuidado en incluir los datos de la proyección utilizada durante la captura de los GCP, así como el tamaño del píxel, tanto en X como en Y.

Después de que los GCP se han seleccionado y almacenado, ya sea para el método Imagen a Imagen, o para el método Imagen a Mapa, se deben especificar las opciones de transformación y remuestreo (secciones 3.3.4 y 3.3.5).

Con esta información se puede realizar nuevamente la rectificación de la imagen con los mismos GCP y diferentes opciones de rectificación, lo cual permitirá evaluar el mejor de los métodos según la zona, el tipo de sensor y los datos.

### 3.3.4 Opciones de transformación

Existen tres opciones de transformación: RST (Rotación, cambio de escala y traslación), Triangulación de Delaunay (TD) y Polinomial (RSI, 2000).

RST es la opción más simple requiere 3 o más puntos GCP para realizar la rotación, cambio de escala y traslación de la imagen.

La opción TD genera una red irregular de triángulos desde los GCP e interpola en forma lineal todos los valores a una malla de salida. Los coeficientes polinomiales para cada triángulo se generan en forma automática. La rectificación se realiza con una función lineal dentro de cada triángulo. Esta técnica reduce la distorsión local de la imagen y es óptima para rectificar datos de barredores instalados en aviones, ya que disminuye los efectos de movimientos no esperados en la plataforma, tales como el *skew* y el *yaw*, además tiene la ventaja de no introducir otros errores (Earth Resource Mapping, 2000; RSI, 2000). Sin embargo es menos exacta que la ortorectificación. Si se elige el método de TD, en algunos programas se puede definir un píxel de fondo para el borde con valor nulo. Con esta opción se evitará en la imagen rectificada el efecto *smearing*, el cual se presenta con frecuencia en los bordes.

El método polinomial se puede realizar con orden de 1 a n. El grado del polinomio depende del número de GCP seleccionado, en el programa ENVI el  $\#GCP > (\text{grado}+1)^2$ .

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La exactitud del método depende de la precisión de localización de los GCP, por lo cual resulta benéfico elegir el mayor número posible de GCP para minimizar el efecto de cualquier error simple. En general, esta opción reduce la distorsión global de la imagen y no resuelve la distorsión local (Earth Resource Mapping, 2000). Se utiliza principalmente en la rectificación de datos de satélite. Como regla se debe utilizar un polinomio con el menor orden posible para obtener los mejores resultados y evitar la introducción de nuevas distorsiones en la imagen resultante (Earth Resource Mapping, 2000).

### 3.3.5 Opciones de Remuestreo

En el remuestreo se utilizan dos enfoques: el cálculo de interpolación directa e indirecta. En el primero los valores iniciales serán transferidos píxel a píxel a la imagen resultante. Con frecuencia la nueva posición del píxel no es un valor entero y se ubicará entre varios píxeles de la imagen de salida. El método indirecto genera las imágenes resultantes píxel a píxel. Para cada píxel saliente calculará el píxel entrante, lo cual significa que el valor nuevo de cada píxel resultante se calcula a partir de los píxeles iniciales circundantes (Ehlers, 1997). La Tabla 3.13 presenta las características principales de las opciones de remuestreo.

Remuestreo	Vecino más cercano	Bilineal	Convolución Cúbica
Píxeles	1	4	16
Interpolación	Sin interpolación	Lineal bidimensional	Lineal para aproximar la función seno usando polinomios cúbicos
Ventajas	Mantiene el valor original del ND del píxel más cercano	Suaviza la imagen	Conserva los detalles más finos de la imagen original
Desventajas	Los rasgos lineales aparecen bloqueados, con bordes dentados o escarpados.	Puede degradar los detalles presentes en la imagen original. Los bordes pueden aparecer borrosos	Es significativamente más lenta que otros métodos. No se recomienda para operaciones analíticas. Puede incrementar el componente de alta frecuencia.
Aplicación	Cuando los valores iniciales no se pueden interpolar. Imágenes clasificadas, valores nominales de censos, imágenes para análisis biofísico.	Recomendado para la mayor parte de imágenes de sensores remotos cuando la interpolación es factible. Imágenes Geofísicas (magnéticas o de gravedad)	Interpretación visual y realce de imágenes, integración con datos SIG.

Establecida la técnica de remuestreo se debe definir un valor de fondo, es decir, el valor para el ND que rellenará las áreas carentes de datos en la imagen rectificadas. Se puede usar un valor muy bajo (-9999) si los datos son enteros (16 bits). Para imágenes con datos tipo byte se puede usar el valor 0 (negro) o el 255 (blanco).

La mayoría de los programas calcularán automáticamente el tamaño de la matriz que contendrá los datos de la imagen rectificadas. Sin embargo, cuentan con la posibilidad de cambiar los parámetros de la imagen resultante. Si esta última quedará en coordenadas geográficas sin proyección, se requiere escalar el píxel de salida y el

tamaño de la imagen a unidades de grado con las opciones para cambiar parámetros de la imagen.

### 3.3.6 Ortorrectificación

En general los modelos polinomiales de rectificación de imágenes funcionan bien para datos de satélite, sin embargo existen varias deficiencias cuando se utilizan para la rectificación de datos capturados por sensores instalados en aviones, debido a que las distorsiones son muy severas para ser compensadas por polinomios globales, incluso de orden alto.

La fotografía aérea se puede corregir fácilmente utilizando ecuaciones de colinealidad fotogramétrica para el modelo de captura de imagen. En la orrorrectificación de fotografía aérea se corrigen en cada una las distorsiones introducidas por la geometría de la cámara, los ángulos de vista y los efectos topográficos.

La orrorrectificación usa proyecciones geométricas para producir imágenes corregidas para aplicaciones cartográficas y de medición indirecta. Este proceso corrige las distorsiones locales y globales. En el caso de una cámara fotográfica ajustando sus características, las posiciones de la plataforma y detalles del terreno (Anexo 3.11 y Tabla 3.14).

Omega ( $\Omega$ )	Ángulo de inclinación del avión sobre el eje X, ( <i>Roll</i> ).
Phi ( $\phi$ )	Ángulo de balanceo del avión sobre el eje Y, ( <i>Pitch</i> ).
Kappa ( $\kappa$ )	Ángulo de azimut del avión sobre el eje Z, ( <i>Yaw</i> ).
Centro de Exposición en X,Y,Z	Coordenadas del centro de exposición de la cámara.
Escala	Expresada como valor decimal, por ejemplo: 1:20,000 = 1/20,000 = 0.00005

#### 3.3.6.1 Aplicación de datos de altimetría en la rectificación

En varios programas se permite realizar la orrorrectificación tanto de fotografía aérea como de datos de satélite, utilizando siempre la información de un Modelo Digital de Elevación (DEM). Los algoritmos de rectificación diferencial utilizan los datos de elevación y aplican ecuaciones de colinealidad fotogramétrica que incluyen el valor Z como un parámetro explícito (RSI, 2000). Este proceso consiste en transformar la geometría de una imagen a una forma planimétrica para que corresponda a las coordenadas de un mapa, en dicha transformación se utiliza la modelación del tipo y magnitud de las distorsiones geométricas presentes. Los modelos de la cámara o del satélite junto con un número limitado de GCP, permiten la construcción de la fórmula de corrección que producirá una imagen de gran exactitud (Anexo 3.11 y Tabla 3.14).

#### 3.3.6.2 Orrorrectificación de datos de satélite y fotografía aérea

Los datos de satélites como SPOT, incluyendo los 1A, 1B y el CAP, son susceptibles de orrorrectificación usando un DEM. El proceso se realiza en 2 pasos. El primero consiste en definir la Orientación Exterior con GCP y sus elevaciones. La orrorrectificación utiliza

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

la información de la *efemeride* desde el archivo guía SPOT para generar un modelo de órbita inicial, así como de geometría de la vista. Los GCP se utilizan para optimizar el modelo orbital realizando una inversión no lineal, por lo tanto se recomienda usar la mayor cantidad posible de GCP (>35). La posición del satélite y la serie de ecuaciones de colinealidad para cada línea en los datos SPOT se calculan y almacenan en un archivo. En el segundo paso se aplica la ortorrectificación usando el modelo de la órbita y el archivo DEM para realizar la corrección píxel a píxel (Westing, 1990; RSI, 2000).

El proceso de ortorrectificación requiere varios pasos que son los mismos a pesar del tipo de sensor utilizado para capturar los datos (Anexo 3.12).

### 3.3.6.3 Parámetros críticos durante la ortorrectificación

#### Resolución espacial

Se recomienda que el tamaño del píxel del DEM sea igual o más pequeño como el deseado para la imagen ortorrectificada. Cuando la resolución del DEM es significativamente mayor que la definida para la imagen ortorrectificada, entonces se debe de cambiar el tamaño del DEM original por medio de la técnica de remuestreo seleccionando el nuevo tamaño del píxel y el método bilineal, ya que el método del vecino más cercano no suavizará el DEM resultante y el de convolución cúbica puede crear rasgos irreales (RSI, 2000).

#### Remuestreo en la Ortorrectificación

Siempre que se use la opción de remuestreo del vecino más cercano se debe tener precaución para evitar errores graves, en especial cuando se requiere que el tamaño del píxel de la imagen ortorrectificada sea considerablemente mayor que el de la imagen sin rectificar. En esta situación primero se debe de remuestrear la fotografía original al tamaño deseado para la ortorrectificada realizando los cálculos pertinentes.

#### Exactitud de GCP en fotografías aéreas

A diferencia del método Imagen a Imagen y del Imagen a Mapa, en la ortorrectificación la exactitud de cada GCP usado para determinar la Orientación Exterior, resulta crítico para localizar la posición de la cámara fotoaérea. En general se prefiere tener GCP bien distribuidos que agrupados. Cuando ya se cuenta por lo menos con 4 GCP en la definición de la Orientación Exterior, el programa deberá realizar una estimación del error posicional (X,Y) como RMS. Dicha estimación se calcula con un algoritmo de transformación RST, el RMS sirve exclusivamente para identificar errores grandes en el proceso de captura. Este error no considera el valor Z y por lo mismo no es una valoración exacta del error verdadero en la ortorrectificación (RSI, 2000).

Valor mínimo en el DEM

Para cualquier conjunto de parámetros de ortorrectificación, a mayor distancia entre la cámara y el terreno, mayor será la ortoimagen resultante. Si se proporciona un valor correcto, se reducirá notablemente el tiempo de procesamiento y se generarán archivos más pequeños (RSI, 2000).

Tamaño del píxel en la imagen ortorrectificada

En forma automática la mayoría de los programas determinarán el tamaño del píxel para la imagen ortorrectificada exactamente igual al píxel del DEM. Sin embargo, se puede cambiar a cualquier otro tamaño. Se recomienda que siempre se verifiquen todas las propiedades y características definidas para la imagen resultante antes de realizar cualquier clase de registro, especialmente el tamaño que tendrá la imagen y la disponibilidad del mismo. Esto permitirá identificar problemas y optimizar los tiempos de procesamiento, ya que las operaciones de registro efectúan cálculos complejos y archivos muy grandes (RSI, 2000). Si el problema es el tamaño del archivo, una opción alterna es guardar la imagen resultante con algún formato de compresión disponible.

Dos de los problemas más grandes con la ortorrectificación son: la necesidad de un DEM y la disponibilidad de un *scanner* que cubra las 9" correspondientes al ancho de la fotografía aérea (Earth Resource Mapping, 2000). Estos *scanners* son requeridos para incluir en la imagen las marcas fiduciales que se encuentran en los extremos de las fotos, además es conveniente que tengan alta resolución óptica, cercana a la calidad fotogramétrica (Anexo 3.12 y Tabla 3.15).

Tabla 3.15. Comparación de rectificación por Triangulación y Polinomial vs Ortorrectificación para la generación de ortofotomosaicos (Earth Resource Mapping, 2000)			
Triangulación y Polinomial		Ortorrectificación	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
Rápida de generar	Menos exacta	Más exacta	Requiere un DEM
Puede usar un <i>scanner</i> económico de 8.5" X 11"			Requiere un scanner mayor a 9" en su dimensión menor, y de preferencia con resolución fotogramétrica
Puede usar un mapa para realizar la rectificación	Necesita más GCP (25 - 35 GCP)	Necesita pocos GCP (6 GCP)	Requiere la información de la cámara

3.3.7 Georreferencia con el método *Input Geometry* (IGM)

Los datos de los sensores hiperespectrales tales como AVIRIS, MASTER y HyMap; vienen ahora con la información detallada de la adquisición (geometría de la plataforma), la cual permite realizar un modelo de rectificación y registro cartográfico (*Input Geometry*). El programa ENVI cuenta con la opción para realizar este tipo de corrección geométrica (RSI, 2000).

En este tipo de corrección se debe contar con el archivo IGM o el GLT como mínimo. El primero contiene las coordenadas cartográficas en X, Y para cada píxel en la proyección de la imagen no corregida. La información se organiza en bandas: IGM Input X Map e

IGM Input Y Map. El segundo archivo (*Geometry Lookup*) contiene la columna y el renglón que cada píxel obtiene en la imagen resultante. Si el valor en el archivo GLT es positivo, entonces se presenta una correspondencia exacta de píxel. Si el valor en el archivo GLT es negativo entonces no se presenta una correspondencia exacta y se utilizó el píxel del vecino más cercano.

La corrección se puede realizar desde el archivo IGM indicando la banda de las X y la banda de las Y. Con dicha información se puede realizar la transformación en la proyección definida en el archivo, o cambiar a una diferente con las opciones disponibles en el programa. Esta función generará el archivo GLT y la imagen corregida determinando un valor de fondo.

La corrección se puede realizar también desde el archivo GLT indicando un valor de fondo. Además se puede construir el archivo GLT con proyección cartográfica indicando las bandas X, Y del archivo IGM, cambiando incluso la proyección de la imagen resultante.

Para la evaluación de esta técnica de rectificación se pueden usar las mismas operaciones descritas en el método imagen a mapa (sección 3.3.2.2) junto con las ligas dinámicas entre las imágenes obtenidas.

Sin embargo, para datos hiperespectrales que cuenten con geometría de la plataforma, se recomienda procesar las imágenes sin corrección geométrica, aplicando dicha corrección sólo a las bandas de mayor interés, así como a los productos derivados. Lo anterior se debe a la alta dimensionalidad de los datos hiperspectrales, a la duración de este proceso, así como al espacio requerido para almacenar los resultados.

### 3.3.8 Catálogos de imágenes

Un catálogo es una colección organizada de imágenes geográficas georreferidas que se puede acceder como una sola imagen o capa de información raster. Los catálogos comúnmente contienen datos raster con la misma información temática para una zona geográfica dada o de interés. Las imágenes deben ser del mismo tipo, ya sea en blanco y negro, en tonos de gris, en color verdadero o en falso color. Es recomendable que existan por lo menos 2 píxeles de sobre-posición entre las imágenes vecinas que integrarán el catálogo para reducir los huecos entre las mismas durante el despliegue (ESRI, 1996). Un catálogo de imágenes puede estar almacenado en archivos INFO (de ARC/INFO) o en dBASE, donde cada imagen presentará su propio estrechamiento lineal del histograma con 2 desviaciones estándar de acuerdo a sus estadísticos. Las imágenes que contienen dichos estadísticos son ERDAS (LAN) e IMAGINE (IMG), ESRI BIL y los formatos GRID. En el Anexo 3.13 se explica detalladamente el proceso de creación de catálogos de imágenes.



### 3.3.9 Mosaico de imágenes

Proceso que permite la integración definitiva de imágenes múltiples en una sola imagen con tamaño y coordenadas definidos por el usuario, las imágenes iniciales pueden ser de diferente resolución. Las imágenes se pueden ordenar en el mosaico de acuerdo a sus coordenadas de imagen o cartográficas. La mayoría de los programas permiten guardar las instrucciones de cada mosaico como plantillas o algoritmos, para reeditarlas posteriormente con otros datos y optimizar el procesamiento. También cuentan con la posibilidad de guardar el mosaico resultante en forma virtual para ahorrar espacio en disco (funcionando de alguna manera como catálogos de imágenes). Algunos programas incluso realizan diferentes técnicas para suavizar los bordes entre imágenes (*feathering*), las cuales consideran valores graduales de ND en las zonas de traslape (RSI, 2000; Earth Resource Mapping, 2000). El Anexo 3.14 muestra el proceso para la creación de un ortofotomosaico.

#### 3.3.9.1 Preparación de Imágenes

Ajustar el contraste de cada una de las imágenes con alguna de las siguientes funciones: normal, ecualizada, especial o lineal. El objetivo es realzar o mejorar los rasgos presentes en la imagen. Las imágenes con traslape requieren además considerar para cada una de las bandas la fusión de histogramas, esta técnica consiste en determinar una imagen base y balancear las escalas de grises en el resto de las imágenes para que se fusionen con la imagen base (Richards, 1994). Los programas de Percepción Remota en general cuentan con funciones para realizar dicha operación (*Balancing / Histogram Matching*).

#### 3.3.9.2 Imágenes multiresolución

Cuando el mosaico incluye imágenes de diferente resolución la mayoría de los programas permiten definir el tamaño del píxel deseado para la imagen resultante, finalmente se deben remuestrear las imágenes a ese tamaño de píxel, para este último propósito se recomienda la técnica del vecino más cercano porque no realiza interpolación.

## 3.4 DISEÑO DE MAPAS Y PRODUCTOS CARTOGRÁFICOS

El diseño de mapas y otros productos cartográficos es totalmente responsabilidad de los autores, conservándose así la característica de hacer adaptaciones según las preferencias de los mismos. Sin embargo, cualquier mapa debe incluir en forma obligatoria identificadores de entidad y los elementos cartográficos discutidos en el capítulo 2. Otros aspectos importantes como las proyecciones y los formatos de impresión recomendados se indican respectivamente en las secciones 3.1.1.3 y 3.2.1.3.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 3.4.1 Identificadores

Los identificadores de entidad son dependientes de la escala cartográfica y utilizan referencias relativas (identificadores puntuales o áreales) para una localización específica. Las localizaciones de las entidades de referencia se deben especificar en el sistema de coordenadas geográficas. Si originalmente se capturaron en UTM, se debe realizar la transformación respectiva. Ejemplos de identificadores son:

#### De interés Geográfico

Estados  
Ciudades  
Municipios

#### De interés en Ciencias de la Tierra

Unidades geológico-geomorfológicas  
Regiones Hidrológicas  
Minas

### 3.4.2 Evaluación de la exactitud cartográfica

#### 3.4.2.1 Impresiones de prueba

Por cada mapa digital se debe de realizar una impresión de prueba, en la escala del documento fuente, para verificar su exactitud en comparación con el material cartográfico original. En el caso de datos exclusivamente vectoriales, el medio de impresión recomendado es el papel estabilene (*Mylar*) con un ancho de línea de 0.01 pulgadas (0.25 mm).

#### 3.4.2.2 Exactitud y errores

Si se tiene definida la exactitud como la diferencia entre una medición registrada y su valor verdadero, entonces para la mayoría de los propósitos prácticos este valor no se conocerá exactamente. Sin embargo, siempre se requiere alguna identificación de la exactitud y se puede proveer por valores de error numérico, los cuales son mediciones de la exactitud esperada.

La exactitud de un mapa se puede evaluar utilizando puntos de verificación, es decir, comparando las coordenadas de un punto sobre el mapa con sus coordenadas en el terreno, o bien, con las determinadas por un material cartográfico con mayor exactitud (previamente determinada). Por lo anterior, los puntos de verificación corresponderán a sitios bien definidos y fácilmente identificables sobre el terreno.

La compilación de mapas, así como los datos por digitalizar deben reunir algunos elementos obligatorios de exactitud. En Estados Unidos existe el *National Map Accuracy Standard* (NMAS; Minnesota Planning, 1999; Wolf y Brinker, 1994). Con respecto a la exactitud horizontal, este documento establece que, para mapas publicados a escalas cartográficas mayores a 1:20,000, el 90% de los puntos de verificación tendrá un error máximo de 0.8 mm. Para mapas con escalas cartográficas iguales o menores a 1:20,000, el 90% de los puntos de verificación tendrá un error máximo de 0.5 mm. En ambos casos las mediciones se deberán hacer en el material cartográfico. Con respecto a la exactitud vertical de un mapa a cualquier escala cartográfica, el NMAS establece que, en el 90% de los puntos de verificación la máxima tolerancia vertical permisible

será igual a la mitad del intervalo publicado para las isohipsas del mapa (Minnesota Planning, 1999).

En el caso de los datos digitalizados, la exactitud en la posición se puede medir a partir de una muestra de puntos sobre una impresión de prueba en papel estabilene. En esta evaluación se debe de medir la distancia entre los puntos en la impresión y el material cartográfico original, midiendo desde el centro de líneas o puntos.

#### 3.4.2.3 Resolución espacial

La resolución es la diferencia más pequeña distinguible entre dos valores medidos. La resolución espacial en datos raster se puede entonces considerar como la distancia más pequeña sobre la cual es posible registrar cambios. En un mapa vectorial sería determinada por el ancho mínimo de línea, bajo el supuesto de que una línea se usa para registrar un borde. Las líneas sobre los mapas raramente son dibujadas con un ancho menor que 0.1 mm. En un dispositivo de impresión gráfica como un *plotter* la resolución física más fina se determina teóricamente por la separación entre los píxeles del dispositivo. En una impresora láser la resolución es 1/300 a 1/600 de una pulgada (0.08 - 0.04 mm). Existe así una diferencia entre la resolución visual humana (agudeza visual) y la resolución física del dispositivo. Por ejemplo entre la distancia más pequeña con la cual el operador puede distinguir mientras está digitalizando y la distancia más pequeña que la tableta digitalizadora pueden registrar.

#### 3.4.2.4 Efecto de la escala cartográfica

La escala de un mapa es un parámetro de exactitud crítico, en términos prácticos se debe considerar la distancia en el terreno representada por el ancho de una línea en el mapa. Por ejemplo, en un mapa escala 1:50 000 una línea con ancho 0.25 mm corresponde a un distancia en el terreno de 12.5 m. Si ésta fuera el ancho mínimo de la línea, no será posible representar fenómenos más pequeños en extensión, sin que su tamaño se exagere sobre el mapa.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

117

118  
119  
120

121  
122  
123

124

## **CAPÍTULO 4**

### **PROTOTIPO DEL SERVIDOR DE MAPAS DE LA FAJA VOLCÁNICA MEXICANA FVM-SIG**



#### 4. PROTOTIPO DEL SERVIDOR DE MAPAS DE LA FAJA VOLCÁNICA MEXICANA FVM-SIG

En este capítulo se presenta el prototipo del Servidor de Mapas de la Faja Volcánica Mexicana (FVM-SIG), implementado en el Laboratorio de Cartografía Digital (CARDI) del Instituto de Geofísica. Se discuten los aspectos relacionados con la distribución de datos geográficos en el Web y se intercambian las experiencias del desarrollo de este sitio. El objetivo del prototipo es publicar en páginas Web algunos ejemplos de la base de datos del FVM-SIG. Para la implementación del mismo se utilizó la tecnología desarrollada por el *Environmental Systems Research Institute* (ESRI). La base de datos espaciales se integró en ArcView GIS 3.2a. Se utilizó su extensión *Internet Map Server* (IMS) para publicar la Cartografía Digital a través del *applet* java MapCafé.

El FVM-SIG permite al usuario desplegar y consultar interactivamente información y datos espaciales sobre la FVM. La mayoría de las fuentes de información cartográfica han sido los anexos de tesis elaboradas en la UNAM, resultados de algunos proyectos que se desarrollan en los institutos de investigación del área de Ciencias de la Tierra, así como datos geográficos del INEGI. Las referencias de documentación originales se han tratado de incorporar en formato digital para que el usuario tenga acceso desde el Web a la mayor cantidad de información sobre los mapas publicados en el FVM-SIG.

##### 4.1 INTEGRACIÓN DE INTERNET Y SIG

En los últimos años el Internet, y más específicamente el WWW han llegado a ser un elemento crítico de infraestructura tecnológica para adquirir y diseminar información (Batty, 1997; Kraak y Van Driel, 1997; Doyle y Dodge, 1998; Gong y Lin, 1998; Lin *et al.*, 1999; Huang y Lin, 1999). En 1993 fue liberada por *Xerox Palo Alto Research Center* (PARC) la primera página Web con un mapa interactivo, como un experimento de recuperación de información geográfica (Harder, 1998). A partir de entonces, se incrementó la aparición de sitios Web con mapas, datos geográficos, o ambos. Plewe (1997) realizó una revisión detallada de la integración de la cartografía por Internet y los SIG, en la cual presentó y discutió los posibles servicios que tal integración debería de ofrecer.

La mayoría de las empresas desarrolladoras de programas comerciales de SIG, así como algunos proveedores de datos espaciales se han dado cuenta de que el WWW constituye la más reciente generación de plataformas de SIG, ofreciendo el medio idóneo para la distribución de información geográfica, así como también un nuevo mercado para explotar económicamente (Doyle *et al.*, 1998). Los principales vendedores de productos SIG en Internet, como ESRI y MapInfo, tienen sitios de demostración, en los cuales los usuarios pueden hacer cartografía interactiva (Su *et al.*, 2000).

Programas como ArcIMS, ArcView IMS, Geomedia y MapGuide, figuran entre los más conocidos, permitiendo a los usuarios el acceso, recuperación, despliegue, consulta y

análisis de datos de SIG sobre el Web (Green, 1997; Plewe, 1997; Strand, 1997; Su *et al.*, 2000). Utilizando estos programas se han desarrollado numerosas soluciones de SIG en Internet para desplegar mapas, y algunas para realizar análisis espacial.

Muchos sitios de cartografía interactiva y SIG son de acceso público, y algunos de los mismos tienen aplicaciones muy útiles con ejemplos de la vida cotidiana, tales como búsqueda de direcciones, ubicación de escuelas o visualización de inmuebles en alquiler.

También en el ámbito científico la distribución, procesamiento y publicación de información georreferida sobre el Web está incrementando cada vez más el número de investigadores y desarrolladores de aplicaciones (Fairbairn y Parsley, 1997; Martin y Higgs, 1997; Lin *et al.*, 1999; Su *et al.*, 2000).

## 4.2 CONCEPTUALIZACIÓN DEL SISTEMA

En el laboratorio CARDI las actividades de producción, captura, manejo, visualización y análisis de datos espaciales se han concentrado en el desarrollo del Sistema de Información Geográfica de la Faja Volcánica Mexicana (FVM-SIG), el cual se ha diseñado para funcionar también como prototipo de un servidor de cartografía digital para atender las principales demandas de integración de información espacial sobre toda la FVM y regiones asociadas.

La base de datos se ha ido integrando especialmente con la cartografía geológica, geofísica y geomorfológica, generada al interior de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), y extraída principalmente de los acervos de las bibliotecas de la misma Universidad.

Los objetivos del prototipo FVM-SIG son:

- Evaluar la publicación en páginas Web de cartografía y datos geográficos de la FVM, elaborados principalmente en la UNAM, para proveer a la comunidad del área de ciencias de la Tierra con esta información.
- Desarrollar una interface para la elaboración de cartografía interactiva a través del Web.
- Estimular a la comunidad de ciencias de la Tierra de la UNAM a intercambiar sus datos geográficos y mapas.
- Proponer un esquema para la integración digital de cartografía de tesis a nivel licenciatura y posgrado.

### 4.2.1 Selección del Internet Map Server (IMS)

Algunos de los servidores de mapas disponibles en el mercado son: Autodesk MapGuide, ESRI ArcView IMS, ESRI Map Objects IMS, ESRI ArcIMS, Intergraph GeoMedia Web Map y MapInfo MapXtreme.



Limp (1997) y Culpepper (1998) revisaron la mayoría de estos productos, encontrando que los paquetes difieren en:

1. El uso de imágenes u objetos gráficos.
2. El uso de mapas pre-diseñados / pre-publicados, o bien el acceso directo a datos espaciales.
3. Los requerimientos del cliente.
4. Las funciones de visualización y análisis geográfico accesible desde el Web.
5. Las restricciones asociadas a los datos y/o plataforma, así como a su manejo.

La principal ventaja del Web es su naturaleza independiente, así como la interoperabilidad, la cual se realiza por medio de los programas de exploración para diversas plataformas (Windows, Unix, Macintosh). Sin embargo, esta situación aún no es del todo posible con los productos IMS. Algunos tienen requerimientos para el explorador de páginas que limitan las plataformas soportadas, y además presentan restricciones para el servidor.

La mayoría de los programas IMS para la parte del servidor requieren un sistema basado en Windows, algunos funcionan tanto en Unix como en Windows, y los más recientes se han desarrollado sobre cualquier plataforma que soporte Java.

La funcionalidad de visualización y análisis geográfico es muy similar, sin embargo, los formatos para los datos soportados por estos programas difieren mucho. Cada producto utiliza en general formatos propios, lo cual implica que los datos a publicar se deban de encontrar disponibles en tales formatos.

Todos los programas mencionados tienen la cualidad de utilizar principalmente datos vectoriales, integrando imágenes georreferidas exclusivamente como fondo. Programas como Image Web Server de *Earth Resource Mapping* y MrSID Image Server de *LizardTech*, cuentan ambos con funciones avanzadas para la visualización, consulta y análisis de imágenes en el Web.

Para garantizar la compatibilidad de la base de datos generada para el FVM-SIG junto con toda la infraestructura de cómputo instalada en el laboratorio CARDI, en este proyecto se seleccionó como servidor de mapas a ArcView 3.2a, a través de su extensión Internet Map Server. En el proceso de selección se evaluaron las siguientes características:

- ✓ La facilidad para generar las páginas Web y al mismo tiempo la posibilidad de adaptarlas al proyecto.
- ✓ Los requerimientos de interacción con los mapas.
- ✓ El tipo de datos que recibe el cliente, garantizando que no se violen los derechos de copia para datos protegidos o no publicados.
- ✓ La integración de todos los mapas y datos por publicar.

De acuerdo al último aspecto señalado, uno de los principales criterios fue que el laboratorio CARDI ya contaba con ArcView IMS y que la base de datos del FVM-SIG está constituida en un gran porcentaje por imágenes y datos raster (Sección 4.3), utilizando el formato de compresión *Enhanced Compression Wavelet* (ECW) de Earth Resource Mapping. Aunque para servir los mapas fueron considerados otros programas como ArcIMS de ESRI y el producto gratuito Mapserver de la Universidad de Minnesota, al momento de la implementación del FVM-SIG, el formato ECW únicamente era soportado por ArcView 3.x a través de una extensión del mismo desarrollada por Earth Resource Mapping.

La extensión Internet Map Server ofrece a los usuarios de ArcView GIS 3.x una solución para integrar sitios Web con mapas dinámicos, bases de datos geográficas y aplicaciones de cartografía interactiva. ArcView GIS 3.x es fácil de usar ya que no necesita de la programación para publicar los mapas en el Web. Sin embargo, de ser requerido por el proyecto, ArcView 3.x cuenta con un lenguaje de Macros denominado Avenue, el cual permite la construcción de funciones propias del usuario, incluyendo la integración de algunas funciones para el Web.

ArcView IMS incluye un *applet* denominado MapCafé, el cual provee una serie básica de herramientas para interactuar con los mapas publicados con ArcView IMS. MapCafé sirve para explorar los mapas en el Web, permitiendo seleccionar las capas de información geográfica, realizar acercamientos y vistas sinópticas, visualizar los atributos no espaciales de cualquier rasgo geográfico, identificar las coordenadas de cada sitio sobre el mapa y enlazar cualquier sitio a diferentes páginas Web a través de hiperligas.

Además, MapCafé tiene la ventaja de que se puede llamar dentro de cualquier página en formato HTML. Cuando el usuario visita un sitio Web con un mapa publicado con ArcView GIS, MapCafé se carga automáticamente en el explorador de páginas Web. Los usuarios no requieren instalar ninguna aplicación o *plugin* en su computadora antes de interactuar con el mapa, simplemente deberán esperar a que se cargue el *applet*.

#### 4.2.2 Arquitectura Cliente / Servidor

El FVM-SIG presenta un modelo de Cliente / Servidor, que consiste en la siguiente configuración:

1. Un cliente de WWW que reside con el explorador de páginas Web (de preferencia Internet Explorer 5 o Netscape 4.5).
2. Un servidor Web (Microsoft Internet Information Server).
3. Un servidor de Mapas utilizando ArcView 3.2a con la extensión IMS.

En la Figura 4.1 se presenta la arquitectura del servicio de mapas. El ArcView IMS se ejecuta desde el servidor de mapas y provee funciones sencillas para publicar los

mapas desde ArcView GIS 3.2a. El sistema requiere desplegar en tiempo real los proyectos que contienen los mapas por publicar. El servidor Web (Internet Information Server, IIS) envía al cliente el applet MapCafé.

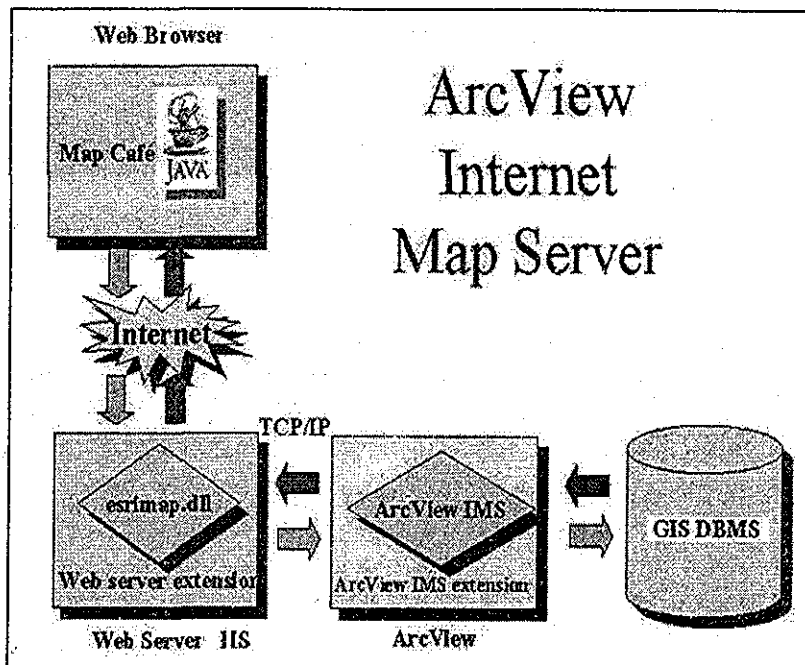


Figura 4.1. Arquitectura del servicio de mapas implementado por el FVM-SIG a través de ArcView IMS.

El funcionamiento detallado del FVM-SIG es el siguiente:

1. El administrador del Servidor de Mapas abre el proyecto en ArcView GIS y libera el servicio de los mapas deseados, cada uno a un sitio Web
2. El usuario carga la página Web con su programa de exploración. Automáticamente se carga también el applet MapCafé.
3. El requerimiento para desplegar el mapa es recibido por el Servidor Web (Internet Information Server, IIS).
4. El requerimiento es transferido a ArcView GIS (Servidor de Mapas)
5. ArcView GIS genera el mapa y envía la respuesta al Servidor Web como una imagen JPEG, esta imagen exclusivamente corresponde al área visualizada en la pantalla del cliente, de acuerdo a la resolución prediseñada para el área de despliegue cartográfico.
6. El Servidor Web envía la imagen al usuario a través de Intranet o Internet.
7. El usuario recibe el mapa y los datos espaciales contenidos en el mismo con la posibilidad de interactuar según sus intereses. Los requerimientos adicionales se pueden enviar por el usuario al Servidor Web, repitiendo el proceso desde el punto 3.

### 4.3 BASE DE DATOS DEL FVM-SIG

La generación e integración de la base de datos se ha realizado de acuerdo a los lineamientos y procesos recomendados en el capítulo 3. Esta característica permite al sistema mantener un equilibrio entre las funciones de visualización de datos geográficos y la posibilidad de realizar análisis espacial con los mismos. Se convirtieron a formato digital ejemplos representativos de diferentes materiales cartográficos, los cuales fueron identificados con la información obtenida en el capítulo 2, la selección de los materiales se realizó con los siguientes criterios:

- La posibilidad de aplicar, probar y validar diferentes técnicas de conversión a formato digital.
- La integración de zonas que en lo posible tuvieran 3 tipos de mapas y/o datos diferentes: geológicos, geofísicos y geomorfológicos.
- La aplicación de técnicas de fusión de mapas o datos adyacentes, pero con diferentes características tales como proyección, escala, autores, etc.

El último punto se consideró interesante porque permitió evaluar tanto el potencial de las funciones SIG, como los criterios de reclasificación utilizando diferentes datos.

De acuerdo con lo anterior, en este trabajo se han integrado mapas y datos espaciales usando un rango muy amplio de herramientas de captura, manejo, visualización y análisis. Se incluyen principalmente mapas contenidos en tesis de la FVM, así como mapas editados por la UNAM. Además se han integrado datos de percepción remota y datos derivados por técnicas de geoestadística, entre otros. Hasta este momento la base de datos está integrada por mapas, cuando es posible se incluyen los datos originales de las estaciones de medición y / o información de campo. Los principales temas incluidos son: geología y geofísica (gravimetría y aeromagnetometría). Para la zona del Nevado de Toluca también se incluye la zonificación geomorfológica.

Gran parte de las bases de datos son imágenes georreferidas tales como:

- Variables geofísicas interpoladas.
- Mapas geofísicos, geológicos y geomorfológicos (ya georreferidos).
- Modelos Digitales de Elevación y productos derivados de los mismos.
- Composiciones a color de imágenes de satélite.
- Mosaicos de fotografía aérea.

Es importante mencionar que en la base de datos se cuenta con mapas y datos que comprenden toda la República Mexicana, los cuales tienen el propósito de relacionar los estudios de la FVM con cualquier otra región del país. Para complementar la base de datos se han integrado capas de información de carácter geográfico actualizadas hasta 1995, tales como: límites estatales, límites municipales y áreas de asentamientos humanos. Además se cuenta para todo el país con los índices de la cartografía del INEGI a escala 1:250,000 y 1:50,000. En la tabla 4.1 se presenta el inventario de la base de datos del FVM-SIG.

Tabla 4.1 Inventario General de la Base de Datos del FVM-SIG (Mayo, 2002)

Dato	Fuente y/o Institución	Cobertura	Escala / Resolución / Valor Agregado
Imagen de la Carta Geológica de la República Mexicana	Ortega-Gutiérrez, 1992 / Instituto de Geología, UNAM	México	1:2,000,000 / 300 dpi
Mosaico de Imágenes de la Carta Tectónica	Padilla y Sanchez, 1994 / Facultad de Ingeniería, UNAM e INEGI.	México	1:2,000,000 / 200 dpi
Imágenes de las Cartas Gravimétricas de la República Mexicana. 1 Anomalía de Bouguer. 2 Anomalía al Aire Libre. 3 Anomalía Residual Isostática.	De la Fuente-Duch et al., 1991 / Instituto de Geofísica, UNAM e Instituto de Geología, UNAM.	México	1:3,000,000 / 300 dpi y 200 dpi
Imágenes de datos magnéticos satelitales procesados	IMP e Instituto de Geofísica, inédito.	México	Un dato cada 8.5 kilómetros
Cartografía Vectorial de la CONABIO. Incluye capas como: Estados, Localidades, Fisiografía, Cuencas Hidrográficas, Índices de hojas del INEGI (1:250,000 y 1:50,000)	CONABIO, INEGI, Instituto de Geografía UNAM	México	1:1,000,000 y 1: 4,000,000
Cartografía Vectorial: Límites Municipales	?	México	1:250,000
Imagen Binaria de la Carta de Anomalías Gravimétricas	PEMEX, 19??	Este de la FVM (60%)	200 dpi / isolíneas para superponerse a datos raster o imágenes.
Mosaico del Modelo Digital de Elevación GEMA y productos geomorfométricos derivados	INEGI, 1996	FVM	Incluye datos e imágenes derivadas como la pendiente.
Mosaico de Imágenes Landsat 5 TM (1984, 1985, 1986, 1990)	JPL, 1995	FVM (95%)	Compuestos a color e imágenes mejoradas
Mosaico de Imágenes ASTER del satélite Terra (EOS AM-1) (2001)	Esta tesis	México y Toluca	Compuestos Falso Color de 15 y 30 m de resolución
Imágenes de Cartografía Topográfica	INEGI, 2000	FVM	1:250,000
Cartografía Vectorial: Curvas de Nivel	INEGI	Este de la FVM (50%)	1:250,000
Imagen del Mapa de la Geología del oeste de la FVM y zonas adyacentes	Ferrari et al., 1999	Oeste de la FVM (25%)	1:250,000 / Vértices geodésicos y bancos de nivel
Geoquímica y fechamientos del oeste de la FVM y zonas adyacentes (Puntos).	Ferrari et al., 1999	Oeste de la FVM (25%)	1:250,000
Imagen de la carta Geológica del Volcán Nevado de Toluca y zonas adyacentes	García-Palomo et al., 2002	Nevado de Toluca	1:100,000
Cartografía vectorial de la Geología del Volcán Nevado de Toluca y zonas adyacentes	García-Palomo et al., en prensa	Nevado de Toluca	1:50,000 / Incluye información de campo y laboratorio, datos geoquímicos y fechamientos.
Cartografía de Zonificación Geomorfológica del Volcán Nevado de Toluca (vectorial)	Aceves-Quesada, 1996	Nevado de Toluca	1:250,000
Cartografía Vectorial (puntos) y Raster de Anomalías Gravimétricas en la Cuenca de México	INIC y Servicios Geofísicos (Hernández-Moedano, 1954; Díaz-Molina, 2000).	Cuenca de México	1:50,000 / Base de datos gravimétricos
Cartografía Raster y Vector de la Geología de la Cuenca de México	Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989. Díaz-Molina, 2000	Cuenca de México	
Ortofotomosaico de la Ciudad de México	Ortofotos: INEGI, 1993-1995.	Ciudad de México	1:75,000 / 2 metros/ 19 ortofotos
Cartografía Vectorial (puntos) y Raster de Aeromagnetometría de la Sierra Nevada	Instituto de Geofísica, UNAM	Sierra Nevada (80%)	Base de datos aeromagnéticos
Cartografía Vectorial de la Geología de la parte central de la FVM	García-Palomo et al., 2001. Díaz-Molina, 2000 Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989.	Parte Central de la FVM	Varias

La base de datos espacial se ha registrado en su proyección original y se ha transformado a coordenadas geográficas sin proyección para su publicación en el Web. Lo anterior con el propósito de facilitar la integración de los datos y garantizar la ubicación inmediata de cualquier sitio. En lo posible se han mantenido ambos sistemas de registro. De esta manera todos los mapas, datos e imágenes cuentan con georreferencia.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### 4.3.1 Formatos utilizados

Coberturas de ArcInfo, shapes de ArcView, gráficos de dibujo asistido por computadora (DXF, DWG), imágenes raster (TIFF, ECW) y bases de datos de Microsoft Access.

#### 4.3.2 Zonas Cartografiadas

Hasta el momento solo se encuentran disponibles algunos mapas y datos a diferentes escalas de las áreas más estudiadas en la FVM, las cuales son: el centro de la FVM, la zona sur de la Cuenca de México, la Sierra Nevada, la parte oeste de la FVM y zonas adyacentes, así como las vecindades del Volcán Nevado de Toluca. Esta última zona es la que cuenta con más información y por lo mismo tiene mayor número de opciones de interacción y consultas avanzadas.

#### 4.3.3 Metadatos

Se utilizó la extensión de usuario llamada ArcView Metadata Collector v 2.0, desarrollada para ArcView 3.X por el Coastal Services Center de la NOAA, con esta herramienta se elaboraron los metadatos de acuerdo al *Federal Geographic Data Committee* (FGDC, 2000; capítulo 1, sección 1.3).

### 4.4 SERVIDOR FVM-SIG

Para el FVM-SIG se considero en un principio, un Servidor Universal, es decir, que tuviera las funciones de Servidor Web, Servidor de Mapas y Administrador de la base de datos espaciales. Después de evaluar el desempeño del mismo se decidió integrar un nuevo Servidor de Mapas, reduciendo a la mitad la carga de mapas servidos por el primero y manteniendo todas sus demás funciones.

#### 4.4.1 Hardware

El equipo principal del FVM-SIG está constituido por una computadora PC, Pentium III a 500 Mhz, con 46 GB en disco duro, 512 MB en RAM con Sistema Operativo Windows NT 4 Service Pack 6a. Además se tiene acceso a la infraestructura de todo el laboratorio CARDI constituido por varias computadoras Windows, estaciones de trabajo UNIX y Macintosh. Dentro de los periféricos se cuenta con acceso a: tableta de digitalización, scanners de cama plana de tamaño medio, graficadores e impresoras de formato grande.

#### 4.4.2 Software

Para la implementación del FVM-SIG se utilizaron los siguientes programas comerciales: ArcView 3.2a extendido con los módulos: Internet Map Server, Spatial Analyst, Network Analyst y ArcPress. No se realizó la migración a ArcView 8 por el tiempo que requería este proceso y porque existen varios programas y herramientas en

el lenguaje Avenue, los cuales solo están disponibles para ArcView 3.x. En general esta decisión permitió la continuidad del trabajo. Eventualmente se usaron licencias de ENVI, ErMapper, AutoCAD, ArcInfo, ILWIS y PCI. Para la integración a bases de datos se trabajó con Microsoft Access. Para el diseño de las páginas web y la liberación de las mismas se utilizó, Microsoft Front Page y Microsoft Internet Information Server, respectivamente.

## 4.5 CLIENTE

### 4.5.1 Requerimientos

A través de Internet el usuario puede interactuar con las bases de datos del FVM-SIG que integran los mapas, para lo cual requiere un explorador de páginas Web que soporte Java y tenga habilitados los permisos para su ejecución. Se recomienda Microsoft Internet Explorer 5, ya que en esta versión la leyenda de los mapas se despliega mejor.

El FVM-SIG se ha diseñado considerando monitores de alta resolución, la configuración óptima deberá ser de 1152x870. El usuario deberá verificar que su monitor soporte dicha resolución y configurarlo adecuadamente. Después deberá maximizar la ventana del programa de exploración para que ocupe toda la pantalla del monitor.

### 4.5.2 Diseño de la Interface del Cliente

Se diseñó un portal para albergar toda la información relacionada con el proyecto del FVM-SIG (<http://jalapenio.igeofcu.unam.mx/cardi>). El programa deberá desplegar la ventana de inicio del FVM-SIG. En el sitio se encuentra un marco que tiene el contenido de los temas incluidos en el portal: Introducción, Novedades, Personal, Instituciones, Primera Visita (recomendaciones para usuarios nuevos), Tutorial del FVM-SIG, Información, Mapas, Comentarios, Búsqueda y Bibliografía (Figura 4.2).

En la sección de Mapas se encuentra el catálogo de zonas con los mapas disponibles, de esta forma se podrá acceder a las ventanas de interacción con los mapas.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

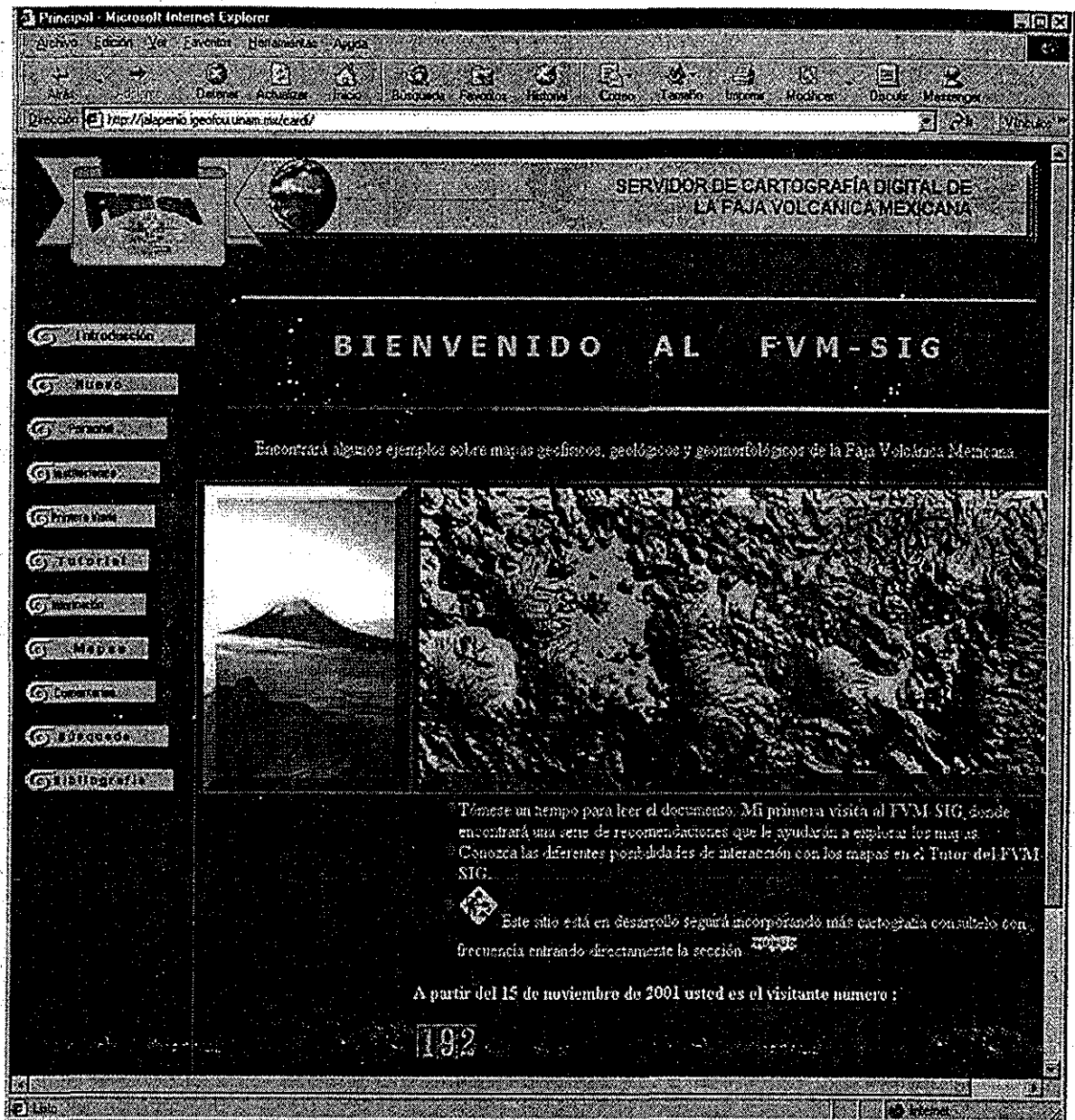


Figura 4.2 Página principal del FVM-SIG.

#### 4.5.3 Visualización y Exploración de Mapas

Las páginas Web para la exploración de los mapas están divididas en 4 secciones de acuerdo a la figura 4.3.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



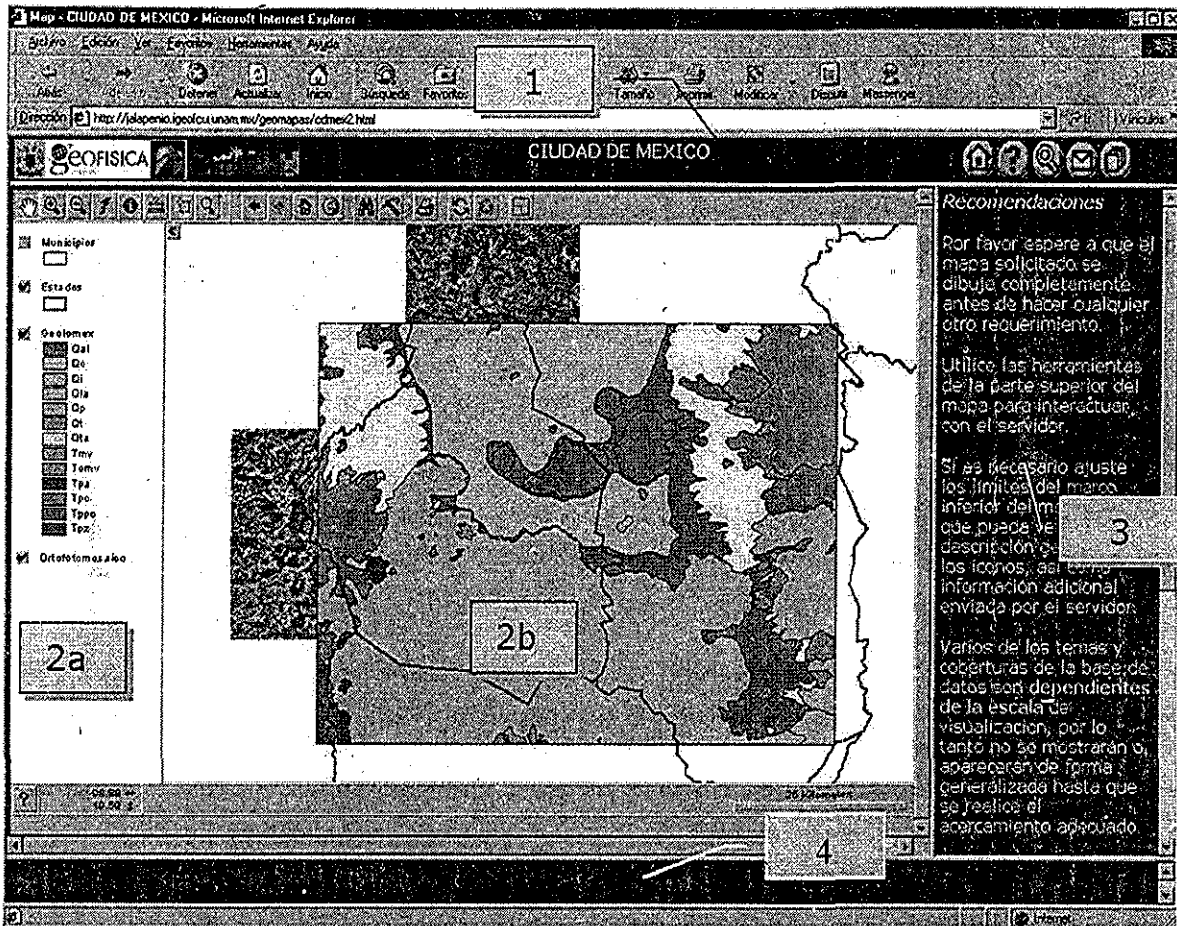


Figura 4.3. Ventana de Internet Explorer 5 desplegando uno de los mapas disponibles en el FVM-SIG.


La parte superior muestra la sección 1, a la izquierda aparecen los logotipos de las instituciones participantes en el proyecto FVM-SIG, al centro se presenta el título del mapa o el nombre de la zona y en el extremo derecho se muestran botones con hiperligas para explorar en todo el sitio Web del proyecto. Debajo la pantalla se encuentra dividida verticalmente. A la izquierda, la sección 2 comprende la zona de visualización de los mapas y está controlada por el applet Map Café de ESRI. Esta sección se subdivide en 2a (para la tabla de contenido) y 2b (para el despliegue del mapa). La sección 2 cuenta con botones de control y herramientas para interactuar con los mapas, las cuales serán descritas posteriormente. La parte de la derecha corresponde a la sección 3 y tiene la función de brindar una serie de recomendaciones sobre la exploración adecuada de los mapas, así como mostrar los resultados de las consultas que realice el usuario a la base de datos. Finalmente, en la parte inferior, la sección 4 presenta sugerencias específicas para los datos desplegados, así como información general sobre créditos de los mapas y datos incluidos en la página.


## 4.6 FUNCIONES DEL SISTEMA

A través del applet MapCafé, se tienen algunas de las herramientas básicas y botones de control disponibles en ArcView GIS 3.x.

El FVM-SIG permite a los usuarios activar o desactivar las capas o temas presentes en la tabla de contenido de acuerdo a sus intereses, utilizando el cuadro de verificación que aparece al lado del título de cada tema o cobertura. Estos cambios generan que la pantalla se actualice mostrando todas las capas activadas. Sin embargo, hay un gran número de coberturas que aparecerán o desaparecerán automáticamente ya que son dependientes de la escala de visualización y serán visibles hasta que se tenga el acercamiento adecuado. Por lo tanto, éste tipo de capas no se mostrarán en la leyenda principal.




A diferencia de ArcView GIS 3.x, el FVM-SIG no permite al usuario cambiar el orden de despliegue de las capas. Los temas activados desde el servidor serán los únicos que puedan ser consultados utilizando las herramientas del sistema.



El FVM-SIG cuenta con la función del icono , que sirve para ocultar la tabla de contenido y agrandar de esta manera la ventana de despliegue del mapa.

Cuando se haga un requerimiento y una vez que se ha atendido la solicitud, aparecerá el icono , el cual dará información general sobre los datos presentados, créditos y/o la fecha de liberación del mapa.






### 4.6.1 Herramientas estándar de MapCafé

Todos los botones son sensibles al cursor del ratón y presentarán un pequeño texto descriptor en la parte inferior de la ventana de visualización del mapa.

-  **Pan / Desplazamiento.**  
Permite el desplazamiento por toda la zona comprendida en el mapa, el usuario debe hacer clic y arrastrar el cursor sin dejar de oprimir el botón izquierdo del ratón hasta soltarlo en la posición deseada.
-  **Zoom In / Acercamiento.**  
Permite hacer un acercamiento sobre una localización determinada, el usuario puede hacer clic en la localización de interés o definir un rectángulo arrastrando el cursor del ratón. Con esta herramienta una región pequeña se puede ver a una escala más grande.
-  **Zoom Out / Alejamiento.**  
Permite realizar alejamientos desde una localización específica, con esta herramienta es posible desplegar una región grande en una escala más pequeña. Se recomienda utilizar esta herramienta justo antes de desplegar series de datos muy grandes con el propósito de reducir el tiempo para cargar los mapas.




-  **Identify tool / Identificación.**  
Permite la recuperación de la información contenida en los atributos del rasgo geográfico señalado con el cursor. Tiene casi la misma función como en ArcView, solo que el servidor controla las capas activas que serán susceptibles a brindar información con esta herramienta. Los resultados se mostrarán en el marco lateral derecho. Se utiliza para identificar algunas características sobre los rasgos de los temas. Si se indica más de un objeto de la misma clase, entonces se desplegarán múltiples columnas de información.
-  **Hyperlink / Hiperliga.**  
Permite al explorador de páginas desplegar en una nueva ventana el contenido de una URL, una página Web con mayor información que será de interés sobre determinado rasgo del mapa. El usuario deberá hacer clic sobre algún rasgo del mapa. Las capas en formato de imagen no podrán ser consultadas con esta herramienta, sin embargo en la parte inferior del mapa se indican los hipervínculos de las imágenes raster presentes en el mapa consultado. Hasta el momento esta función no está disponible para todos los mapas.

#### 4.6.2 Botones Estándar de MapCafé

-  **Previous map button / Botón para regresar.**  
Permite al usuario regresar a la extensión previamente visualizada en el mapa.
-  **Next map button / Botón para adelantar**  
Permite explorar hacia adelante cuando se está consultando la historia de despliegues en pantalla. El boton anterior y éste presentan la misma función que los botones del explorador de páginas Web, pero aplicadas específicamente a los mapas.
-  **Home button / Botón para regresar al mapa inicial**  
Permite al usuario regresar al mapa inicial de la página Web consultada.
-  **Zoom to full extent button / Botón de visualización completa**  
Permite al usuario ver la extensión del mapa entero, incluyendo todas las capas presentadas, pero algunas no se mostrarán por ser dependientes de la escala.
-  **Print button / Botón de impresión**  
Permite al usuario imprimir el mapa consultado o guardarlo en el disco. Abre una ventana separada y despliega una página que incluye un diseño elemental. La impresión se puede hacer desde el programa de exploración de páginas Web. Se puede guardar en disco haciendo clic con el botón derecho del ratón y seleccionando la carpeta donde recidirá la imagen (Windows).

#### 4.6.3 Botones Agregados

Además de las funciones mencionadas, para algunos mapas se han agregado a Map Café nuevas herramientas. El propósito de estas es incrementar las operaciones que el usuario pueda desarrollar, especialmente en los mapas que cuentan con bases de datos con mayor información. Todas las nuevas herramientas se han integrado a partir del código fuente desarrollado por Xia (1998).

-  **Measure button / Botón de medición lineal**  
Permite dibujar sobre el mapa una línea o una polilínea midiendo la distancia acumulada por sus segmentos, el reporte final se dará en kilómetros, excepto para los mapas de escala muy grande, en cuyo caso será en metros.
-  **Query button / Botón de consultas**  
Permite que el usuario realice consultas sobre los atributos de la base de datos, su funcionamiento es muy similar que en ArcView GIS 3.x.
-  **Tear button / Botón de separación del mapa**  
Activa y desactiva una ventana exclusivamente para interactuar con el mapa de manera independiente, la nueva ventana generada será del mismo tamaño que el marco definido en la página original del mapa. Permite el desplazamiento por toda la tabla de contenido del mapa.

Además de las funciones indicadas, en la esquina inferior izquierda se mostrarán las coordenadas geográficas del sitio donde se encuentre el cursor del ratón, el reporte se realizará en grados decimales. Finalmente, en la esquina inferior derecha aparecerá la escala gráfica del mapa.

#### 4.7 PROBLEMAS REPORTADOS

Problema 1. El FVM-SIG no hace acercamientos u otra función apropiadamente. En este caso, se recomienda utilizar una versión apropiada de *Microsoft Internet Explorer* versión 5 o *Netscape* (4.5 ó 4.7) para que el FVM-SIG mantenga su funcionamiento adecuado. El sistema no funciona con *Netscape* 6 debido a que la máquina virtual de java no es estándar.

Problema 2. Lentitud. El FVM-SIG transfiere grandes cantidades de información a la computadora. Los usuarios comúnmente desean esta información rápidamente (2-5 segundos). Después de hacer una solicitud al FVM-SIG, una ventana de procesamiento aparecerá, la cual indicará "Por favor espere un momento mientras los mapas son cargados". Espere hasta que la ventana de procesamiento se cierre antes de hacer cualquier otra solicitud al FVM-SIG. En computadoras con poca memoria RAM, la ventana de procesamiento puede desaparecer antes de que el mapa sea cargado. Asegúrese de que el mapa se recargue antes de hacer otra solicitud al FVM-SIG.

Problema 3. El Sistema realiza funciones extrañas. El FVM-SIG almacena información en la memoria. Algunas veces la memoria almacena información errónea. Si no se espera a que el sistema cargue los mapas, se puede generar información mal estructurada. Si se tienen estos problemas con el FVM-SIG, se deberán intentar los procedimientos siguientes:

1. Haga clic en el botón de la página principal para cerrar el mapa del FVM-SIG. Re-ingrese al FVM-SIG para seleccionar el mapa para el despliegue. Si el FVM-SIG no opera apropiadamente entonces considere el siguiente paso.
2. Utilizando Netscape, cierre el FVM-SIG y limpie la memoria, así como el *cache*. Seleccione Editar > Preferencias > Avanzado > Cache. Haga clic en el botón

Limpiar Memoria Cache y Aceptar. Después, haga clic para cerrar la ventana *cache*. Ahora, re-ingrese al FVM-SIG. El sistema deberá trabajar apropiadamente.

3. Si utiliza el programa Microsoft Internet Explorer 5, selecciona Herramientas > Opciones de Internet > General y Eliminar Archivos. Haga clic en las ventanas de aceptar tanto en las ventanas de Eliminar archivos, como en Opciones de Internet. Esta acción borrará los archivos de Internet y limpiará cualquier información errónea almacenada en el *cache*.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

147 000 000 000 000

## **CAPÍTULO 5**

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**





## 5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Durante el desarrollo de la base de datos del FVM-SIG se incluyeron principalmente ejemplos de mapas y datos que con mayor frecuencia se elaboran y / o utilizan en Ciencias de la Tierra. La integración de los mismos fue independiente de su calidad y, en lo posible, se utilizaron las técnicas de mayor uso para su captura o conversión a formato digital. En la ejecución de estas tareas se enfrentaron situaciones y problemas que se consideraron como representativos de cualquier proyecto de cartografía digital. En este capítulo se presenta una serie de reflexiones surgidas a partir de las experiencias en la implementación del FVM-SIG, la mayoría de las cuales se relacionan con la base matemática de los mapas, ya que fue en este grupo de elementos cartográficos donde se detectaron las principales deficiencias de la cartografía elaborada en la UNAM (capítulo 2). Al final del capítulo se muestran los productos cartográficos que le brindan valor agregado a la base de datos generada, los cuales evidencian el potencial de aplicación del FVM-SIG.

### 5.1 METODOLOGÍA PARA LA INTEGRACIÓN DE LA BASE DE DATOS DEL FVMSIG

Para la integración de datos con diversas características (escala, proyección, exactitud y resolución) resultó de gran importancia la definición de las coordenadas geográficas utilizando un esferoide geocéntrico como el WGS84. De esta forma el FVM-SIG ha eliminado el problema de integración de datos espaciales en zonas UTM distintas. Además, la base de datos implementada se puede consultar desde diversos programas de SIG y automáticamente reportará la posición de cualquier sitio en coordenadas geográficas.

En general, los mapas escaneados se corrigieron geoméricamente con puntos de control para dejarlos en su proyección original, mientras que los mapas digitalizados se capturaron directamente en la misma proyección del mapa. En ambos procesos se tuvieron errores inferiores a medio milímetro en la escala del documento cartográfico. Después todos los archivos digitales fueron transformados a coordenadas geográficas utilizando la técnica de reproyección (Mapa a Mapa). Para cada transformación realizada se generó un archivo con los puntos de control utilizados, así como los estadísticos del error RMS. En el caso de las imágenes de mapas, una copia de las mismas se mantuvo en su proyección original con el propósito de que se conservaran para esa serie de imágenes todas sus características cartográficas.

Para registrar geográficamente algunos datos y mapas escaneados, primero se integraron a la base de datos las imágenes georreferidas de las hojas topográficas del INEGI a escala 1:250,000. Para la parte oriental de la FVM también se contó con los productos vectoriales del INEGI de la misma escala. En general, la sobreposición de estos productos presentó desplazamientos menores a 125 metros. Después se realizó para ambos su transformación a coordenadas geográficas utilizando la técnica de reproyección (Mapa a Mapa). Finalmente los resultados de esta transformación se utilizaron como patrón en el registro Imagen a Imagen, así como en el Imagen a Mapa. La principal ventaja de este patrón es que facilita la ubicación de cualquier punto por

estar definido en latitud y longitud, en lugar de coordenadas cartesianas (X,Y) que al usuario no le indican nada sobre la posición real del punto de interés. Además, las coordenadas geográficas evitan el problema de trabajar en proyectos limitados a zonas específicas, tal como ocurre en el sistema de coordenadas UTM.

De manera similar para el registro de datos en la Cuenca de México se generó un ortofotomosaico escala 1:75,000 con pixeles de 2 metros utilizando ortofotos del INEGI con las mismas características. Finalmente, el ortofotomosaico también se reproyectó a coordenadas geográficas por las ventajas ya indicadas.

## 5.2 CAPTURA, CONVERSIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE DATOS

Para cualquier proyecto de SIG la selección de las técnicas de captura, conversión y transformación depende de varios factores. Algunos ejemplos son los recursos informáticos disponibles (programas y equipo de cómputo), el tiempo, el presupuesto, el grado de conservación del documento cartográfico, las variables representadas, la experiencia del analista en este tipo de tareas y la complejidad de cada técnica. A continuación se analizan los ejemplos de cada una de las técnicas utilizadas en la implementación del FVM-SIG, así como los casos donde fue conveniente aplicarlas.

### 5.2.1 Digitalización con tableta

La digitalización con tableta es una de las técnicas más empleadas en la generación de cartografía digital. Es conveniente cuando los materiales a digitalizar se encuentran en buen estado, cuando se cuenta con una tableta lo suficientemente grande para cubrir todo el mapa y cuando se reduce la complejidad del mismo capturando solo un tipo de rasgo geográfico por sesión. La Figura 5.1 representa un buen ejemplo de un producto cartográfico generado con esta técnica. En este trabajo se capturó de la misma forma la Figura 5.2 utilizando como base una copia fotostática del mapa original en papel.

### 5.2.2 Digitalización en pantalla

Debido al incremento de productos digitales en formato raster, tales como ortofotos e imágenes georreferidas, ha ido creciendo notablemente el uso de la digitalización en pantalla a partir de estos datos, y de alguna forma está sustituyendo a la digitalización con tableta. La ventaja de la digitalización en pantalla es que requiere menos esfuerzo visual por parte de la persona que está capturando el mapa, ya que los programas que realizan este tipo de operación cuentan con diversas herramientas de acercamiento, desplazamiento, alejamiento y visión sinóptica. Esta técnica es conveniente cuando se conoce la exactitud real de la imagen utilizada para digitalizar, y cuando ésta es adecuada para el proyecto. En tales circunstancias los resultados finales suelen tener menor error que los de la digitalización con tableta. Además, la digitalización en pantalla permite reducir el tiempo de captura. En términos económicos el uso de esta técnica en comparación a la digitalización con tableta puede ser menor ya que es más rápida y no requiere tableta, pero el costo final dependerá de la infraestructura y recursos disponibles (necesita de un *scanner* por lo menos de formato medio).

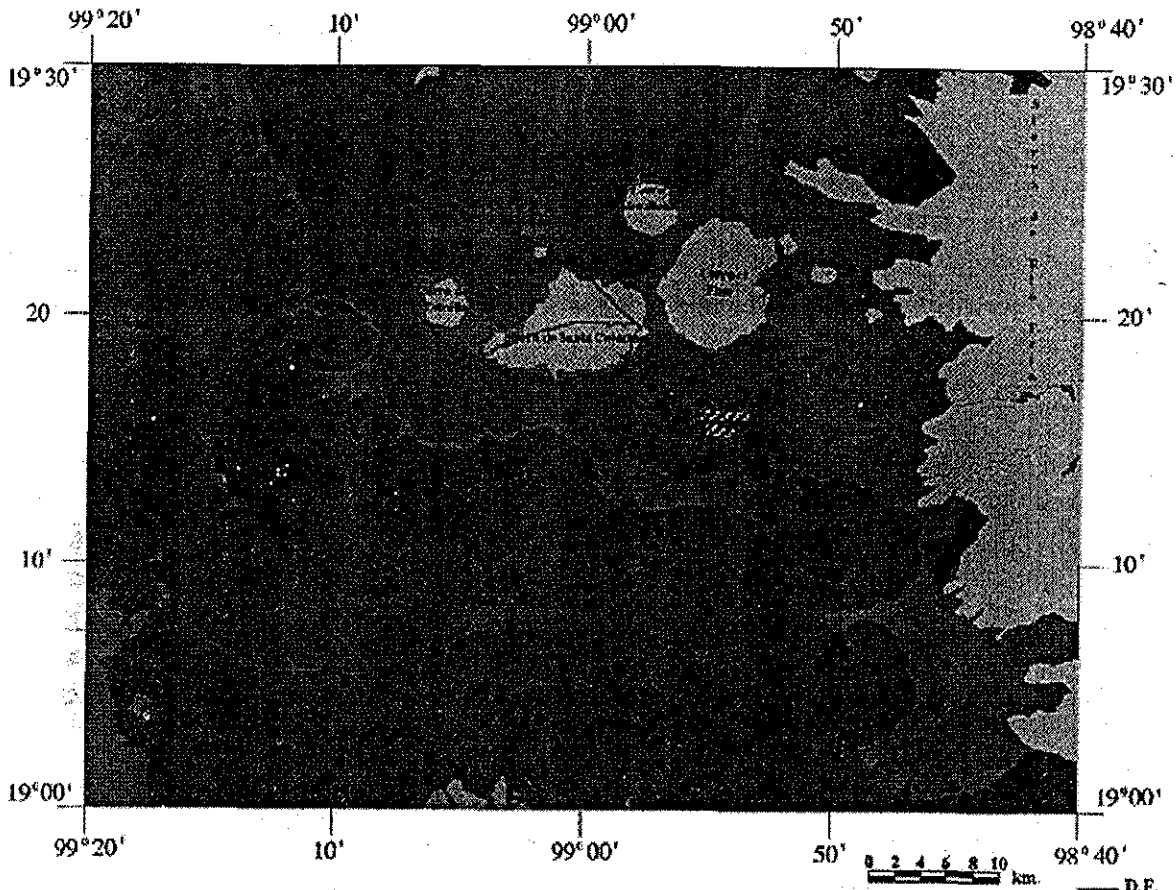


Figura 5.1. Geología Regional de la Cuenca de México (Díaz-Molina, 2000). Ejemplo de un mapa digitalizado con tableta.

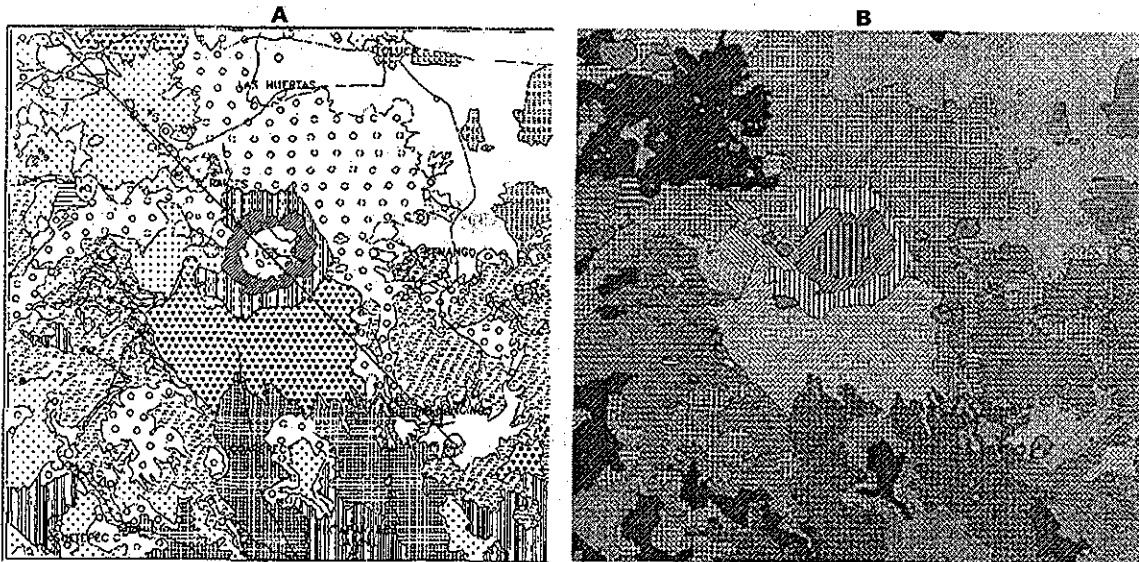


Figura 5.2. Zonificación Geomorfológica del volcán Nevado de Toluca (Aceves-Quesada, 1996). Ejemplo del mapa original (A) y del digitalizado con tableta (B).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

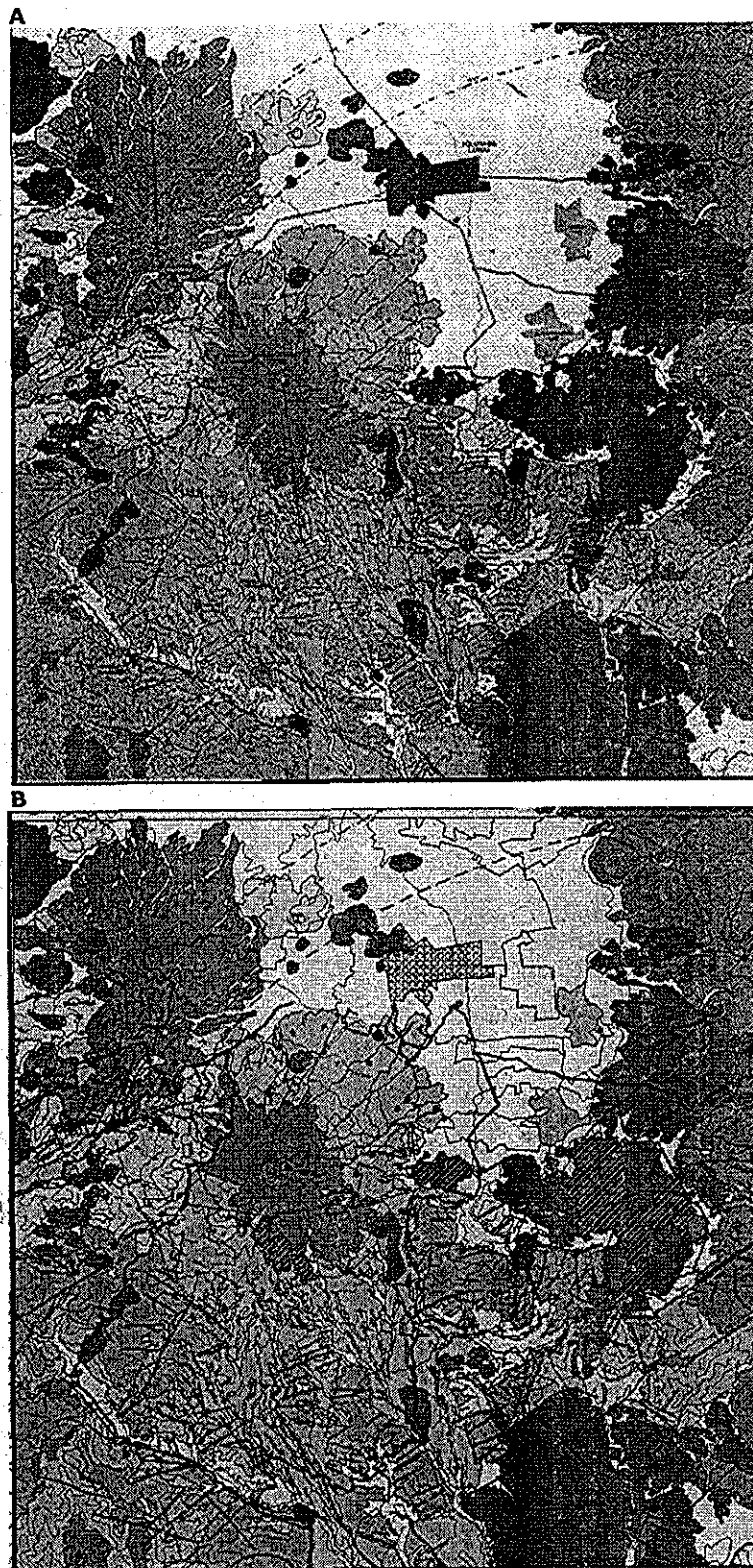


Figura 5.3. Geología del Volcán Nevado de Toluca y áreas adyacentes, Centro de México (García-Palomo *et al.*, 2002). Ejemplo del mapa original (A) y del digitalizado en pantalla (B). Explicación completa en el texto.

La Figura 5.3 muestra la imagen de un mapa geológico publicado a escala 1:100,000 y permite la comparación con su versión digital (en formato vectorial), la cual fue capturada con la técnica de digitalización en pantalla. El original se diseñó en el programa CorelDRAW integrando varias capas que fueron digitalizadas en AutoCAD. En este caso se utilizó para la digitalización una imagen TIFF a 300 dpi, la cual fue generada usando las funciones de exportación de CorelDRAW. Sin embargo, se detectó que la imagen presentaba inconsistencias geométricas, incluso en las coordenadas indicadas al margen, por lo tanto fue necesario corregirla utilizando rasgos evidentes como puntos de control.

Un resultado interesante de esta técnica fue que la integración de los vectores originales de AutoCAD junto con la digitalización en pantalla permitió definir mejor la configuración de los límites de las unidades y corregir algunos errores (véase sección 5.3.3.3). De esta manera resultó factible hacer impresiones en la escala de las cartas topográficas utilizadas para su elaboración (1:50,000). En este caso, las impresiones en la escala del mapa base se pueden realizar a partir del archivo vectorial generado y dividiendo por zonas de interés. Esta función es muy importante en proyectos dedicados a la generación de una serie de hojas en la misma escala que los mapas base.

La Figura 5.4 muestra que esta operación es menos factible para ampliaciones utilizando el documento cartográfico (técnica fotomecánica). En la imagen A se observa una ampliación del mapa original (200%). En la imagen B se muestra la misma zona pero la composición cartográfica se ha elaborado en ArcView GIS, a partir del archivo vectorial digitalizado en pantalla, así como de otras capas digitalizadas en AutoCAD. La edición en esta composición con respecto al diseño general del vector ha sido mínima, ya que la mayoría de los programas de SIG adaptan el tamaño de los elementos gráficos de una composición cartográfica de acuerdo a la escala de la misma. La comparación de ambas imágenes permite ver que en el diseño original del mapa mostrado en la imagen A se eliminaron algunas curvas de nivel, lo que evidencia la pérdida de información debido a su reducción (generalización cartográfica). Sin embargo, los mapas digitales se pueden llevar a la misma escala de los mapas base utilizados sin ninguna pérdida de información, incluso agregando más (en este caso los puntos en la imagen B corresponden a sitios de muestreo y pequeñas localidades).

### 5.2.3 Barrido Óptico Electrónico (escaneo)

Esta técnica permite integrar a los proyectos de SIG datos como fotografías aéreas y mapas temáticos. Se recomienda utilizarla cuando se cuente con un *scanner* del tamaño y resolución adecuados para el tipo de material cartográfico por transformar, la extensión del área de estudio, la escala de trabajo, así como para la exactitud requerida.

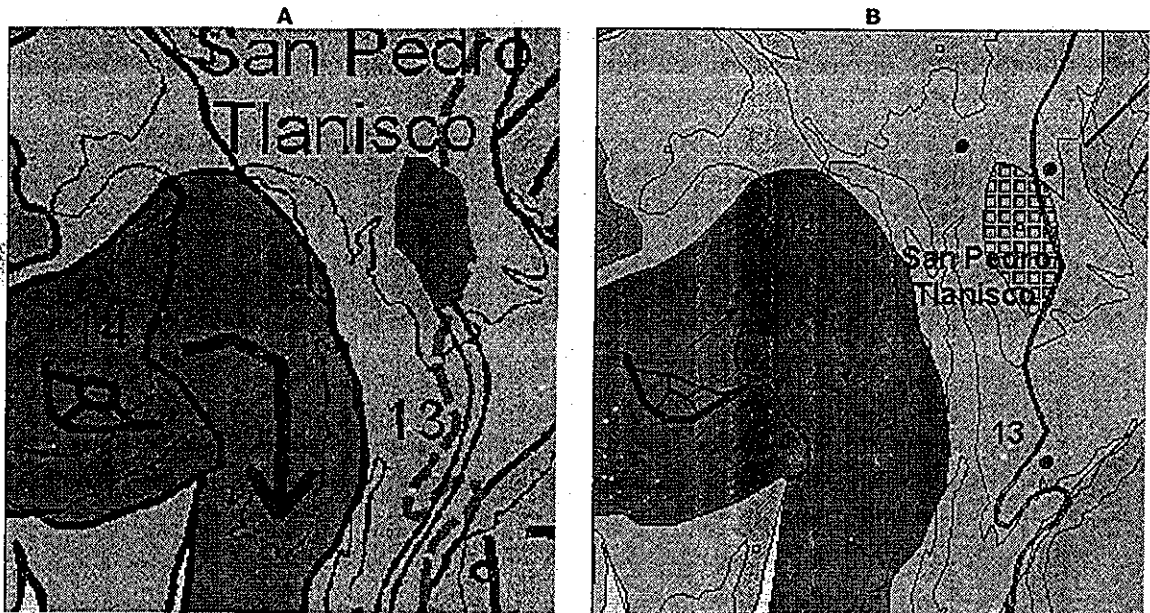


Figura 5.4. Segmento de la carta geológica de García-Palomo *et al.*, 2002 (Figura 5.3), a escala 1:50,000. La explicación completa se encuentra en el texto.

En la generación de la base de datos de FVM-SIG se tuvo acceso a un *scanner* de formato grande, el cual se utilizó para generar las imágenes de mapas completos. El equipo permitió el barrido de los primeros mapas a 300 dpi (-12 puntos por mm) y 256 colores (8 bits), tal como se propuso en el capítulo 3. Sin embargo, los mapas muy grandes generaron archivos también muy grandes (-250 MB), lo cual dificultó su manejo durante la transformación a coordenadas geográficas (ya que el sistema utilizado requiere convertir los archivos a 24 bits, es decir 750 MB). La principal consecuencia fue el incremento en el tiempo de procesamiento y la dificultad para transportar los archivos entre los sistemas utilizados.

Por lo anterior, se decidió evaluar el barrido de los mapas restantes reduciendo a la siguiente resolución disponible en el *scanner*, la cual fue de 200 dpi (-8 puntos por mm). Los resultados fueron satisfactorios, sin embargo esta experiencia mostró que cuando se requiera una resolución no disponible en el *scanner* también se puede considerar el remuestreo, a partir de una imagen de mayor resolución, por ejemplo de 300 a 250 dpi.

La Figura 5.5 muestra un ejemplo remuestreado de la Carta Geológica de la República Mexicana (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1992) en su proyección original (Cónica Conforme de Lambert), así como el resultado de su transformación a coordenadas geográficas para integrarla a la base de datos del FVM-SIG. Por otra parte, la Figura 5.6 presenta un segmento del mismo mapa, pero en ésta se pueden comparar las imágenes con las resoluciones utilizadas en el FVM-SIG, aproximadamente 300 y 200 dpi.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Figura 5.5. Carta Geológica de la República Mexicana (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1992). Ejemplo de la carta original (A) y de la re proyectada a coordenadas geográficas (B). Nótese el cambio de la configuración de territorio proyectado en ambas imágenes.

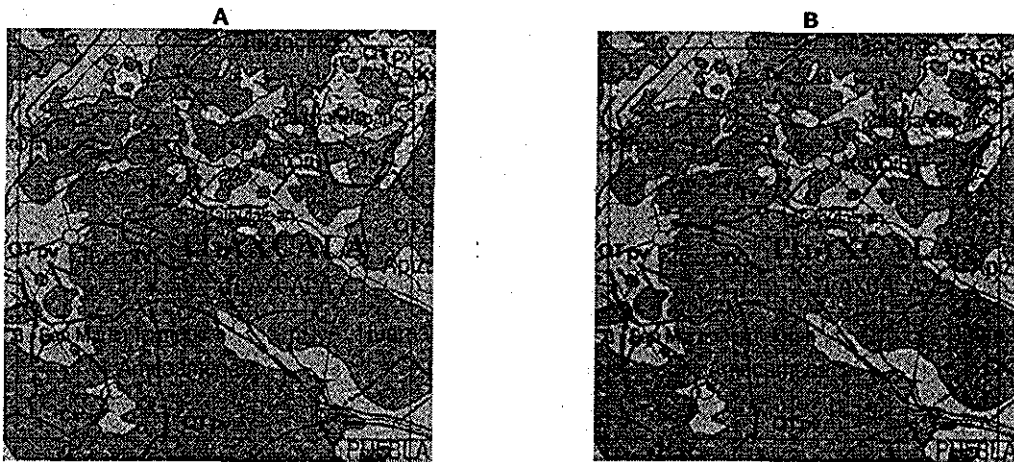


Figura 5.6. Segmento de la Carta Geológica de la República Mexicana (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1992) aproximadamente en su escala original (1:2,000,000). Ejemplo de la carta con resolución de ~300 dpi (A) y ~200 dpi (B). Nótese que la resolución sigue siendo adecuada.

#### 5.2.4 Vectorización

En general cualquier variante de la técnica de vectorización se debe aplicar cuando las imágenes que se desean convertir a formato vectorial contienen un solo tipo de rasgo, por ejemplo fallas o isolíneas. En la Figura 5.7 se muestra un ejemplo generado a partir de esta técnica. La Figura 5.7A muestra la imagen base y la Figura 5.7B presenta los vectores generados automáticamente. Nótese que los vectores ya presentan edición en las zonas donde las isolíneas se cortan con las cotas.

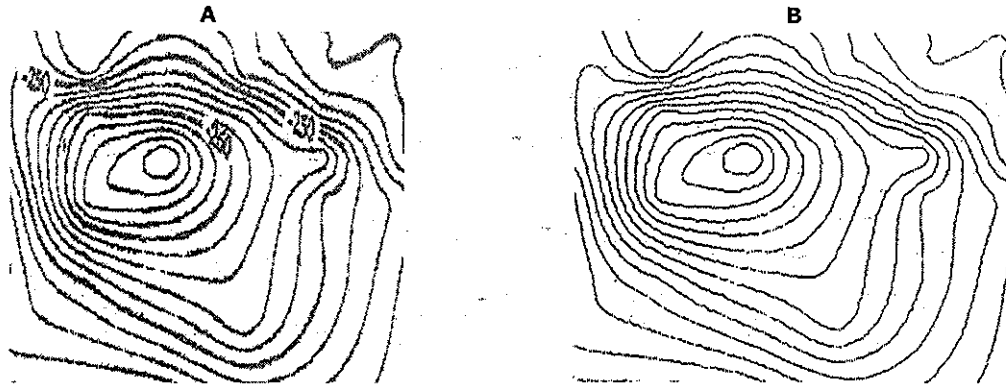


Figura 5.7. Segmento del mapa de Anomalía de Bouger (Delgado-Rodríguez, 1995). Ejemplo de vectorización semiautomática. Explicación completa en el texto

Sin embargo, no todas las cartas con un solo tipo de rasgo son buenos candidatos a la vectorización. En la Figura 5.8 se pueden observar varios segmentos de una carta que complicarían la vectorización. En este ejemplo, los datos que dieron origen a las isolíneas fueron interpolados y en la impresión del mapa se asignó un grosor y número exagerado de isolíneas. En este caso lo más factible es partir del archivo digital y generar nuevas isolíneas evaluando la equidistancia más adecuada. Si esto no es posible, entonces se puede aplicar el barrido de la carta y eliminar la mayor cantidad de sus errores para finalmente realizar la vectorización.

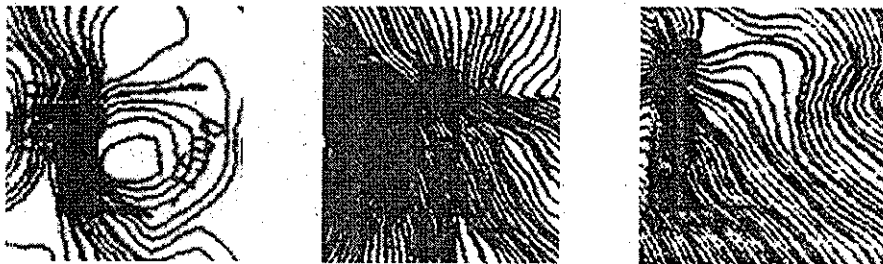


Figura 5.8. Segmentos de un mapa de Gravimetría (PEMEX, s/a). Ejemplo de un mapa de isolíneas mal elaborado que no califica para la vectorización.

### 5.2.5 Mosaicos

La técnica de creación de mosaicos permitió la unión de diferentes datos raster e imágenes de productos cartográficos para integrarlos como una sola imagen a la base de datos del FVM-SIG. En esta técnica se integraron o eliminaron algunos de los procesos descritos para la misma (sección 3.3.9), en función del tipo y las características del material utilizado, así como de la existencia o carencia de traslape entre los mismos. A continuación se discuten algunos ejemplos según el material utilizado.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



### 5.2.5.1 Mapas

En la Figura 5.9A se muestra el mosaico de la Carta Tectónica de Padilla y Sánchez *et al.* (1994); el cual está formado por las imágenes de dos hojas ya transformadas a coordenadas geográficas. En la Figura 5-9B se muestra un segmento de la unión del mismo mosaico aproximadamente en su escala original (1:2,000,000). Para tener los mejores resultados, y debido a la existencia de traslape, se utilizó una línea de borde con rampa de suavizado de 1 pixel entre cada imagen. Este proceso permitió realizar un ajuste espacial continuo, es decir, sin ningún bloqueo debido al color de fondo de las imágenes. Los desplazamientos e inconsistencias que se llegaron a presentar fueron menores y se asociaron a la exactitud propia de cada mapa, y no a la técnica de mosaico. El resultado presentó algunas diferencias entre los colores a cada lado de la línea de borde, pero después se editaron para homogeneizar la imagen final.

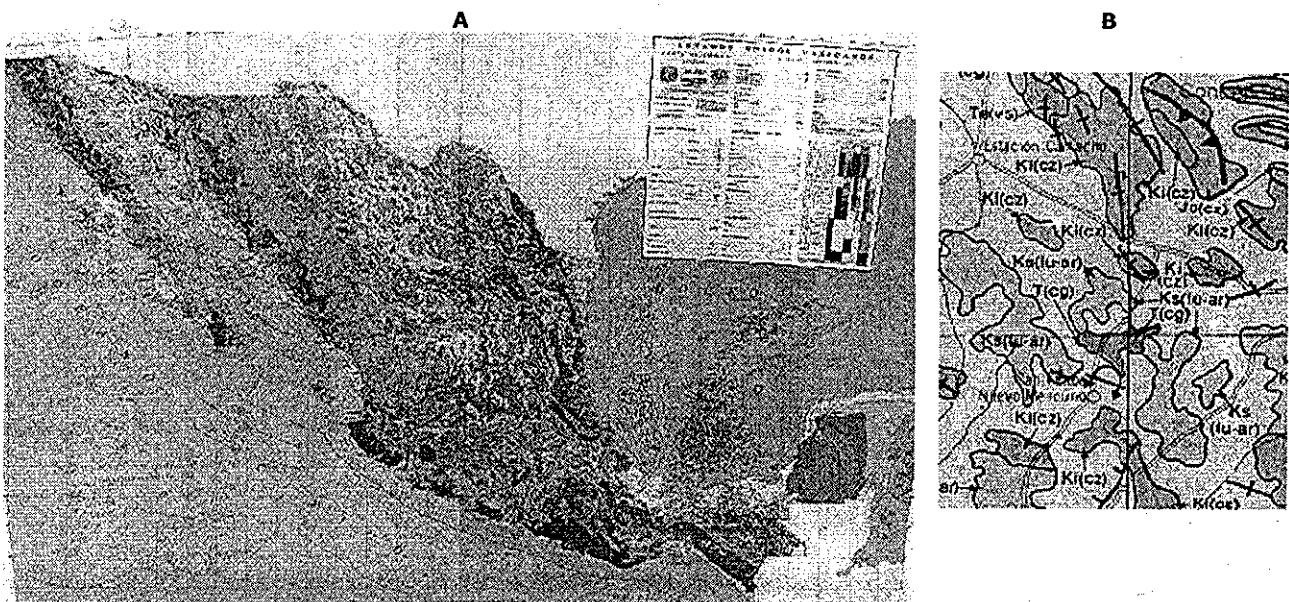


Figura 5.9. Mosaico de la Carta Tectónica (Padilla y Sánchez *et al.*, 1994). Explicación completa en el texto.

### 5.2.5.2 Modelos Digitales de Elevación

Se integró un mosaico para toda la FVM constituido por 33 Modelos Digitales de Elevación GEMA (INEGI, 1996). Cada uno con dimensiones de 1° de longitud por 1° de latitud y resolución de 3 arcosegundos. Debido a que la nomenclatura de cada archivo indica su posición geográfica, así como a la carencia de traslape en este tipo de datos, se realizó la unión a partir de las coordenadas de sus pixeles y sin utilizar una rampa de suavizado. El resultado fue consistente y presentó la continuidad esperada (Figura 5.10).

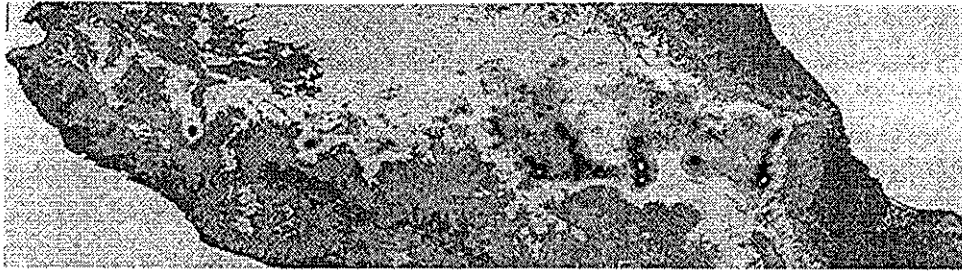


Figura 5.10. Altimetría para la Faja Volcánica Mexicana a partir del mosaico de Modelos Digitales de Elevación del GEMA (INEGI, 1996).

### 5.2.5.3 Imágenes de Satélite

La Figura 5.11 muestra la reconstrucción de un mosaico previamente elaborado con imágenes Landsat 5 TM (JPL, 1995), la reconstrucción se realizó a partir de recortes del mismo con dimensiones de 1° de longitud por 1° de latitud. En este caso la técnica utilizada fue similar a la descrita para los modelos digitales de elevación, excepto que la unión se realizó considerando las coordenadas geográficas de cada recorte.

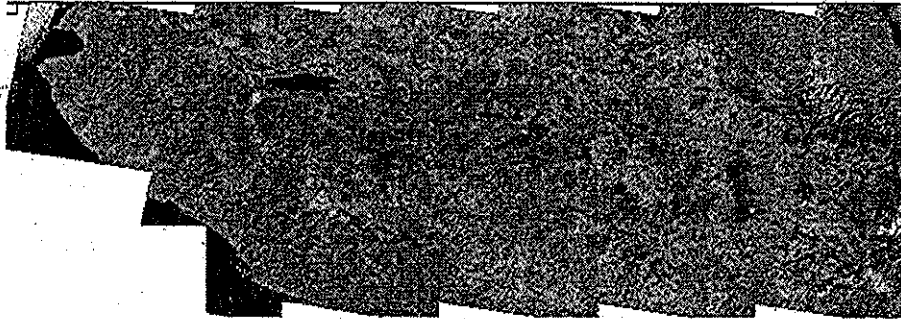


Figura 5.11. Compuesto 7-4-1 (R,G,B) de un mosaico de imágenes Landsat 5 TM (JPL, 1995). Cobertura al 90% de la Faja Volcánica Mexicana.

La Figura 5.12 presenta los aspectos más importantes en el proceso de creación de un mosaico con imágenes del sensor ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), instalado en el satélite Terra (EOS AM-1) de *NASA Earth Science Enterprise* (<http://asterweb.jpl.nasa.gov>). Este instrumento adquiere 14 bandas con resoluciones de 15 m (bandas 1-3), 30 m (bandas 4-9) y 90 m (bandas 10-14). En la actualidad este tipo de sensores son muy importantes para aplicaciones cartográficas porque proveen información que complementa la generada por otros instrumentos de resolución espacial moderada. La figura 5.12A corresponde a una escena estándar de ASTER (60x60 km), la cual cubre la Ciudad de México y fue adquirida en diciembre del 2001, el nivel de procesamiento que tiene dicha imagen es 1B, es decir, radiancia registrada en el sensor con coeficientes geométricos y radiométricos aplicados, el registro geométrico está en proyección UTM (zona 14). La figura 5.12B corresponde a la misma escena pero rectificada geométricamente con el método imagen a imagen (utilizando como imagen patrón un ortofotomosaico con resolución de 2 m). En este registro se aplicó un polinomio de primer grado con 37 puntos GCP, reportando un RMS de ~10 m (0.65 pixeles).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Considerando el mismo ortofotomosaico (Figura 5.12C), se evaluó la exactitud en un punto aleatorio en cada una de las imágenes. La escena original presentó más de 50 m de desplazamiento (Figura 5.12D), mientras que la escena registrada con puntos GCP presentó -20 m (Figura 5.12E). La Figura 5.12F muestra la composición en falso color 3-2-1 (R,G,B) de un fragmento del mosaico de datos ASTER, el cual corresponde a la escena anterior (registrada con el polinomio), junto con una subescena vecina (de noviembre de 2001) rectificadas con la misma técnica y criterios de exactitud similares. Finalmente, las bandas de 30 m de resolución del ASTER también se pueden rectificar utilizando los mismos puntos GCP de las bandas de 15 m, reduciendo así el tiempo de esta tarea, simplemente se requiere grabar el archivo con las coordenadas del registro de las bandas de mayor resolución y después editar dicho archivo en una hoja de cálculo, dividiendo entre dos las columnas de las coordenadas de la imagen (x,y). Esta técnica permite tener un RMS menor a medio píxel, lo cual resulta de gran aplicación para proyectos de análisis de cambios.

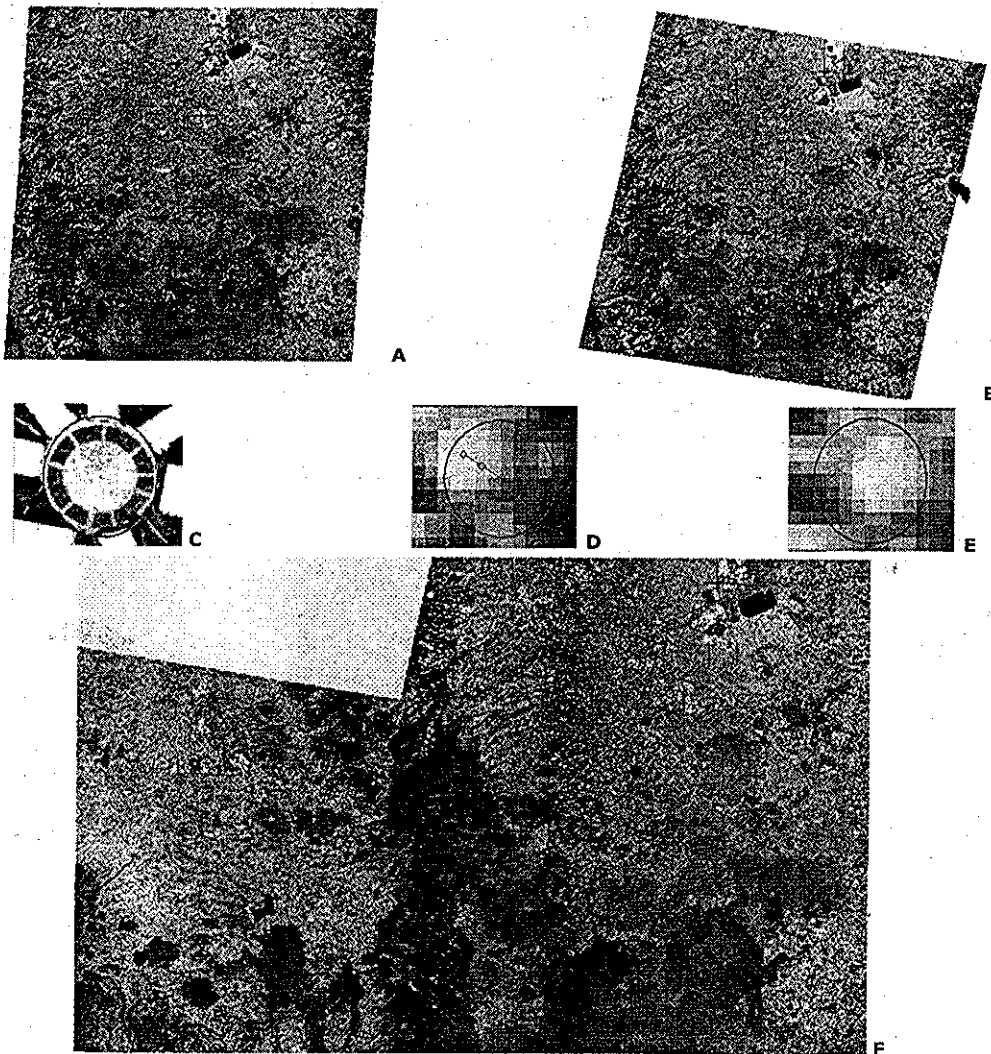


Figura 5.12 Proceso de creación de un mosaico con imágenes ASTER, explicación completa en el texto.

#### 5.2.5.4 Fotografía Aérea

En la Figura 5.13A se presenta un ortofotomosaico de la Ciudad de México elaborado a partir de 19 ortofotos del INEGI tomadas de 1993 a 1995. En la Figura 5.13B se muestra un acercamiento que corresponde al recuadro de la Figura 5.13A. En general, en el mosaico de fotografías aéreas es muy importante utilizar las funciones de sobreposición gradual y balance de histogramas, ya que permiten generar productos homogéneos que disminuyen notablemente los bordes y las diferencias entre cada ortofoto. Sin embargo, los mosaicos creados con imágenes capturadas en condiciones y fechas muy diferentes, como en este caso, pueden mantener aún ciertas evidencias de la unión.

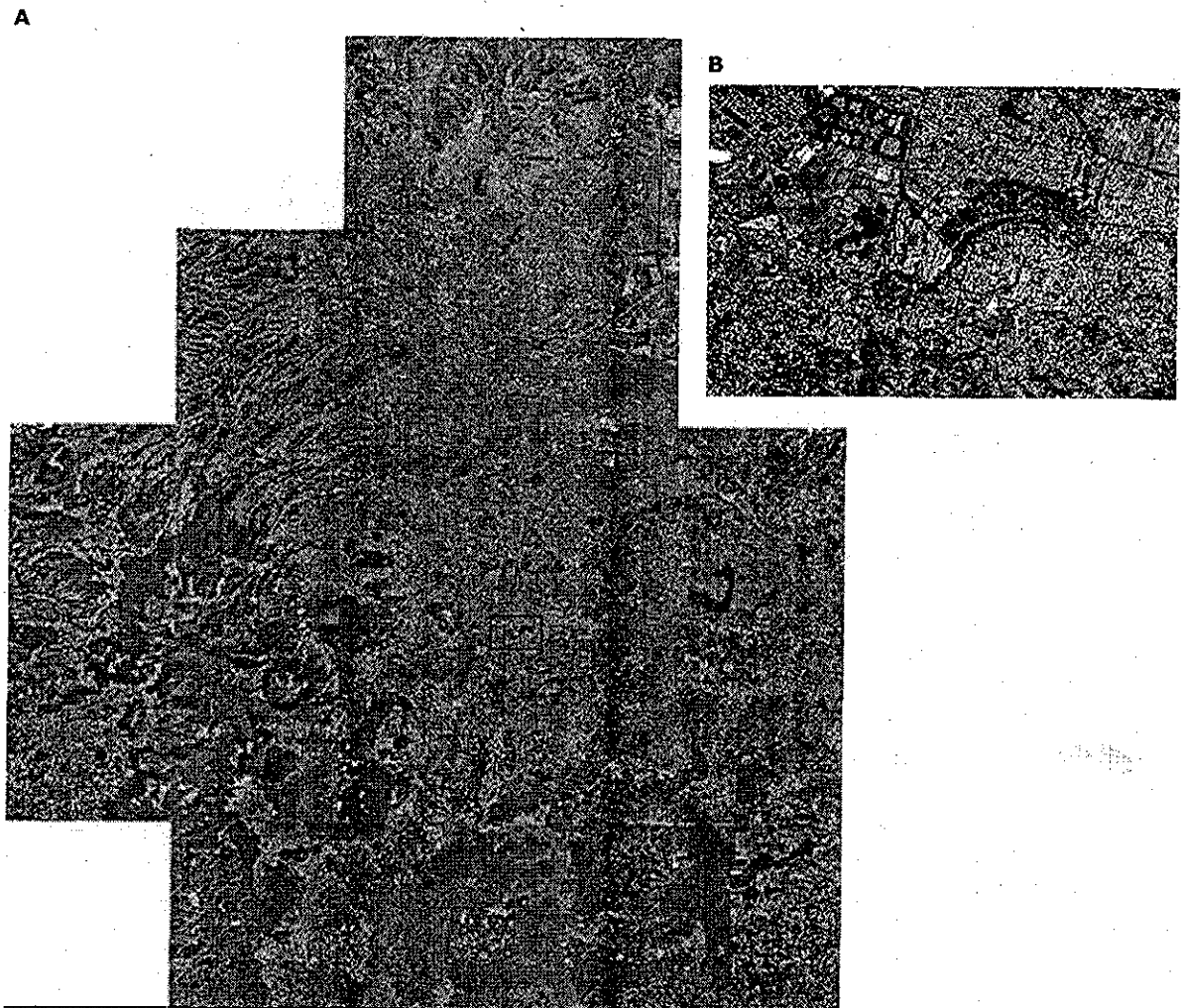


Figura 5.13. Ortofotomosaico de la Ciudad de México, explicación completa en el texto.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 5.2.6 Unión de archivos en formato vectorial

Esta técnica se realiza en la mayoría de los programas de SIG con el propósito de crear un solo archivo en formato vector a partir de dos o más contiguos. El funcionamiento óptimo se presenta cuando los archivos que se unirán son consistentes, es decir, cuando en su elaboración fueron utilizados los mismos criterios (escala, número de clases, unidades cartográficas y / o códigos de atributos). Sin embargo, en la práctica esta condición difícilmente se cumple y resulta necesario aplicar criterios de homologación para dichas características. El principal criterio utilizado es la reclasificación, tanto de los rasgos en conflicto, como de todos los rasgos de cada archivo. Esta última técnica es la más adecuada en el caso de unión de polígonos, pero requiere de un sólido conocimiento en la disciplina del mapa. En general es muy importante la escala cartográfica de la que se derivan cada uno de los datos por unir, ya que ésta influye en la configuración geométrica de los rasgos y determina de alguna forma el número de clases o unidades que se pueden discriminar adecuadamente.

En la Figura 5.14 se presenta un ejemplo de unión de dos mapas geológicos con diferentes características. En este caso se utilizó como criterio de unión la reclasificación de las unidades dentro del borde compartido por ambos archivos. Donde fue necesario se definió un nuevo límite a partir de la fointerpretación de compuestos a color de una imagen Landsat TM sobrepuestos al Modelo Digital de Elevación de la zona.

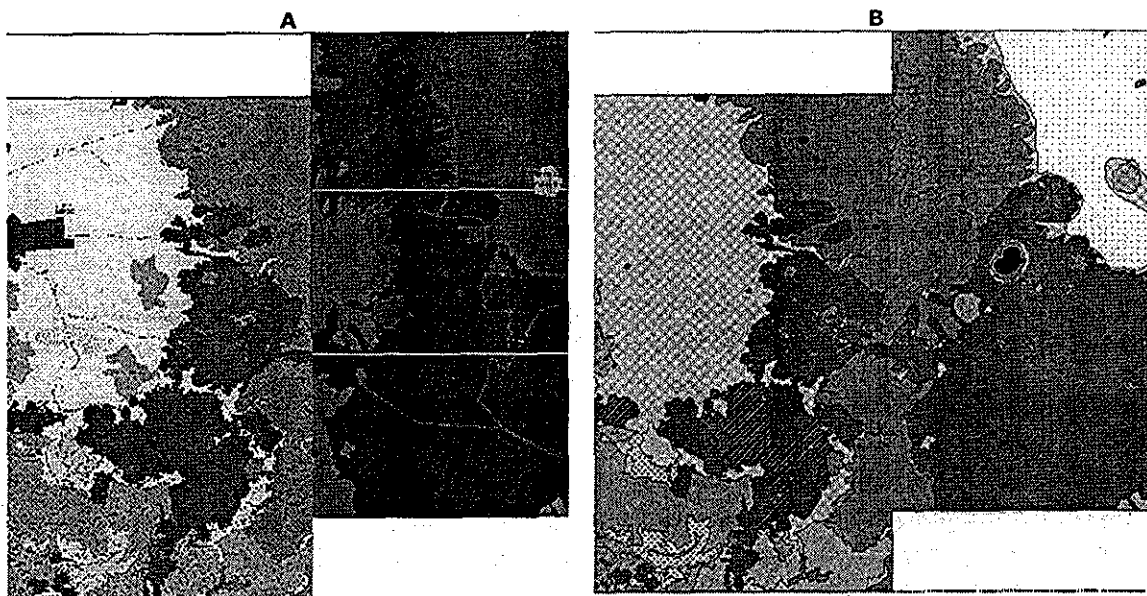


Figura 5.14. Unión de mapas geológicos. En la imagen A se observa la zona de unión entre dos mapas geológicos adyacentes, pero elaborados por diferentes autores (García-Palomo *et al.*, 2002; Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989; Díaz-Molina, 2000). En la imagen B se presenta el archivo vector resultado de la unión y reclasificación de las unidades en conflicto.

### 5.3 PROBLEMAS EN LA INTEGRACIÓN DE LA BASE DE DATOS ESPACIALES

A continuación se exponen los principales problemas que fueron encontrados al realizar la conversión de mapas en papel a formato digital. Dentro de lo posible se incluyen imágenes de ejemplos reales con el propósito de evidenciar la incidencia de algunos problemas que hacen énfasis en conflictos durante su integración en la base de datos de un SIG. Para cada problema se proponen técnicas y recomendaciones para su corrección y / o prevención.

#### 5.3.1 Problemas en las coordenadas originales

##### 5.3.1.1 Carencia de coordenadas extremas

En la Figura 5.15 se muestra la esquina superior derecha de un mapa, en el cual no se incluyeron las coordenadas extremas. Por lo tanto, transformar mapas de este tipo a formato digital constituye un problema grave porque no se tienen puntos de referencia, en consecuencia resulta necesario invertir más tiempo identificando rasgos dentro del mapa, además se complica la ubicación del área dentro de un índice cartográfico. Para solucionar dicho problema en el registro de este mapa se utilizó otro disponible de la misma zona que sí incluía las coordenadas extremas.

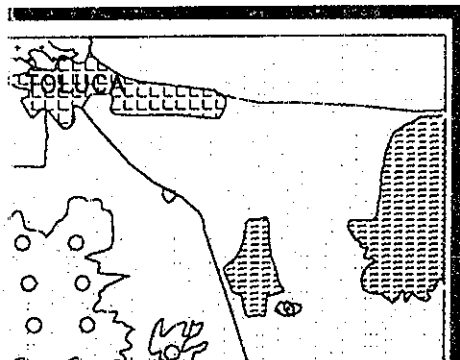


Figura 5.15 Segmento del mapa de Zonificación Geomorfológica del Volcán Nevado de Toluca (Aceves-Quesada, 1996), explicación completa en el texto.

##### 5.3.1.2 Manejo de la longitud como valores positivos

En la Figura 5.16 se incluyen los recortes de las esquinas superior izquierda e inferior derecha de un mapa en el cual se ha etiquetado erróneamente una de las coordenadas de la longitud. Este error se presenta al considerar la longitud con valores positivos. En la Figura 5.16A la longitud es  $100^{\circ}$  y en la Figura 5.16B es  $100^{\circ}30'$ . El error se encuentra en la imagen B, donde la coordenada debe ser  $99^{\circ}30'$ . Para evitar este problema cuando se utilicen coordenadas geográficas, se recomienda capturar siempre la longitud con valores negativos y de preferencia en grados decimales porque de esta forma se realiza el registro en la mayoría de los programas de SIG.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

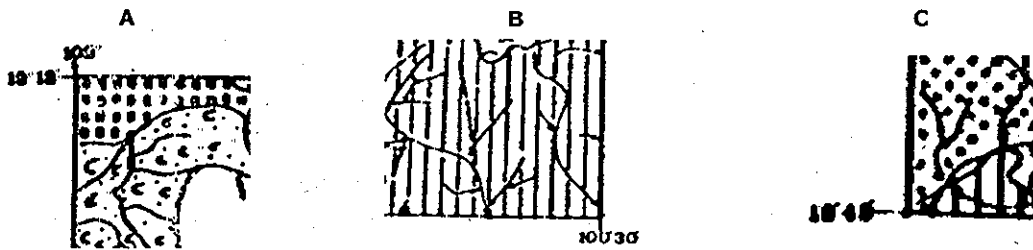


Figura 5.16 Geomorfología General del Volcán Nevado de Toluca (Aceves-Quesada, 1996), explicación completa en el texto.

### 5.3.1.3 Identificación errónea de alguna coordenada extrema

La Figura 5.16C muestra el ejemplo de la esquina inferior izquierda de un mapa donde el uso de la técnica de reducción fotomecánica ocasionó que la coordenada sea ilegible. En este caso se confirmó con el original el valor de la coordenada del mapa como  $19^{\circ}49'$ , sin embargo el valor correcto debe ser  $18^{\circ}49'$ .

### 5.3.1.4 Error en la estimación de coordenadas

El área cartografiada en la carta de la Figura 5.17 presenta geometría irregular y es un ejemplo representativo de productos digitales que en su elaboración original fueron capturados con coordenadas de tableta (sección 5.3.2.1). En mapas con características similares es común que alguna de las coordenadas sea estimada o aproximada con errores mayores a la tolerancia de la escala del documento. Al centro de la parte inferior de la Figura 5.17A se presentan las coordenadas determinadas para una esquina del mapa ( $-105^{\circ}$ ,  $20^{\circ}20'$ ). Las coordenadas de la imagen para dicho punto también se reportan en la parte inferior de la ventana (2969.41, 6496.87). En la Figura 5.17B se muestra aproximadamente la misma parte de la carta anterior, pero ya registrada en coordenadas geográficas. En la parte inferior de la ventana se reportan con grados decimales las coordenadas correctas ( $-105$ ,  $20.39$ ) para la misma esquina, las cuales son equivalentes a  $105^{\circ}$  de longitud oeste y  $20^{\circ}23'24''$  de latitud norte. De acuerdo con ambas imágenes, en el mapa original el valor de la latitud fue estimado con error de 0.06 grados, los cuales corresponden a 6,265 metros para esa latitud. Este error resulta mucho mayor que la exactitud topográfica de los mapas base, ya que equivale a 2.5 centímetros de desplazamiento sobre el mapa.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

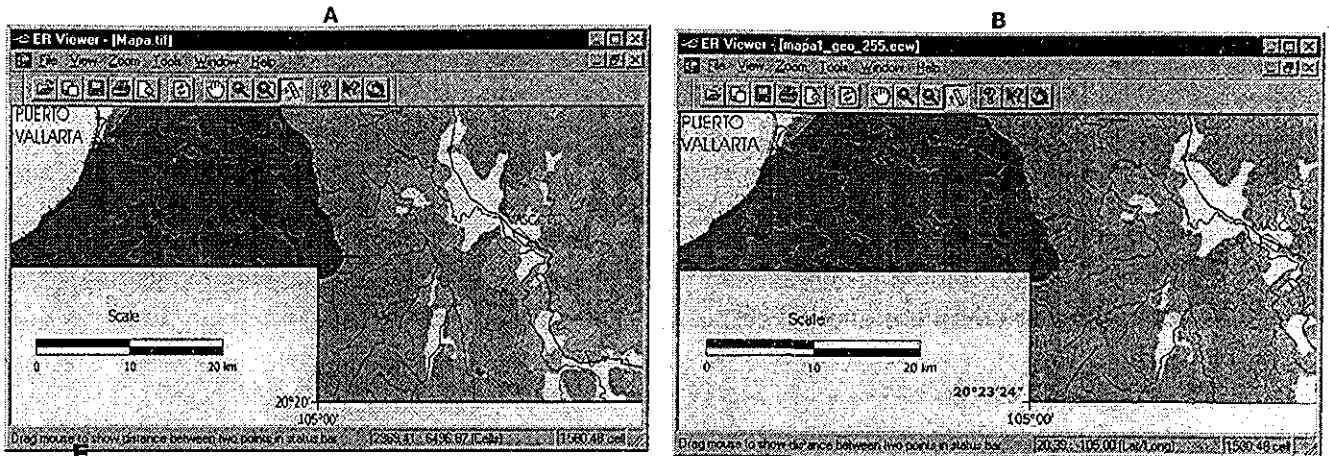


Figura 5.17 Error en la estimación de coordenadas. Ventana de ER-Viewer 2.0 desplegando parte de la carta *Regional Geologic Map of the Western Mexican Volcanic Belt and adjacent Sierra Madre Occidental and Jalisco Block* (Ferrari et al., 1999).

El último problema expuesto ocasiona un error que se puede detectar en el proceso de registro del mapa (sección 3.3.1.2), específicamente al momento de capturar los valores de los puntos de control (GCP). Para su identificación la lista de GCP se debe ordenar de acuerdo al error RMS y de esta forma serán evidentes los puntos con errores más graves. Para mejorar el modelo de registro se deberán de integrar puntos identificados dentro del mapa, tales como cruces de carreteras. En el mapa de Ferrari et al. (1999), se incluyeron los bancos de nivel (BN) y los vértices geodésicos de la cartografía topográfica del INEGI. Esta característica del documento resultó muy importante para realizar su rectificación. En este estudio todos los BN y los vértices geodésicos se integraron al modelo de registro con GCP utilizando la técnica Imagen a Mapa (sección 3.3.2.2).

La Figura 5.18 muestra parte del mapa resultante comparado con el mosaico de dos imágenes de la cartografía topográfica del INEGI, la cual se utilizó para su registro.

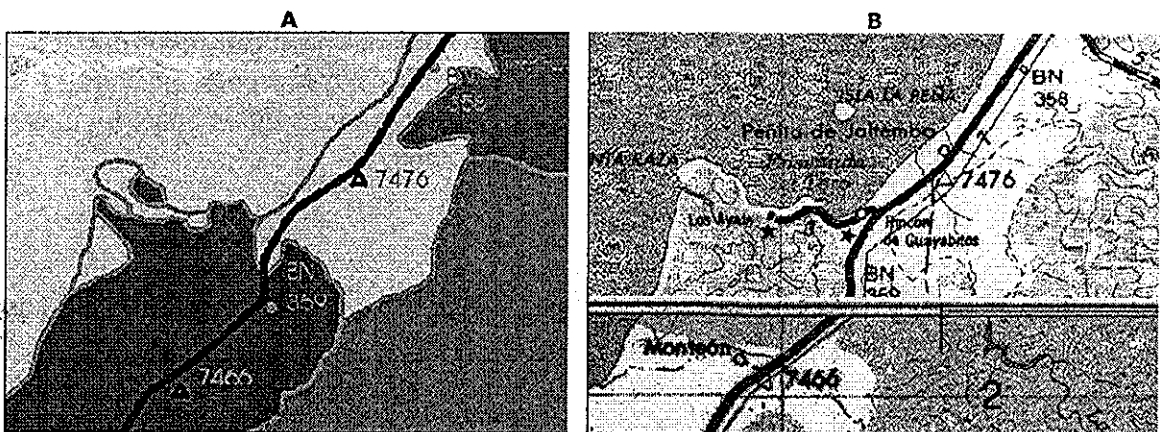


Figura 5.18. Rectificación con vértices geodésicos y bancos de nivel (BN). En A se presenta un segmento de la carta geológica de Ferrari et al. (1999), georreferida a partir de los vértices geodésicos y BN incluidos en la misma. En B se incluye parte de un mosaico de dos hojas topográficas del INEGI que cubre la misma zona que A.



Finalmente, para evitar problemas que se relacionen con la captura de coordenadas geográficas, se recomienda utilizar la precisión adecuada en decimales. Para lo cual se debe considerar la escala de trabajo, el tipo de aplicación y los objetivos deseados. De esta forma, cuando los datos se capturen vía teclado será necesario escribir todos los dígitos del dato original. Esta precaución evitará también la generación de algunos de los problemas mencionados en la siguiente sección.

### 5.3.2 Problemas en la digitalización

#### 5.3.2.1 Utilización de coordenadas de tableta o arbitrarias

En la Figura 5.19 se presenta la ventana de AutoCAD Map con un acercamiento a un archivo de una carta geológica digitalizada con coordenadas de tableta. En la esquina inferior izquierda se pueden ver las coordenadas del cursor que aparece casi en el centro de la ventana. Los mapas digitalizados de esta forma pierden sus características geométricas y no se pueden integrar directamente a la base de datos de un SIG. La técnica para transformarlos es a partir de puntos de fácil identificación y coordenadas conocidas. En los programas que guardan las coordenadas de los TICS (tales como ArcInfo), es relativamente simple realizar esta transformación. Los mapas que incluyen los vértices geodésicos y los bancos de nivel darán mejores resultados al incorporar éstos datos al modelo de transformación.

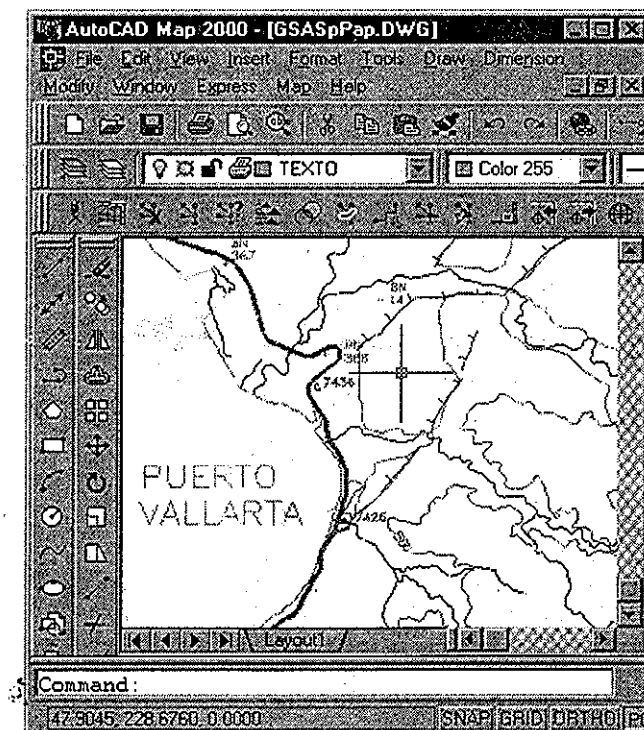


Figura 5.19 Mapa digitalizado con coordenadas de tableta (Ferrari et al., 1999), explicación en el texto.

### 5.3.2.2 Reducción del número de dígitos de las coordenadas UTM

La Figura 5.20A muestra parte de las curvas de nivel digitalizadas directamente de la cartografía topográfica a escala 1:50,000 del INEGI. Este archivo junto con otras capas digitalizadas sirvió como base cartográfica del mapa de García Palomo *et al.* (2002). Durante la digitalización se utilizaron las coordenadas UTM del mapa, pero exclusivamente a partir de las decenas de miles, tanto en la X como en la Y. De esta forma, el archivo digitalizado mantiene su geometría. Sin embargo, los rasgos están desplazados con respecto a su posición geográfica. Esta técnica es muy común en usuarios de sistemas CAD, pero en el ambiente de un SIG o para propósitos de integración de bases de datos espaciales no es conveniente. En este ejemplo se digitalizaron varias hojas y la técnica se complicó al incorporar aquellas ubicadas al sur de la primera digitalizada, ya que fue necesario utilizar valores negativos, y por esto terminó siendo más compleja.

En la Figura 5.20B se muestra aproximadamente la misma parte que en la Figura 5.20A, pero en este caso el archivo ya se ha desplazado a su posición real. En ambas imágenes el cursor aparece casi en el mismo punto, lo cual permite comparar las coordenadas que se muestran en la esquina inferior izquierda de cada imagen. Para realizar la corrección en este caso el origen (0,0) se reubicó (400000, 2100000) utilizando el comando de movimiento de AutoCAD Map. Finalmente, un problema parecido consiste en que, además de las modificaciones anteriores, se eliminan también los dígitos correspondientes a los cientos (tal como aparecen para su simplificación las coordenadas UTM en los mapas del INEGI). Para corregir este error se deberá reescalar el archivo por el factor 1000 antes de realizar el desplazamiento.

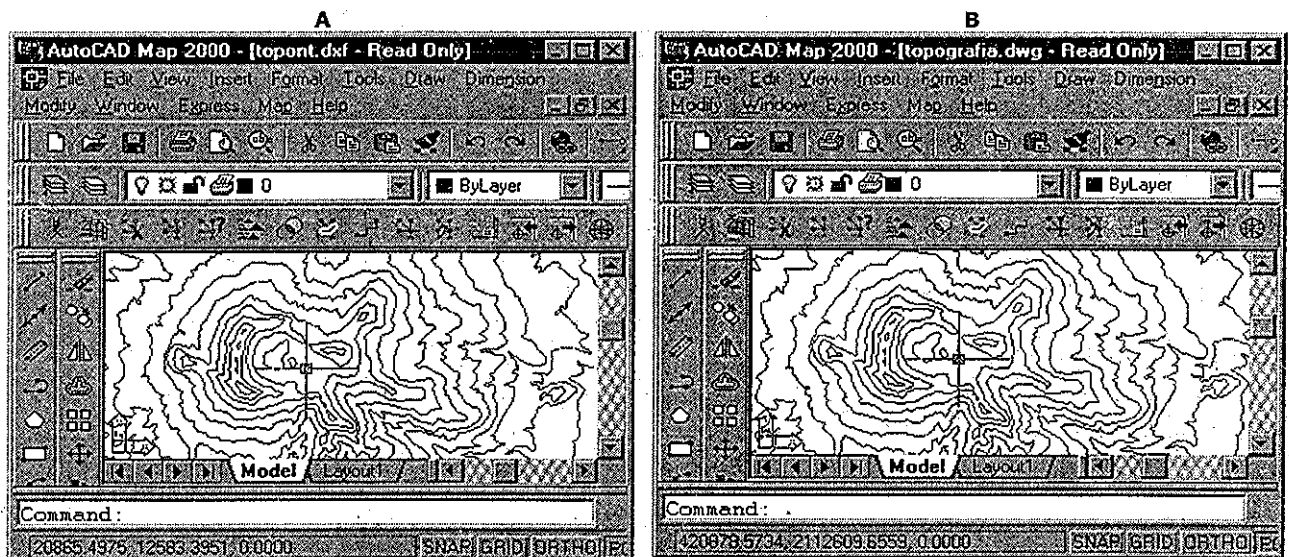


Figura 5.20. Ejemplo de un mapa digitalizado con un número de dígitos incorrecto (explicación completá en el texto).

### 5.3.2.3 Utilización de coordenadas diferentes a la proyección

Este problema se presenta con frecuencia en la digitalización de mapas del INEGI. Por ejemplo, en el caso de las cartas que tienen proyección UTM, en lugar de éstas se utilizan las geográficas. La manera de confirmar que un archivo presenta este problema es imprimir a la misma escala y comparar la impresión con el documento original.

Este error afecta principalmente a la latitud, la cual presentará una escala diferente. Una forma para eliminarlo es utilizar puntos de control (GCP) tal como ya se ha descrito para los datos raster (sección 3.3.2.2). Para evitar este problema se deberán digitalizar los documentos cartográficos en su proyección original. Los mapas que estén proyectados, pero que solo indiquen las coordenadas geográficas, requieren que para los puntos seleccionados, dichas coordenadas sean transformadas primero a la proyección correspondiente. Algunos programas como ENVI realizan esta transformación automáticamente.

### 5.3.3 De origen diverso

#### 5.3.3.1 Diferente escala en X y Y.

Este tipo de problema se puede producir como resultado de digitalizar con coordenadas diferentes a la proyección (sección 5.3.2.3). Sin embargo, en la Figura 5.21 el ejemplo corresponde a un mapa que fue estirado a propósito para incluirlo como figura dentro de la tesis de maestría de Delgado-Rodríguez (1995). En la Figura 5.21A por cuestiones de espacio se estiró el mapa de forma que se ajustará al tamaño de la hoja de papel, en consecuencia presenta escalas diferentes en X, Y. En la la Figura 5.21B se muestra el mismo segmento que en la anterior, pero el error se ha corregido con puntos de control para mostrar la misma escala en ambos ejes.

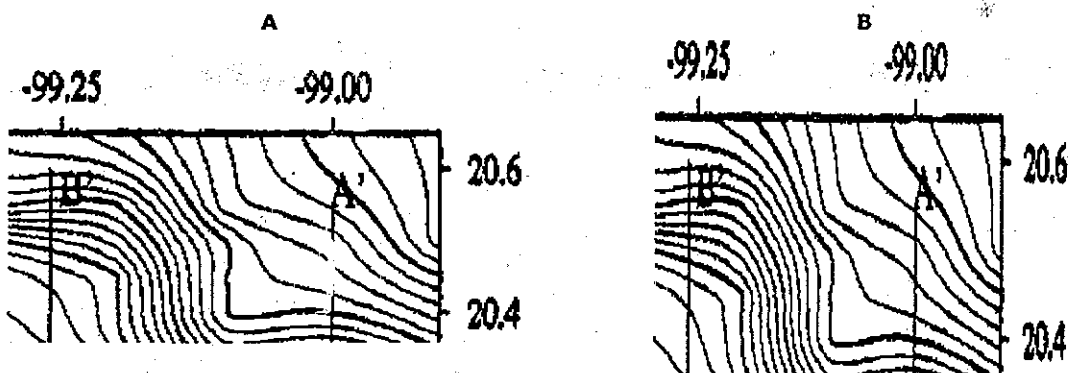


Figura 5.21. Segmento del Mapa de Anomalías de Bouguer (Delgado-Rodríguez, 1995), explicación completa en el texto.

### 5.3.3.2 Asignación arbitraria de colores en mapas geológicos

En la Figura 5.22 se muestra un ejemplo cartográfico en el cual las unidades geológicas se han asignado con colores arbitrarios. Se observa que la unidad correspondiente a depósitos lacustres del cuaternario (Q1a) se representa en color rojo, mientras que la unidad de depósitos aluviales del cuaternario (Qal) aparece en morado. De acuerdo con Silva-Romo *et al.* (2001), en los mapas cronoestratigráficos y litoestratigráficos las unidades se colorean con forme a su edad. De esta forma, si solo se toma en cuenta el color, en la lectura de este mapa los depósitos lacustres se podrían confundir con unidades del Triásico, mientras que los aluviales con unidades del Paleozoico.

Por otra parte, en el caso de mapas litológicos los colores se asignan de acuerdo al origen de las unidades. Las unidades de rocas ígneas intrusivas deben aparecer en color rojo, de extrusivas en rosa, las unidades sedimentarias de colores verde y naranja; las metamórficas de morado, los depósitos recientes en amarillo y gris. Además, en estos mapas, el carácter litológico específico se resalta con pantallas (Silva-Romo *et al.*, 2001).

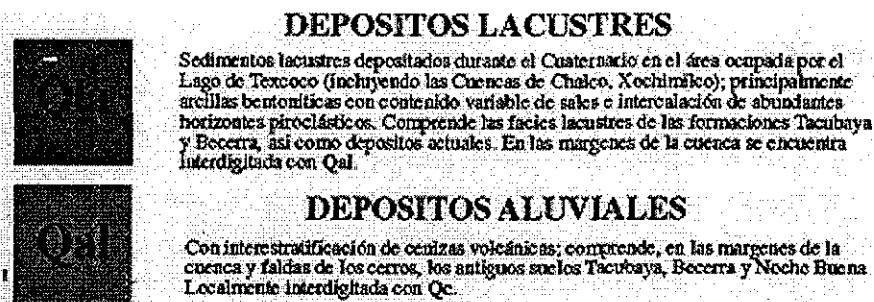


Figura 5.22. Leyenda del mapa Geología Regional de la Cuenca de México (Díaz-Molina, 2000), correspondiente a la Figura 5.1 (explicación completa en el texto).

### 5.3.3.3 Asociados con la técnica de integración y diseño del mapa

En la Figura 5.23A se observa nuevamente parte del mapa de García-Palomo *et al.* (2002), como ya se mencionó este mapa se diseñó en el programa CorelDRAW integrando varias capas que fueron digitalizadas en AutoCAD. La técnica utilizada por sus autores fue sobreposición de las diferentes unidades, dejando como fondo la unidad 16 debido a su compleja sinuosidad. Al presentarse inconsistencias en algunos polígonos se produjo un error en los límites de la unidad 16, el cual está marcado con el círculo rojo. En la Figura 5.23B se presenta el mapa vectorial de la misma zona, realizado a partir de los archivos de AutoCAD y de la digitalización en pantalla teniendo como base la imagen georreferida del mapa. Nótese que en la Figura 5.23B el error se ha eliminado. Las Figuras 5.23C y 5.23D presentan la versión original y corregida del mismo mapa, pero en diferente zona. Nótese que nuevamente el error se relaciona con la unidad 16.

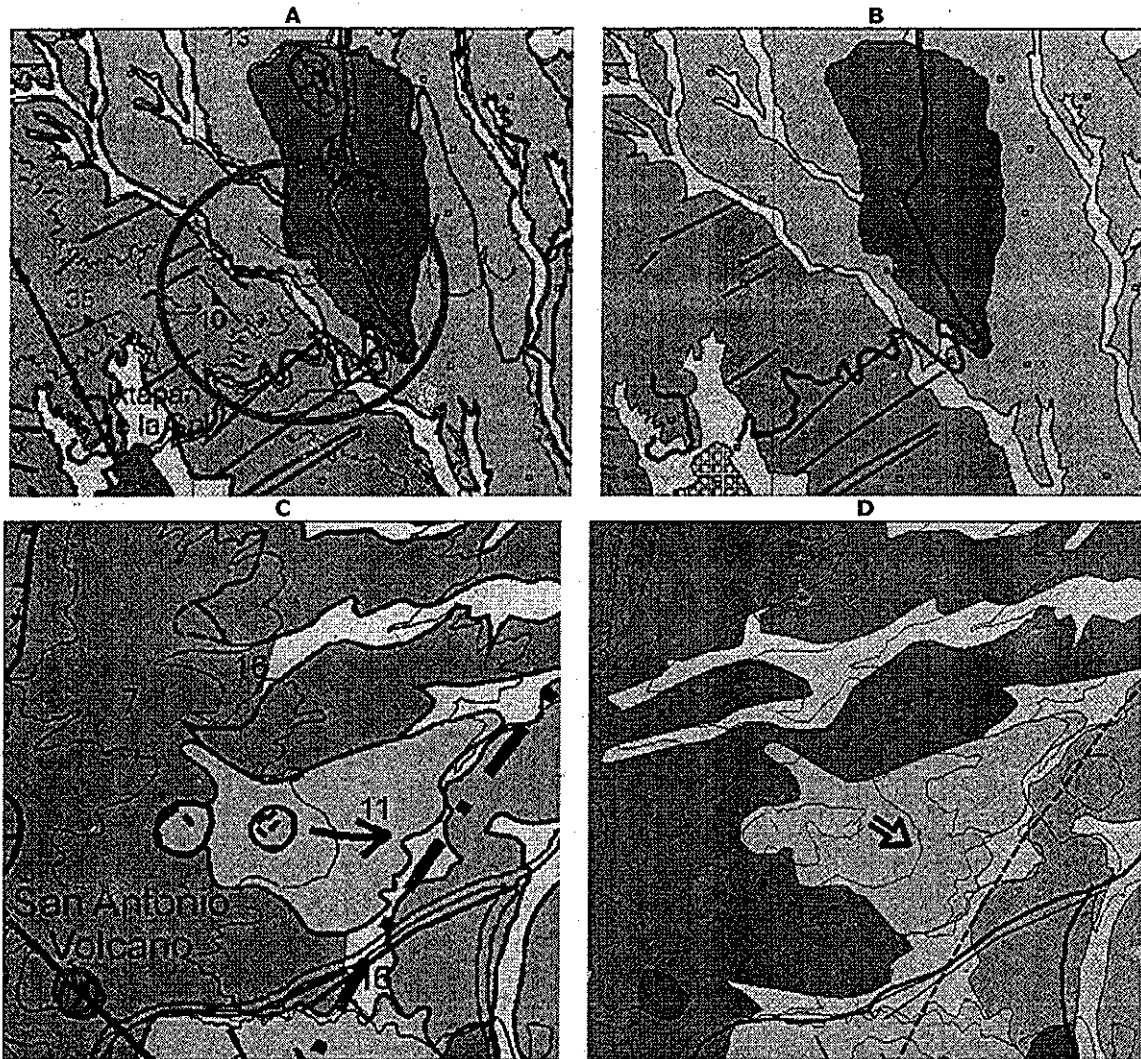


Figura 5.23. Errores asociados con la técnica de integración y diseño cartográfico. Segmentos de la carta geológica de García-Palomo *et al.* (2002). Explicación completa en el texto.

#### 5.3.3.4 Polígonos abiertos

Este problema se presenta con frecuencia en datos digitalizados, para su eliminación se deben aplicar las funciones de limpieza y generación de topología de polígonos. Para evitarlo es importante seguir las recomendaciones de las secciones 3.2.2.3-3.2.2.5.

## 5.4 EJEMPLOS DE PRODUCTOS DERIVADOS DEL FVM-SIG

En esta sección se presentan algunos ejemplos de productos que se pueden crear a partir de la base de datos del FVM-SIG. Se hace énfasis en la técnica utilizada para su posterior aplicación a cualquier tipo de datos con características similares. El requisito indispensable es que todos los datos se encuentren en el mismo sistema de referencia.

### 5.4.1 Raster sobre raster

En la Figura 5.24 la imagen A muestra una máscara de isóneas raster sobre otro dato raster. En este caso se presenta con isóneas negras la gravimetría (PEMEX, s/a) y en colores la altimetría derivada del DEM GEMA (INEGI, 1996). En la imagen B se muestra la máscara del color negro en el mapa de García-Palomo *et al.* (2002), la cual incluye toponimia, límites de unidades geológicas y rasgos estructurales, entre otros. Esta máscara también se ha sobrepuesto a la altimetría raster (INEGI, 1996). Para realizar esta técnica se requiere reasignar el fondo del color blanco de la imagen superpuesta por una instrucción que lo haga transparente.

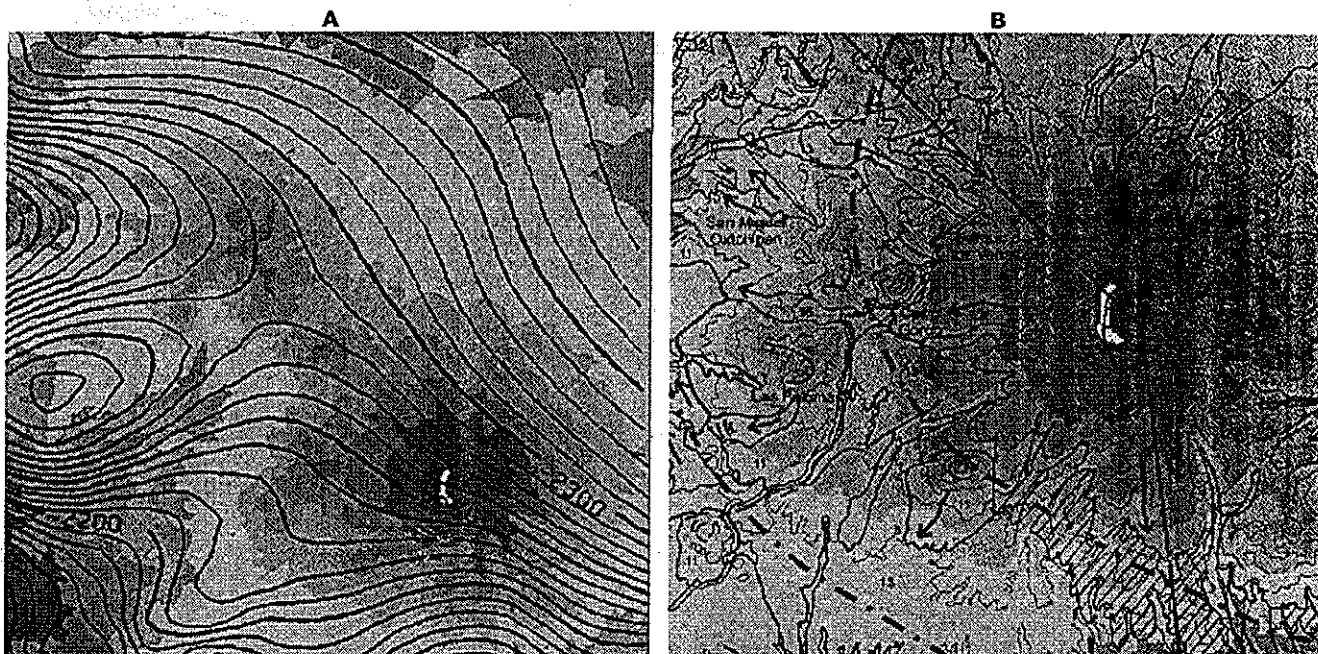


Figura 5.24. Ejemplos de la técnica de superposición raster sobre raster. Explicación completa en el texto.

### 5.4.2 Raster sobre vector

En la Figura 5.25 la imagen A muestra la gravimetría en isóneas raster (PEMEX, s/a) sobrepuesta al archivo vectorial generado del mapa de García-Palomo *et al.* (2002). En la imagen B se muestra la máscara del color negro en la imagen del mapa de García-Palomo *et al.* (2002), sobrepuesta al archivo vectorial del mapa de Zonificación Geomorfológica del Volcán Nevado de Toluca (Aceves-Quesada, 1996).

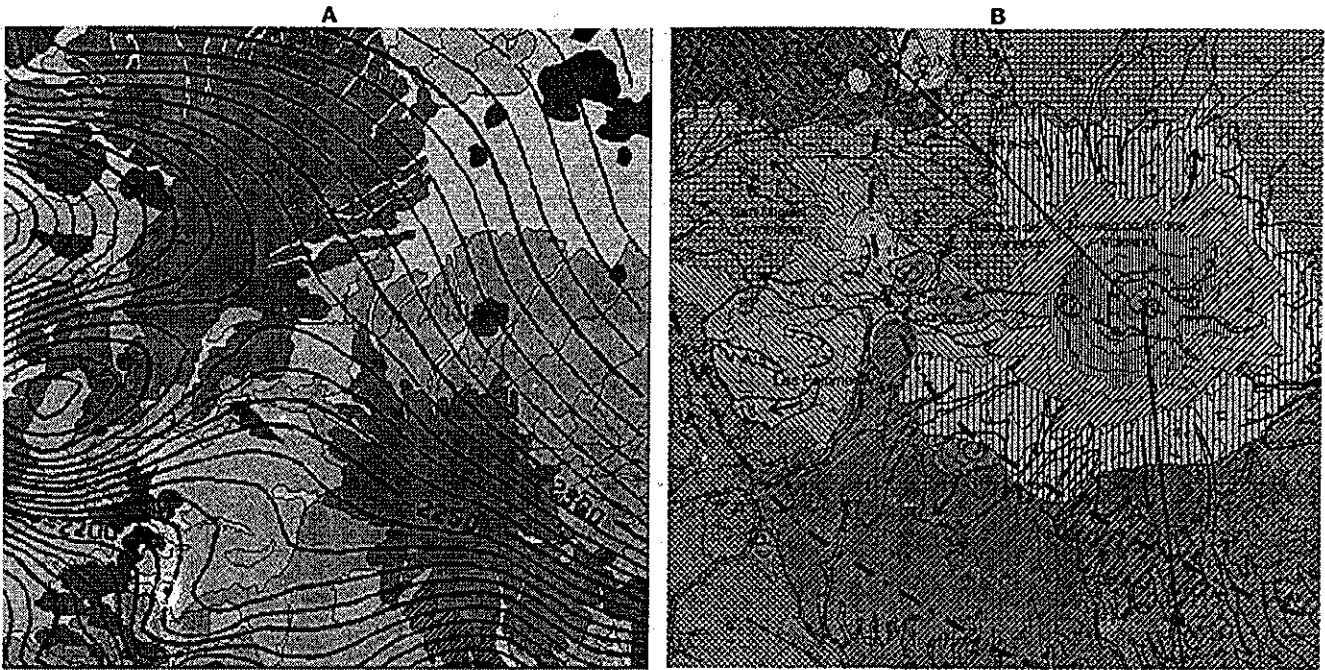


Figura 5.25. Ejemplos de la técnica de superposición raster sobre vector. Explicación completa en el texto.

#### 5.4.3 Fusión raster por raster

La manera más simple de realizar la fusión de dos imágenes raster es a partir de la multiplicación. En general se considera que una de las imágenes aporta su información en colores (24 bits), mientras que la otra imagen aporta su información como intensidad (de blanco a negro). De esta manera a la imagen que aporta la intensidad se le deben de transformar sus valores digitales de 0 a 1 con precisión de punto flotante. La imagen resultante se multiplicará por cada uno de los canales de la imagen a colores. Con esta técnica se le pueden poner efectos de sombreado a mapas topográficos y geológicos, o bien a mapas altimétricos e imágenes de satélite. En la Figura 5.26 se muestra un ejemplo de fusión a partir de un modelo sombreado del relieve con altura del sol a  $45^\circ$  sobre el horizonte y con orientación noreste ( $45^\circ$  de azimut). Este modelo se ha fusionado a la imagen del mapa topográfico del INEGI a escala 1:250,000 (A), a la imagen de del mapa geológico de García-Palomo *et al.* (2002; B), al mapa altimétrico elaborado con el DEM GEMA (INEGI, 1996; C), así como al compuesto en falso color 7-4-1 de una imagen Landsat 5 TM (D).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

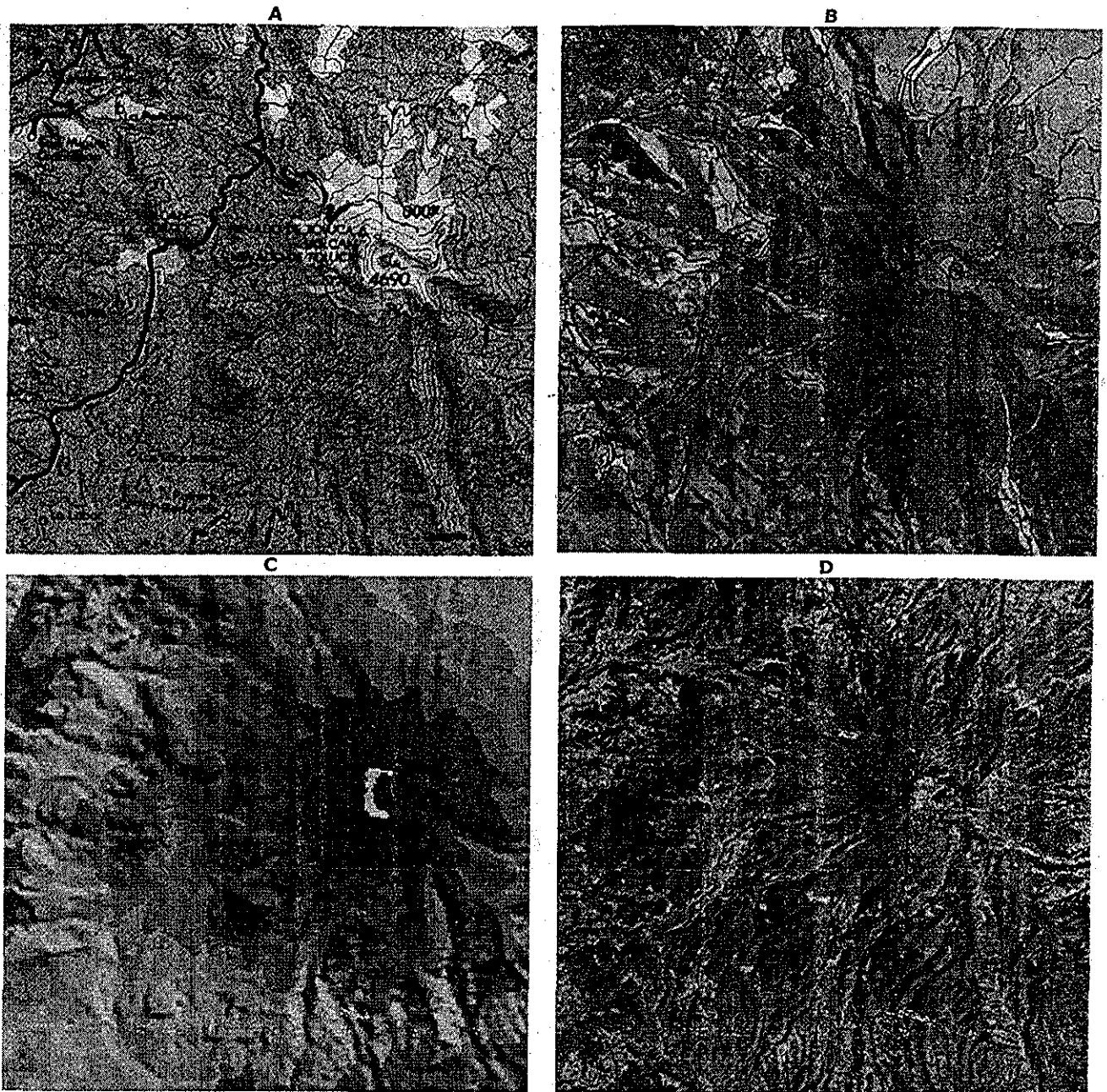
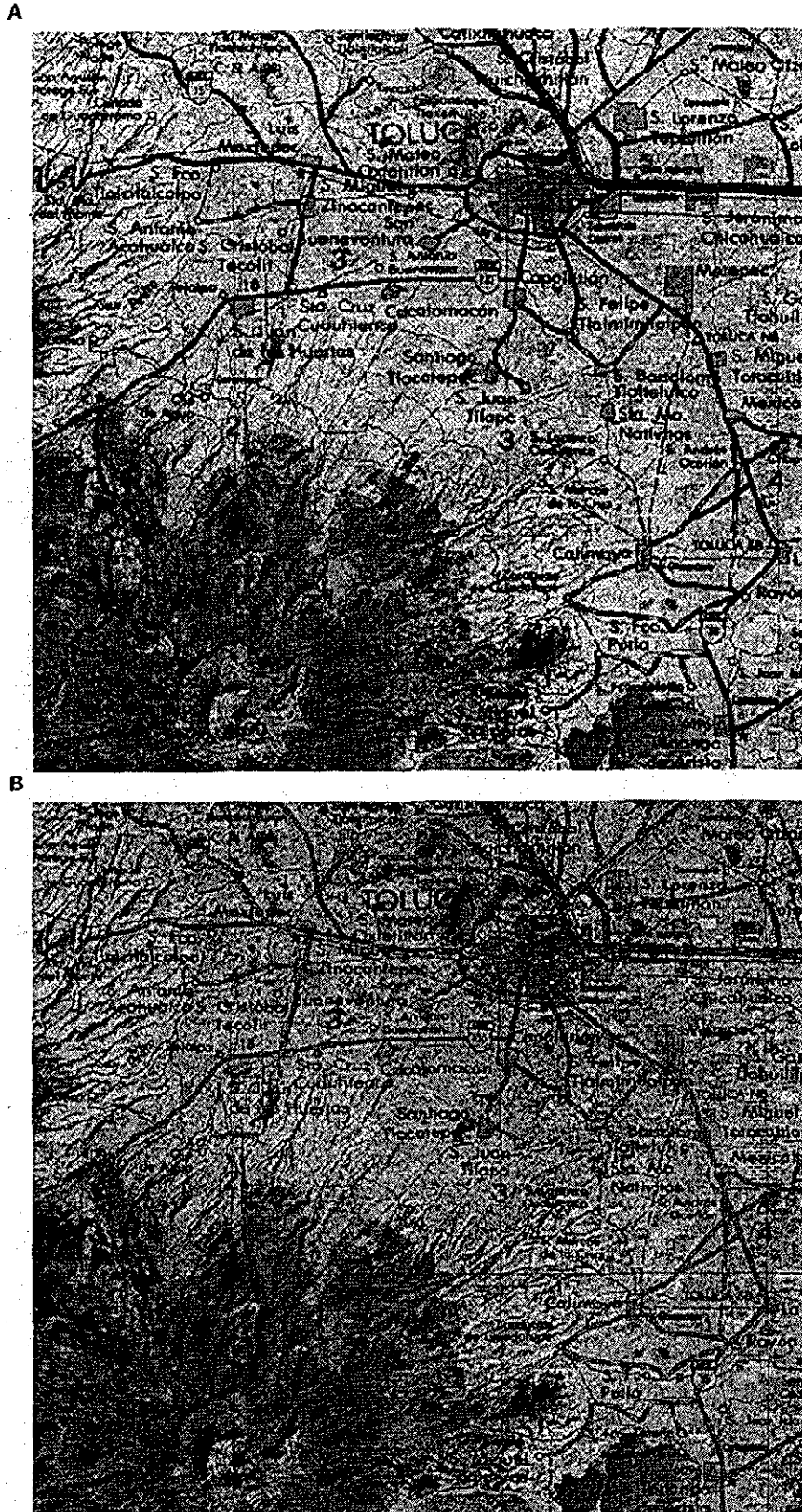


Figura 5.26. Ejemplos de la técnica de fusión raster por raster utilizando un modelo sombreado del relieve. Explicación completa en el texto.

La Figura 5.27 presenta otros ejemplos de fusión raster con raster. En la imagen A se muestra la integración de la carta topográfica del INEGI a escala 1:250,000 con la imagen del primer componente principal de una escena Landsat 5 TM, esta técnica también se puede aplicar en la fusión de un mapa topográfico con fotografía aérea pancromática. En la imagen B se muestra la fusión del mismo mapa topográfico con el compuesto en falso color 5-4-3 de una imagen Landsat 5 TM. Este último ejemplo se puede aplicar también para la integración de un mapa topográfico (en 256 niveles de gris) con fotografía aérea a color (24 bits, RGB).





TESIS CON  
FALTA DE ORIGEN

Figura 5.27. Ejemplos de la técnica de fusión raster con raster utilizando un mapa topográfico y una imagen de satélite. Explicación completa en el texto.

Como ya se mencionó una técnica alternativa a la fusión raster por raster es la sobreposición (Figura 5.28).



Figura 5.28. Sobreposición de rasgos derivados del mapa topográfico del INEGI a escala 1:250,000 sobre el compuesto 7-4-1 de la imagen Landsat 5 TM.

#### 5.4.4 Derivados de un DEM

##### 5.4.4.1 Algoritmo *Colordrape*

El algoritmo *colordrape* (Earth Resource Mapping, 2000; Earthstar Geographics, 2001) se aplica a un DEM utilizando dos imágenes para realizar una fusión del tipo raster con raster. La ALTIMETRÍA (DEM) se presenta con una tabla de color apropiada aplicando un ajuste gaussiano del histograma y guardando esta imagen a 24 bits. La ESTRUCTURA corresponde al archivo del DEM con un filtro de pasa bajas de 3x3, aplicando una transformación logarítmica. El resultado de este proceso se convierte a valores de 0 a 1 y después se realiza la multiplicación de dicha imagen por cada uno de los canales de la ALTIMETRÍA. La imagen generada tendrá 3 canales en R,G,B y para producir mejores resultados se recomienda aplicarle a cada uno el ajuste lineal con saturación de 1% (Figura 5.29 A). Cuando se requiera un sombreado ligero se puede aplicar la opción *Softened*, la cual permite que el color se visualice en zonas de sombra y es mejor cuando se desea incrementar la información proporcionada por el color.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Esta opción se puede crear convirtiendo los valores de la estructura de 0.3 a 1 en lugar de 0 a 1.

Al igual que la Figura 5.26 C, la principal utilidad del algoritmo *colordrape* (aplicado a DEMs), es como alternativa a los tradicionales mapas altimétricos, incorporando información relacionada a las estructuras del relieve.

#### 5.4.4.2 Algoritmo *Edge Shaded*

Este algoritmo implementa un filtro de 3x3 con orientación NW sobre el archivo DEM. El resultado es una imagen en tonos de gris que simula la iluminación desde el NW (Figura 5.29 B). Por lo anterior, sirve para aplicaciones estructurales destacando lineamientos y fallas orientados de NE a SW.

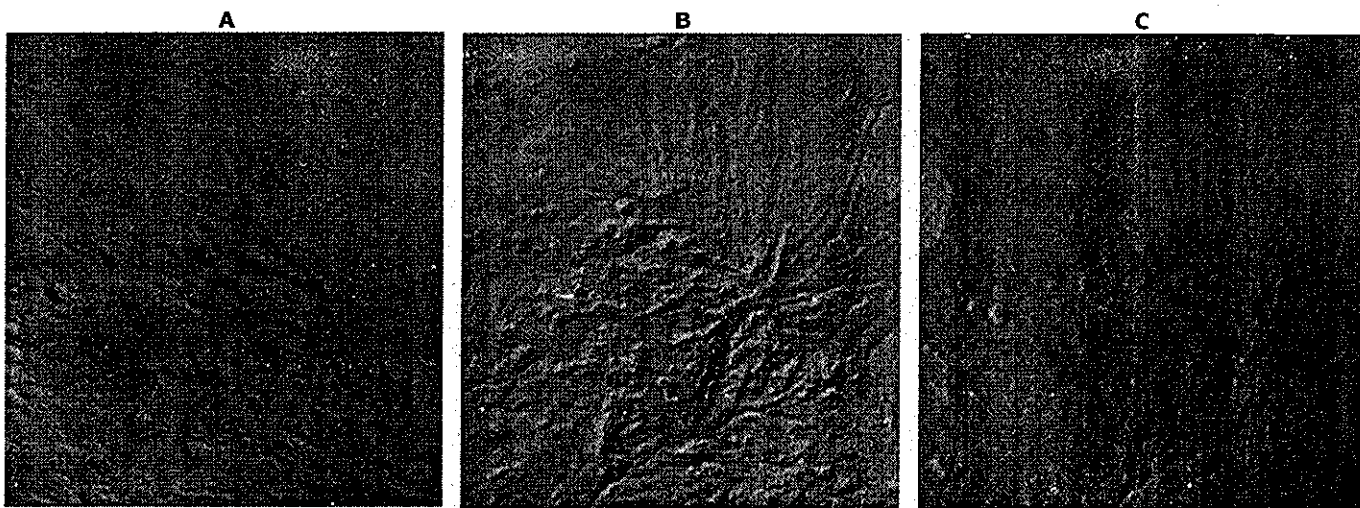


Figura 5.29. Ejemplo de procesamientos sobre el DEM GEMA (INEGI, 1996). En la imagen A se muestra el algoritmo *Colordrape*, en la imagen B se muestra el algoritmo *Edge Shaded* y en la imagen C se presenta el algoritmo fusión raster por raster entre A y B.

#### 5.4.4.3 Algoritmo *Colordrape Shiny Look*

Este algoritmo utiliza las mismas imágenes que el algoritmo *colordrape*, solo que a la intensidad (ESTRUCTURA) se le aplica un modelo sombreado del relieve, por ejemplo 45° de elevación del sol con respecto al horizonte y orientación de 45° de azimut. Después, en lugar de utilizar el modelo de color en R,G,B se utiliza el I,H,S. En este modelo tanto la intensidad como la saturación tendrán el DEM con el filtro de estructura y el modelo de sombreado, mientras que el tono tendrá los valores del DEM con una transformación adecuada. El resultado de este procesamiento es una imagen mejorada con laderas muy iluminadas que generan un efecto casi tridimensional (Figura 5.30), ya que se produce la ilusión de luz reflejada en la imagen, la cual es muy similar a la apariencia de un mapa de relieve plastificado. Por lo anterior, este algoritmo es de gran aplicación para la fotointerpretación en proyectos de geomorfología y geología estructural.

Para crear el efecto de brillo, los datos con la información de la estructura se invierten utilizando 255 como constante del valor máximo que puede tener un pixel menos el archivo de ESTRUCTURA, de tal manera que los pixeles más brillantes (iluminados) corresponderán a los valores más bajos de la imagen. Después se debe aplicar una transformación logarítmica para configurar estas áreas a valores de saturación muy bajos. Esto decrementa mucho la saturación de los colores en las áreas brillosas (desaturación), así estas zonas se mostrarán en gris claro o blanco, dando la apariencia de luz reflejada (efecto *shiny*). Para realizar más variaciones en los colores, se pueden incluir o excluir ciertos tonos, por ejemplo cambiando los límites de transformación del eje Y en la capa del tono. Algunas otras variaciones se pueden realizar invirtiendo los datos del tono ( $H = 255 - \text{ALTURA}$ ) y transformando los límites del eje Y.



Figura 5.30. Ejemplo del algoritmo *Colordrape Shiny Look* aplicado al DEM GEMA.

#### 5.4.4.4 Algoritmo *DIP*

Este algoritmo calcula las inclinaciones en un DEM (Figura 5.31), es muy similar a un modelo sombreado con el sol a  $90^\circ$  de elevación sobre el horizonte (justo arriba del área de interés). El DIP muestra la estructura en un DEM independientemente del ángulo, ya que resalta las principales tendencias de las estructuras, en especial puede servir para determinar el rumbo de fallas.

Requiere generar primero las imágenes con orientaciones ESTE y NORTE por medio de filtros de orientación. Este par de imágenes se utilizan finalmente en la siguiente fórmula:

$$-\sqrt{(a^2+b^2)}/200$$

Donde:

a = Archivo que resulta de aplicar un filtro de orientación ESTE con un kernel de 3x3 a un DEM.

b = Archivo que resulta de aplicar un filtro de orientación NORTE con un kernel de 3x3 a un DEM.

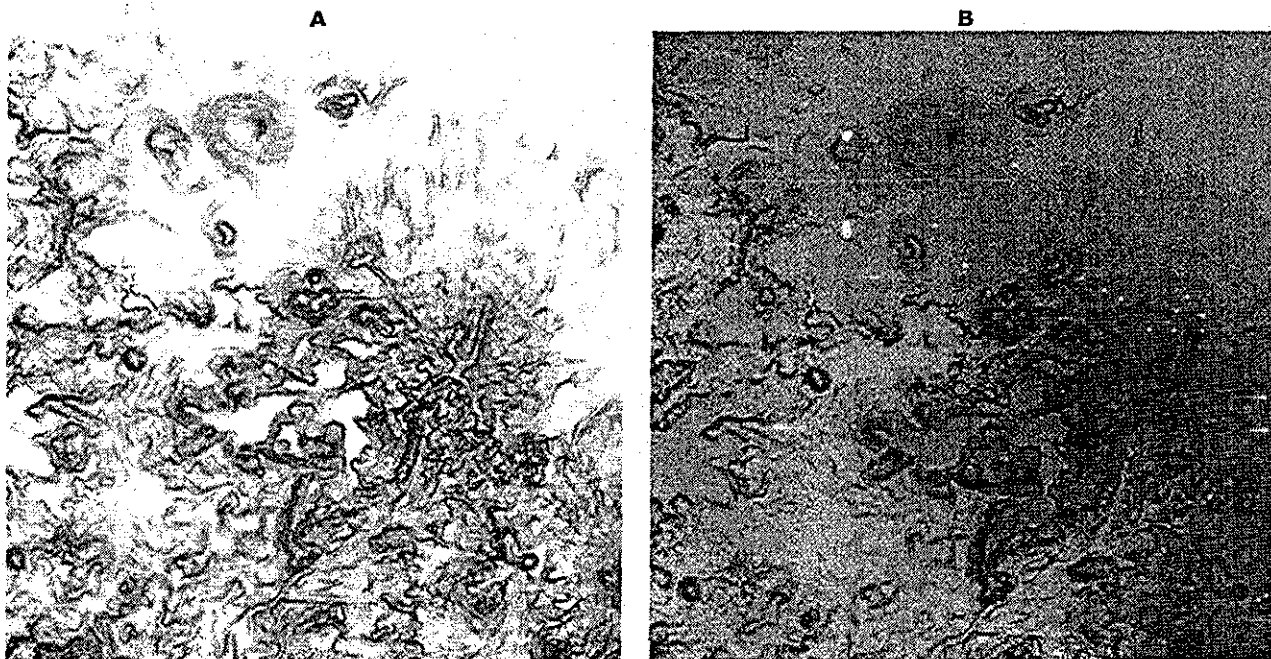


Figura 5.31. Ejemplo del algoritmo *DIP* (A) y de la fusión raster por raster de la altimetría con el *DIP* (B). Análisis realizado con el DEM GEMA (INEGI, 1996).

Por el tipo de información estructural contenida en este algoritmo, también se puede utilizar para fusionarlo con imágenes geofísicas a color, especialmente de gravimetría y magnetometría.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## **CAPÍTULO 6**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**





## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 CONCLUSIONES

- El análisis de los elementos cartográficos incluidos en los mapas en papel constituye una técnica sencilla para evaluar la calidad en su diseño y para determinar las principales deficiencias que se pueden encontrar durante su transformación a formato digital, así como para su integración en una base de **datos espaciales**.
- De acuerdo con el análisis elaborado en el capítulo 2, el avance cartográfico en la FVM es aceptable, pero la calidad en su diseño no. El cubrimiento cartográfico está más completo en la porción occidental y en la parte central de la misma, sin embargo el sector oriental aún se mantiene con pocos levantamientos. En general, evaluando los elementos que componen cada mapa, se encontró que la calidad de los anexos cartográficos de las tesis es menor que la correspondiente a la cartografía institucional editada en la UNAM. La evaluación de los primeros fue del 67% y la de los segundos del 81%.
- El principal problema para integrar una base de datos espaciales a partir de cartografía en papel se relaciona con los documentos cartográficos originales. Los materiales revisados carecen de varios elementos básicos, tales como las coordenadas extremas, los parámetros de la proyección, la retícula o gradícula de coordenadas, la escala nominal y las fuentes de información. Varios de estos elementos son muy importantes para la estimación de errores acumulados en transformaciones y funciones de análisis espacial. Por lo anterior, la cartografía evaluada representa serias deficiencias para su transformación adecuada a formato digital, específicamente por carecer de elementos de la base matemática, quizás esto se debe a que se minimiza la importancia de los mismos. Esto evidencia también un problema mayor, una concepción errónea del marco teórico de la cartografía que desvincula sus contenidos artísticos, técnicos y científicos. En consecuencia se generan materiales cartográficos incompletos.
- La cartografía digital se caracteriza por estar destinada a la producción de materiales cartográficos en papel, a partir de la aplicación de programas de cómputo que facilitan su elaboración y mejoran la presentación de los resultados. Sin embargo, en este estudio se ha comprobado que como consecuencia negativa se reproducen e incrementan los errores de la cartografía convencional. Posiblemente lo anterior se debe a una combinación de factores diversos, tales como una selección errónea del programa utilizado, la carencia en la capacitación metodológica y técnica requerida para su manejo, la aplicación de modelos o algoritmos desarrollados para datos y/o condiciones diferentes a las del proyecto, así como la idea errónea que (bajo cualquier condición) los resultados generados por computadora son mejores que los

TESIS CON  
FALTA DE ORIGEN

convencionales. Además, un factor muy importante es la falta de una sistematización de procesos en las tareas de composición y elaboración de cartografía, problema que ocasiona que los productos digitales tengan muy baja exactitud y en consecuencia desmerita su calidad.

- La calidad y el uso potencial de los datos, así como la información cartográfica en formato digital se han subestimado. Por lo tanto, la cartografía digital se debe concentrar en normalizar procesos y definir estándares para la producción de datos e información, los cuales deberán ser óptimos para integrar bases de datos espaciales, tanto para la elaboración de nueva cartografía como para el análisis geográfico.
- Como un primer intento para sistematizar la elaboración de nueva cartografía digital se propone una guía sobre los procesos de implementación y desarrollo de bases de datos espaciales a partir de un SIG. Los procesos incluidos se definieron de acuerdo al análisis de calidad cartográfica en tesis y ediciones producidas en la UNAM. Los procesos se agruparon en etapas; la primera incluye la conceptualización, el análisis y el diseño. Durante esta se proponen escalas cartográficas, proyecciones, coordenadas, información y nomenclatura. La segunda corresponde a la automatización; la cual comprende la transferencia de datos, la digitalización, el barrido y la vectorización. La tercera etapa integra la administración y el manejo, en esta sólo se incorporaron las correcciones geométricas y la creación de mosaicos, ya que responden adecuadamente a las deficiencias detectadas en los materiales evaluados y porque permiten la actualización de la base de datos. Finalmente, se anexaron algunas recomendaciones sobre el diseño de mapas y otros productos.
- La validación de la guía propuesta se realizó con la creación de la base de datos del FVM-SIG, un Sistema de Información Geográfica sobre la Faja Volcánica Mexicana que integra mapas producidos en la UNAM, así como datos espaciales del INEGI y otras instituciones.
- La principal ventaja del FVM-SIG es la de permitir la integración de mapas y datos de muy diversas características. La integración se ha demostrado uniendo archivos adyacentes (creación de mosaicos y coberturas uniformes). Por otra parte, también se ha efectuado con funciones de análisis espacial que permiten la sobreposición y la fusión de datos. Por lo anterior, el FVM-SIG resulta de gran aplicación para estudiar las relaciones espaciales existentes en proyectos de Ciencias de la Tierra.
- Con los avances recientes en las arquitecturas de los servidores de mapas a través del Internet emergen nuevas aplicaciones y oportunidades de análisis para las Ciencias de la Tierra, así como para la disseminación de la información generada en proyectos de investigación. Al respecto, una de las ventajas de la cartografía digital producida con SIG es que se integra cada vez más al Web, no

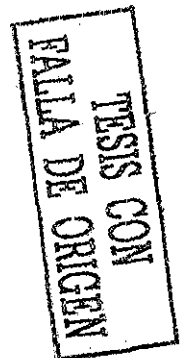
solo como un nuevo medio para la presentación de resultados y su difusión, sino para la edición, realización de consultas y aplicación de algunas funciones de análisis espacial. Lo anterior representa una excelente alternativa para la publicación de mapas, que por su tamaño y costo, son difíciles de aceptar en los medios impresos tradicionales.

- El FVM-SIG es un ejemplo de un SIG destinado a la difusión de su base de datos, ya que cuenta con un Servidor de Mapas. Este servidor actualmente representa un prototipo para probar el desarrollo y uso de mapas interactivos de la FVM a través de páginas web. Además, la incorporación de algunos datos sobre los atributos de la cartografía, permiten evaluar su potencial como medio de consulta y análisis para diferentes proyectos.
- Para continuar con el desarrollo y la sistematización de la cartografía digital que se elabora en la UNAM, es necesario a corto plazo mejorar la capacitación en cartografía y análisis espacial; así como el entrenamiento metodológico y práctico en las tecnologías geomáticas tales como los programas de SIG. Además, en los proyectos de las Ciencias de la Tierra que incluyan la elaboración de materiales cartográficos y el uso de la tecnología de SIG, es indispensable la asesoría de un especialista en cartografía, independientemente de su disciplina de formación, ya que las necesidades de este tipo de investigaciones rebasan las fronteras académicas. Lo anterior facilitará, por una parte, la lectura de los mapas de las Ciencias de la Tierra y posiblemente incrementará el rango de sus aplicaciones. Por otra parte, los usuarios internos de mapas temáticos o específicos, es decir, los propios especialistas en alguna de las Ciencias de la Tierra, contarán con un marco conceptual y técnico de la cartografía que les permitirá extraer la mayor cantidad de información sobre la zona estudiada, así como realizar análisis más exactos.

## 6.2 RECOMENDACIONES

Los trabajos futuros tienen toda una serie de opciones para la investigación, los resultados de este estudio sugieren abordar los siguientes proyectos y/o tareas:

- Integrar grupos de trabajo con expertos que definan una serie de indicadores, los cuales permitan estimar y/o evaluar la calidad científica del contenido de los principales mapas elaborados en las Ciencias de la Tierra, así como una norma o estándar para reportar dicha calidad tanto en el material cartográfico como en los metadatos correspondientes. Al respecto se podría iniciar esta propuesta con la evaluación de la exactitud posicional y participando dentro de las iniciativas internacionales relacionadas con estándares cartográficos.
- Mantener en la composición y elaboración de cualquier producto cartográfico los vínculos entre sus contenidos científicos, artísticos y técnicos.



- Normalizar que los mapas incluidos como anexos en las tesis de la UNAM incorporen los elementos cartográficos evaluados y sugeridos en el capítulo 2.
- Aplicar en lo posible la guía de procesos del capítulo 3 y sus anexos en la elaboración de la cartografía digital generada en la UNAM.
- Incrementar la base de datos del FVM-SIG con los mapas detectados en la *evaluación cartográfica realizada en el capítulo 2*.
- Desarrollar proyectos similares al FVM-SIG en otras regiones.
- Integrar en los mapas de Ciencias de la Tierra una red de vértices geodésicos, bancos de nivel y puntos GPS, la cual puede servir para su registro geográfico.
- Implementar un Servidor de Metadatos de cartografía digital y datos espaciales.
- Publicar la nueva cartografía digital por medio de Servidores de Mapas desarrollados de acuerdo a las recomendaciones y especificaciones *Web Map Server* del consorcio *OPEN GIS*.
- Considerar medidas de seguridad pertinentes en la implementación de Servidores de Mapas por Internet, ya sea que los datos sean públicos o de propiedad privada, garantizando su integridad, respetando los créditos y derechos de copia y/o uso.
- Implementar sitios Web de cartografía interactiva con aplicaciones en tres dimensiones y realidad virtual.
- Evaluar otros programas con funciones de servicio de mapas, tales como ArcIMS, MapServer, Image Web Server y ION java.
- Integrar Servidores de Mapas y datos espaciales con bases de datos distribuidas.
- Diseñar un portal Web específicamente sobre toda la cartografía de la UNAM.
- Hacer un índice digital sobre la cartografía existente en la UNAM a través de las coordenadas extremas de los mapas
- Iniciar un programa de escaneo y rectificación geométrica de todos los mapas temáticos incluidos en tesis, informes de proyectos de investigación y otros documentos disponibles en los acervos de la UNAM.

## REFERENCIAS

- Aceves-Quesada, J.F., 1996, Geología y geomorfología del volcán Nevado de Toluca, Tesis de Maestría en Ciencias (Geología), Facultad de Ciencias, UNAM, México D.F., 116 p.
- Aguilar-Manjarrez J., Ross, L.G., 1995, Geographical information system (GIS) environmental models for aquaculture development in Sinaloa State, Mexico, *Aquaculture International*, 3 (2), 103-115.
- Aguilar y Vargas, V. H. y Verma, S. P., 1987, Composición química (elementos mayores) de los magmas en el CVM, *Geofísica Internacional*, 26 (2), 195-272.
- Aguirre-Díaz, G., 1997, Volcanic stratigraphy of the Amealco Caldera and vicinity, central Mexican Volcanic Belt, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 13, 10-51.
- Aguirre-Díaz, G., Nelson, S. A., Ferrari, L., López-Martínez, M., 1997, Ignimbrites of the central Mexican Volcanic Belt - Amealco and Huichapan calderas, States of Querétaro and Hidalgo: Magmatism and tectonics of central and northwestern Mexico in: *A selection of the 1997 IAVCEI General Assembly Excursions*, Mexico, Instituto de Geología, UNAM, 1-39.
- Allen, P.M., 1997, Standardization of mapping practices in the British Geological Survey, *Computers & Geosciences*, 23 (6), 609-612.
- Allison, D., 1995, MAPPRO: a program for processing the projection of latitude-longitude coordinates into rectangular map coordinate systems, *Computers & Geosciences*, 21 (7), 859-875.
- Álvarez-García, G., Soler, T., Hotthem, L.D., 1992, Diferencias NAD83 vs ITRF en la cartografía sobre la Frontera México-E.U.A, *Revista cartográfica*, 61, 131-139.
- Aronoff, S., 1989, Geographic information systems: a management perspective, WDL Publications, Ottawa, Canada, 294 p.
- Autodesk, 1999, AutoCAD Map 2000 User's Guide, Autodesk Inc. 358 p.
- Aysa-Jiménez, J., 1995, Implantación de un sistema de información geográfica para el estudio de contaminantes provenientes de fuentes vehiculares en la Ciudad de México, Tesis profesional (Ingeniero Mecánico Electricista), Facultad de Ingeniería, UNAM, México, 127 p.
- Bain, K. A. and J. R. A. Giles, 1997, A standard model for storage of geological map data, *Computers & Geosciences*, 23 (6), 613-620.
- Batty, M., 1997, Virtual geography, *Future*, 29, 337-352.
- Berry, J.K., 1987, Fundamental operations in computer-assisted map analysis, *International Journal of Geographical Information Systems*, 1 (2), 119-136.
- Blaser, A. D., Sester, M. and Egenhofer, M. J., 2000, Visualization in an early stage of the problem-solving process in GIS, *Computers & Geosciences*, 26 (1), 57-66.
- Bocco G., R. Sánchez, H. Riemann, 1995, GIS affects flood planning efforts, *GIS World*, 8(2), 58-60.
- Bojorquez-Tapia, L.A., Azuara, I., Ezcurra, E., Flores-Villela, O., 1995, Identifying conservation priorities in Mexico through geographic information systems and modeling, *Ecological Applications*, 5 (1), 215-231.
- Bonham-Carter, G., 1994, Geographic information systems for geoscientists: modeling with GIS, Pergamon/Elsevier Science, New York, 398 p.
- Bosque-Sendra, J., 1992, Sistemas de Información Geográfica, Rialp, Madrid, 451 p.
- Boucher, C., 1990, Definition and realization of terrestrial reference systems for monitoring Earth rotation, en: McCarthy, D.D. and Carter, W.E. (eds), *Variations in Earth Rotation*, 197-201.
- Boucher, C., Altamimi, Z., Daniel, L., 1993, ITRF station coordinates, *IGS Network Operations Workshop*, Silver Spring, Md., USA, Oct. 18-21.
- Boucher, C., Altamimi, Z., 1996, International Terrestrial Reference Frame, *GPS World*, 7 (9), 71-74.
- Brainerd, J. and Pang, A., 2001, Interactive map projections and distortion, *Computers & Geosciences*, 27 (3), 299-314.
- Brimhall, G.H. and A. Vanegas, 2001, GeoMapper Universal digital pen mapping system for geological, mining, exploration and environmental mapping with a point and click legend maker and project-based file manager, Annual Conference of the International Association for Mathematical Geology, 26 p.  
<http://www.kgs.ukans.edu/Conferences/IAMG/Sessions/G/Papers/brimhall.pdf>

- Burrough, P.A. y R.A. McDonnel, 1998, Principles of geographical information systems, Oxford University Press, Oxford, 333 p.
- Burrough, P.A., 1986, Principles of geographical information systems for land resources assessments, Clarendon Press, Oxford, 194 p.
- Burrough, P.A., 1992, Development of intelligent geographic information systems, *International Journal of Geographical Information Systems*, 6(1), 1-11.
- Calvo-Palacios, J. L., 1992, Concepción y Ejecución de Cartografía para la Ordenación del Territorio y el Urbanismo a través de Sistemas de Información Geográfica, *Memoria de Ponencias del V Coloquio de Geografía Cuantitativa*, Zaragoza 21-25 de Septiembre de 1992, Institución Fernando el Católico y Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio de la Universidad de Zaragoza, 3-19.
- Campillo, Singh S.K., Shapiro N., Pacheco, J., Herrmann, R.B., 1996, Crustal structure south of the Mexican Volcanic Belt, based on group velocity dispersion, *Geofísica Internacional*, 35(4), 361-370.
- Campos-Enríquez, O., Garduño-Monroy, V.H., 1995, Los Azufres silicic center (Mexico) -interface of caldera structural elements from gravity, aeromagnetic and geoelectric data, *Journal of Volcanology and Geothermal research*, 67, 123-152.
- Candeau, R., 1994, (Coordinador), Atlas regionales y especiales: Teoría y práctica, Instituto de Geografía, Academia de Ciencias de Cuba y Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México, 115 p.
- Capra, L., Macías, J.L., Garduño, V.H., 1997, The Zitácuaro Volcanic Complex, Michoacán, Mexico -magnetic and eruptive history of a resurgen caldera, *Geofísica Internacional*, 36 (3), 161-179.
- Carr, T.R., R. C. Buchanan, D. Adkins-Heljeson, T. D. Mettillie and J. Sorensen, 1997, The future of scientific communication in the earth sciences: the impact of the Internet, *Computers & Geosciences*, 23 (5), 503-512.
- Carrasco-Núñez, G., Ban, M., 1994, Geologic map and structure sections of the Citlaltépecl volcano summit area, Mexico, *Cartas Geológicas y Mineras*. No. 9, México, Instituto de Geología, UNAM (mapa, 1 hoja).
- Cartwright, W., 1997, New media and their application to the production of map products, *Computers & Geosciences*, 23 (4), 447-456.
- Clarke, K. C., 1995, Analytical and computer cartography, Prentice Hall, USA, 334 p.
- Cebull, S.E., Shurbet, D.H., 1987, Mexican Volcanic Belt: an intraplate transform?, *Geofísica Internacional*, 26, 1-14.
- Colman-Sadd, S. P., J. S. Ash and L. W. Nolan, 1997, GeoLegend: A database system for managing geological map units in a geographic information system, *Computers & Geosciences*, 23 (7), 715-724.
- Collins, D.R., D. Doherr and J. A. Ross, 2001, Geologic maps and databases in the age of geoinformatics and the Internet, Annual Conference of the International Association for Mathematical Geology, 24 p.  
<http://www.kgs.ukans.edu/Conferences/IAMG/Sessions/F/Papers/Collins.pdf>
- Comas, David y E. Ruiz, 1993, Fundamentos de los Sistemas de Información Geográfica, Ariel, Barcelona, 295 p.
- Congalton, R.G., Green, K., 1999, *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*, Lewis, Florida, 137 p.
- Cowen, D., 1987, GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences?, *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 54 (11), 1551-1555.
- Culpepper, R.B., 1998, Weave maps across the web, *GIS World*, 11 (11), 46-52.
- Cheng, Q., H. Russell, D. Sharpe, Frank Kenny and Ping Qin, 2001, GIS-based statistical and fractal/multifractal analysis of surface stream patterns in the Oak Ridges Moraine, *Computers & Geosciences*, 27 (5), 513-526.
- Decelis-Burguete, J.O., 2001, Digitalización automatizada de líneas en mapas raster, Tesis de Maestría en Ciencias (Ciencias de la Computación), Centro de Investigación en Computación, Instituto Politécnico Nacional, México, 196 p.
- Delgado-Rodríguez, O., 1995, Estudios geofísicos en la subcuena de Chalco, Algunas consideraciones sobre la tectónica de la porción norte del sector central del Sistema Volcánico Trans-Mexicano, Tesis de Maestría en Ciencias (Exploración Geofísica), Colegio de Ciencias y Humanidades, Unidad Académica de los Ciclos Profesional y de Posgrado, UNAM, México, 93 p.
- Demant, A., 1978, Características del Eje Neovoicánico Transmexicano, y sus problemas de interpretación, *Revista del Instituto de Geología*, 2, 172-187.

- DeMers, M. N., 1997, *Fundamentals of geographic information systems*, Wiley, New York, 486 p.
- Díaz-Molina, O., 2000, Determinación de zonas de riesgo geológico-ambiental en la Cuenca de México mediante sensores remotos y radar de penetración somera. Tesis profesional (Ingeniero Geofísico), Facultad de Ingeniería, UNAM, México D.F., 89 p.
- Díaz-Salgado, J., 1998, Evaluación del potencial acuícola costero mediante la aplicación de un sistema de información geográfica: dos estudios de caso en Oaxaca y Chiapas, Tesis profesional (Licenciado en Geografía), Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México, 145 p.
- DMA, 1972, Report of the DoD Geociver Test Program, *DMA Report 0001*, USA.
- Doornkamp, J.C., 1989, Techniques of Map presentation, McCall, J. and Marker, B., (editors), *Earth Science Mapping*, Graham & Trotman, Norwell, MA., USA, 15-28.
- Doyle, S., Dodge, M., 1998, Toward virtual London: Developing a virtual Internet GIS. In: *Proceedings of International Conference on Modeling Geographical and Environmental Systems with Geographical Information Systems*, June 22-25, Hong Kong, 624-229.
- Doyle, S., Dodge, M., Smith, A., 1998, The potential of Web based mapping and virtual reality technologies for modelling urban environments, *Computers Environment and Urban Systems* 22 (2), 137-155.
- Doytsher, Y., 2000, A rubber sheeting algorithm for non-rectangular maps, *Computers & Geosciences*, 26 (9-10), 1001-1010
- Dueker, K.J., 1979, Land Resource Information Systems: A review of fifteen years experience, *Geoprocessing*, 1, 197-208.
- Earth Resource Mapping, 2000, Documentación digital de Er-Mapper 6.1.
- Earthstar Geographics, 2001, User Guide to the ESG ColorEnhance Wizards for ER Mapper 6, Earthstar Geographics, 32 p.
- Ehlers, M., 1997, Rectification and registration, en: Star, J. L., Estes, J. E. y McGwire, K. C. (eds), *Integration of geographic information systems and remote sensing*, Cambridge university press, USA, 225 p.
- Enciso-González, J. L., 1998, Proceso de fotointerpretación-sistemas de información geográfica como instrumento para el análisis urbano-catastral imagen territorial, Tesis de Maestría (Maestría en Geografía) - Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México, 120 p.
- Escamilla-López, F.J., 1997, Aplicación de los metodos topograficos en la construcción de una base cartografica para un sistema de información geográfica (caso particular: SIG electoral para el estado de hidalgo a nivel sección), Tesis profesional (Ingeniero Topógrafo), ESIA-U-TI, IPN, México.
- ESRI, 1996, *Using ArcView GIS the geographic informations system for everyone*, Environmental Systems Research Institute Inc., USA, 350 p.
- ESRI, 1997, *Understanding GIS the ARC/INFO method*, ESRI Press, Environmental Systems Research Institute Inc., USA, 608 p.
- Fairbairn, D., Parsley, S., 1997, The use of VRML for cartographic presentation, *Computers & Geosciences*, 23 (4), 475-481.
- Fangju, W. and Patrick Donaghy, 1995, A study of the impact of automated editing on polygon overlay analysis accuracy, *Computers & Geosciences*, 21 (10), 1177-1185.
- Fenstermaker, L.K. (ed), 1994, *Remote sensing thematic accuracy assessment: a compendium*, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, MD, 413 p.
- Ferrari, L., Garduño, V.H., Pasquarè, G., Tibaldi, A., 1991, Geology of Los Azufres caldera, Mexico, and its relations with regional tectonics, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 47, 127-148.
- Ferrari, L., Pasquarè, G., Venegas-Salgado, S. and Romero-Rios, F., 1999, Geology of the western Mexican Volcanic Belt and adjacent Sierra Madre Occidental and Jalisco Block. In Delgado-Granados, H., Aguirre-Díaz, G., and Stock, J. M., eds., *Cenozoic Tectonics and Volcanism of Mexico*, Geological Society of America, Boulder, Colorado, Spetial Paper 334, 68-83.
- Ferrari, L., 2000, Avances en el conocimiento de la Faja Volcánica Transmexicana durante la última década, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, A.C., Número especial: Avances de la geología mexicana en la última década*, Tomo LIII, 1, 84-92.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- FGDC, 2000, Content Standard for Digital Geospatial Metadata Workbook Version 2.0 (For use with FGDC-STD-001-1998), Federal Geographic Data Committee, USA, 122 p. ([http://www.fgdc.gov/publications/documents/metadata/workbook\\_0501\\_bmk.pdf](http://www.fgdc.gov/publications/documents/metadata/workbook_0501_bmk.pdf)).
- García de Castro-Ruíz, M. et al., 1994, El estado actual de la cartografía temática en Cuba como base para el desarrollo de obras cartográficas complejas, Candéau D., R., (coord.), *Atlas regionales y especiales, Teoría y práctica*, Instituto de Geografía, Academia de Ciencias de Cuba y Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México, 115 p.
- García de Castro-Ruíz, M., 1995, Cartografía y Medio Ambiente, Algunas consideraciones teóricas, *Mapping*, 24, 25-31.
- García, M.C., Pérez G., 1992, Mapping land degradation factors in Mexico, *Cartographic Perspective*, 12, 15-21.
- García-Abad A., J. J., 1991, Una aproximación a la cartografía dinámica de la ocupación del suelo: Ensayo en el Area de Mondéjar (Guadalajara), *Revista Estudios Geográficos, C.S.I.C./I.E.G.A.*, número 205, Volumen LII (Octubre-Diciembre 1991), Madrid, 625-652.
- García-Nieto, H., 1999, Aptitud de uso del suelo del Distrito de Desarrollo Rural 004 Celaya, Guanajuato: una aplicación del enfoque de límites de transición gradual (fuzzy) utilizando SIG, Tesis Doctorado en Ciencias (Biología), Facultad de Ciencias, UNAM, México, 162 p.
- García-Palomo, A., Macías, J.L., Arce, J.L., Capra, L., Garduño, V.H., Espíndola, J.M., 2002, Geology of Nevado de Toluca Volcano and surrounding areas, Central Mexico, Geological Society of America Map Series (mapa).
- García-Salazar, L., 1995, Análisis para un manual de inducción y un programa de capacitación para trabajadores del centro de cartografía automatizada, Tesis profesional (Ingeniero Industrial y de Sistemas), Universidad de Sonora, Departamento de Ingeniería Industrial, Hermosillo, Son, 33 p.
- Garmilla-Rojón, J. A., 1999, Integración del sistema de control supervisorio y adquisición de datos (SCADA) y el sistema de información geográfica (SIG), Tesis profesional (Ingeniero Mecánico Electricista), Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM, México, 122 p.
- Gómez-Tagle Rojas, A. F., 1997, Levantamiento agrológico forestal de la cuenca de Patzcuaro, Mich. y diagnóstico de posibilidad de recuperación y desarrollo mediante sistema de información geográfica, Tesis Doctorado (Ciencias (Biología)), Facultad de Ciencias, UNAM, México, 131 p.
- Gong, J.H., Lin, H., 1998, Geo-visualization, multi-dimensional geographical interpretation and virtual geographic environment, In: *Proceedings of GeoInformatics 1998 Beijing*, 237-246.
- Goodchild, H., Wise et al., 1992, Integrating GIS and Spatial data analysis: problems and possibilities, *International Journal of Geographical Information Systems*, 6 (5), 407-423.
- Goodchild, M., 1987, A spatial analytical perspective on geographical information systems, *International Journal of Geographical Information Systems*, 1(4), 327-334.
- Goodchild, M.F., Gopal, S., (eds), 1989, *The accuracy of spatial databases*, Taylor & Francis, London, 290 p.
- Goodchild, M.F., and Kemp, K.K., 1990, NCGIA Core Curriculum in GIS (3 volumes: I. Introduction to GIS, II. Technical issues in GIS, III. Application issues in GIS), National Center for Geographic Information and Analysis, University of California, Santa Bárbara, California (<http://www.geog.ubc.ca/courses/klink/gis/notes/ncgia/toc.html>).
- Gould, M. D., 1992, El papel del geógrafo en el desarrollo de SIG, *Actas de Comunicaciones del V Coloquio de Geografía Cuantitativa*, Zaragoza, 21-22 de Septiembre de 1992, Dpto. de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza, 165-173.
- Green, D.R., 1997, Cartography and the Internet, *The Cartographical Journal*, 34 (1), 23-27.
- Guevara-Plaza, A., F.B. Galacho-Jiménez y C. Javaloyes-Botín, s/a, SIG y ArcInfo, [http://www.turismo.uma.es/alumnos/arcinfo/Z\\_Indice.html](http://www.turismo.uma.es/alumnos/arcinfo/Z_Indice.html)
- Guimet, J., 1992, Introducción Conceptual a los Sistemas de Información Geográfica, Estudio Gráfico, Madrid, 139 p.



- Haeberling, C., 2000, A digital cartographic workflow for glaciomorphological map series -evaluating Macromedia FreeHand as educational tool, *Computers & Geosciences*, 26 (1), 29-35.
- Harder, C., 1998, Serving Maps on the Internet, Environmental Systems Research Institute Inc., Redlands, California, 130 p.
- Hernández-Navarro, A., 1992a, La red geodésica nacional activa de México, *Revista Cartográfica*, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, 61, 141-148.
- Hernández-Navarro, A., 1992b, Conversión de la Cartografía Mexicana a un nuevo sistema geodésico de referencia, *Revista Cartográfica*, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, 61, 149-159.
- Herzfeld, U.C. and Chris A. Higginson, 1996, Automated geostatistical seafloor classification-principles, parameters, feature vectors, and discrimination criteria, *Computers & Geosciences*, 22 (1), 35-52.
- Huang, B., Lin, H., 1999, GeoVR: a web-based tool for virtual reality presentation from 2D GIS data, *Computers & Geosciences*, 25 (10), 1167-1175.
- Huber, M. and D. Schneider, 1999, Spatial data standards in view of models of space and the functions operating on them, *Computers & Geosciences*, 25 (1), 25-38.
- Illoldi-Rangel, P., 1994, Uso de un sistema de información geográfico para la conservación de la diversidad mastofaunista de la región del Golfo de California, Tesis de Maestría (Ciencias (Biología)), Facultad de Ciencias, UNAM, México, 66 p.
- INEGI, 2000, Normas técnicas para la elaboración de ortofotos digitales, INEGI, México D.F. (<http://www.inegi.gob.mx/territorio/espanol/normatividad/ortofotos/ntecnicas.html>).
- INEGI, 1996, Geomodelos de Altimetría del Territorio Nacional (GEMA), Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (Programa y datos en CD).
- Iwahashi, J., Sniaki Watanabe and Takahiko Furuya, 2001, Landform analysis of slope movements using DEM in Higashikubiki area, Japan, *Computers & Geosciences*, 27 (7), 851-865.
- Jackson, I., Asch, K., 2002, The status of digital geological mapping in Europe: The results of a census of the digital mapping coverage, approaches and standards of 29 European geological survey organizations in year 2000, *Computers & Geosciences*, 28 (2002), 783-788.
- Jehng-Jung, K., 1996, A raster-based C program for siting a landfill with optimal compactness, *Computers & Geosciences*, 22 (8), 837-847.
- Jiménez-Guerrero, B., 1996, Análisis y diseño para eficientar el departamento de control de calidad del centro de cartografía automatizada de la Dirección Regional Noroeste de INEGI, Tesis profesional (Ingeniero Industrial y de Sistemas), Universidad de Sonora, Departamento de Ingeniería Industrial, Hermosillo, Son., 71 p.
- Johnson, C., Harrison, C., 1989, Tectonics and volcanism in central Mexico: Landsat Thematic Mapper perspective, *Remote Sensing of Environment*, 28, 273-286.
- Jones, C., 1997, Geographic Information Systems and Computer Cartography, Longman, Essex, England, 319 p.
- JPL, 1995, Landsat Thematic Mapper Mosaic Product Description: The Mexican Volcanic Belt, created at the request of Michael J. Abrams, NASA Jet Propulsion Laboratory. (Mosaic processing design by Logan, T.L.).
- Junkins, D.R., 1988, *Transforming to NAD83*, Report, Geodetic Survey Division, Canada Centre for Survey, Ottawa, 12 p.
- Kennedy, M., Kopp, S., 1994, *Understanding Map Projections*, Environmental Systems Research Institute Inc., 116 p.
- Kraak, M.K., Van-Driel, R., 1997, Principles of hypermaps, *Computers & Geosciences*, 23 (4), 457-464.
- Kusters, M., 1999, A study on metadata creating an independent company metadata set, Master of Science in Geographic Information Systems (Summary of Thesis), Manchester Metropolitan University (<http://www.unigis.org/resources/Abstracts99.htm>).
- Laurini, R. y D. Thompson, 1992, *Fundamentals of Spatial Information Systems*, Academic Press, The APIC Series 37, London, 680 p.
- Laxton, J. L. and K. Becken, 1996, The design and implementation of a spatial database for the production of geological maps, *Computers & Geosciences*, 22 (7), 723-733.
- Lees, J.M., 2000, Geotouch: software for three and four dimensional GIS in the earth sciences, *Computers & Geosciences*, 26 (7), 751-761.

- Lemus Pérez, R., 1998, Aplicación de un sistema de información geográfica y percepción remota en la planificación urbana y regional, Tesis de Maestría (Arquitectura (Urbanismo)), Facultad de Arquitectura, UNAM, México, 91 p.
- Lewis, M. A., 1989, en: McCall, J. and Marker, B., (editors), *Earth Science Mapping*, Graham & Trotman, Norwell, MA., USA, 53-77.
- Limp, F., 1997, Weave maps across the web, *GIS World*, 10 (9), 46-52.
- Lin, H., Jianhua Gong and Freeman Wang, 1999, Web-based three-dimensional georeferenced visualization, *Computers & Geosciences*, 25 (10), 1177-1185.
- Lodwick, G.D. and S.H. Paine, 1992, Remote Sensing and Image Interpretation, Perth, Curtin University School of Surveying and Land Information, 145-146.
- López-Blanco, J. and Villers R., L., 1995, Delineating boundaries of environmental units for land management using a geomorphological approach and GIS: a study in Baja California, Mexico, *Remote Sensing of Environment*, 53(2), 109-117.
- López-Blanco, J., 1994, Evaluaciones geomorfológicas y de recursos naturales aplicando un sistema de información geográfica (ILWIS), Tesis Doctorado (Geografía), Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México, 222 p.
- López-Levi, L., 1994, Mercado inmobiliario habitacional en la Ciudad de México: un sistema de información geográfica, el caso de la Delegación Miguel Hidalgo, Tesis de Maestría (Geografía (Planeación)), Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México, 155 p.
- Lowell, K., Jaton, A., 1999, *Spatial accuracy assessment: Land information uncertainty in natural resources*, Ann Arbor Press, Michigan, 455 p.
- Luna-González, L., 1997, *Los sistemas de información geográfica: una alternativa para el análisis socioespacial de los accidentes de tránsito en carretera propuesta metodológica*, Tesis de Maestría en Geografía (Planeación), Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, 135 p.
- MacEachren, A M., 1995, How maps work: representation, visualization, and design, Guilford Press, New York, 513 p.
- Macías, J.L., García, P. A., Arce, J.L., Siebe, C., Espíndola, J.M., Komorowski, J.C., Scott, K., 1997, Late Pleistocene-Holocene cataclysmic eruptions at Nevado de Toluca and Jocotitlán volcanoes, Central Mexico. Link, K.P., Kiwallis, B.J. (eds.), *Proterozoic to recent stratigraphy, tectonics and volcanology, UTAH, Nevada, southern Idaho and Central Mexico*, Brigham Young University, Geology Studies, 42, Part 1, 493-528.
- Maguire, D. J., 1994, The raster GIS design model: a profile of ERDAS, *Computer & Geosciences*, 18(4), 463-470.
- Maguire, D.J., Goodchild, M.F., y Rhind, D.W. (Coords.), 1991, *Geographical Information Systems: principles and aplicaciones*, Longman, Londres (2 volúmenes).
- Maillol, J.M., Bandy, W.I., Ortega-Ramírez, J., 1997, Paleomagnetism of plio-quadernary basalts in the Jalisco block, western Mexico, *Geofísica Internacional*.
- Majithia, M., (ed.), 1997, Main types of geological maps: purpose, use and preparation, Oxford & IBH - Technip, New Delhi - París, 348 p.
- Malczewski, J., 1999, GIS and Multicriteria decision analysis, Wiley, USA, 392 p.
- Maling, D.H., 1992, *Coordinate Systems and Map Projections*, Pergamon, Oxford, UK, 476 p.
- Marker, B. and J. McCall, 1989, The scope of earth science mapping, en: McCall, J. and Marker, B., (editors), *Earth Science Mapping*, Graham & Trotman, Norwell, MA., USA, 3-12.
- Marquez, A., Oyarzu, R., Doblaz, M., Verma, S.P., 1999, Alkalic (ocean-island basalt type) and calc-alkalic volcanism in the Mexican volcanic belt: A case for plume-related magmatism and propagating rifting at an active margin?, *Geology*, 27, 51-54.
- Marschallinger, R., 2001, Three-dimensional reconstruction and visualization of geological materials with IDL-examples and source code, *Computers & Geosciences*, 27 (4), 419-426.
- Martin, D., Higgs, G., 1997, The visualization of socio-economic GIS data using virtual reality tools, *Transactions in GIS* 1 (4), 255-266.
- McCall, J. and Marker, B., (editors), 1989, *Earth science mapping for planning, development and conservation*, Graham and Trotman, Norwell, MA. USA, 268 p.

- Miliaresis, G.C. and D.P. Argialas, 1999, Segmentation of physiographic features from the global digital elevation model/GTOPO30, *Computers & Geosciences*, 25 (7), 715-728
- Minnesota Planning, 1999, Positional Accuracy Handbook, Usin the National Standard for Spatial Data Accuracy tu measure and report geographic data quality, Land Management Information Center, St. Paul, MN, USA, 29 p.
- Mitas, L., W. M. Brown and H. Mitasova, 1997, Role of dynamic cartography in simulations of landscape processes based on multivariate fields, *Computers & Geosciences*, 23 (4), 437-446
- Molnár, D. K. and P. Y. Julien, 1998, Estimation of upland erosion using GIS, *Computers & Geosciences*, 24 (2), 183-192
- Mooser, F., 1972, The Mexican Volcanic Belt-Structure and tectonics, *Geofísica Internacional*, 12 (2), 55-70.
- Mowrer, H. T., Czaplewski, R. L., Hamre, R. H., 1996, *Spatial accuracy assessment in natural resources and environmental sciences: second international symposium*, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Fort Collins, Colorado, USDA Forest Service General Technical report RM-GTR 277, 728 p.
- Muehrcke, P.C., 1990, Cartography and Geographic Information Systems, *Cartography and Geographic Information Systems*, 17 (1), 7-15.
- Mueller, I.I., 1974, Review of problems associated with conventional geodetic datums, *The Canadian Surveyor*, 28 (5), 514-523.
- Muñoz-López, E., 1991, El sistema de información geográfica como herramienta para el diagnóstico del recurso suelo: subcuenca Arroyo Ocayoacac, Edo. de México, Tesis profesional (Licenciado en Geografía), Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México, 135 p.
- Murayana, Y., 2000, Internet GIS for Malaysian Population Analysis, Science Reports, Institute of Geoscience, University of Tsukuba, Section A Geographical Sciences), 21, 131-146.
- Muttiah, R. S., B. A. Engel and D. D. Jones, 1996, Waste disposal site selection using GIS-based simulated annealing, *Computers & Geosciences*, 22 (9), 1013-1017
- NAS, 1971, *North American Datum, A report by the Committee on the North American Datum*, National Academy of Sciences, USA, 80 p.
- Nava-Marin, F., 2000, Distribución y abundancia de seis especies de peces demersales en la plataforma continental del estado de Guerrero, México: análisis en el contexto de un sistema de información geográfica, Tesis profesional (Biólogo) Facultad de Ciencias, UNAM, México, 140 p.
- Navarrete- Pacheco, J. A., 1999, El uso de fotografías áreas digitales y SIG en la actualización cartográfica de la zona federal del ex-Lago de Texcoco, Tesis profesional (Licenciado en Geografía), Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México, 79 p.
- Nelson, S.A., Hegre, J., 1990, Volcan Las Navajas, a Pliocene-Pleistocene trachyte-peralkaline rhyolite volcano in the Northwestern MVB, *Bulletin of Volcanology*, 52, 186-204.
- Ojeda-Felix, G., 1996, Diagnóstico operacional para eficientar el desempeño del servicio en el centro de cartografía automatizada, Tesis profesional (Ingeniero Industrial y de Sistemas), Universidad de Sonora, Departamento de Ingeniería Industrial, Hermosillo, Son, 73 p.
- Openshaw, S. y Goddard, J., 1987, Some implications of the commodification of information or emerging information economy for applied geographical analysis in the United Kingdom, *Environment and Planning*, 19, 1423-1439.
- Openshaw, S., 1989, Learning to live with errors in spatial databases, en: Goodchild, M. y S. Gopal, *Accuracy of spatial databases*, Taylor and Francis, London, 263-276.
- Ortega-Gutiérrez, F., Mitre-Salazar, L.M., Roldán-Quintana, J., Aranda-Gómez, J., Morán-Zenteno, D., Alaniz-álvarez, S., Nieto-Samaniego, A., 1992, Carta Geológica de la República Mexicana, Escala 1:2,000,000, Instituto de Geología, UNAM, México.
- Ortega-Rodríguez, J. M., 1996, Caracterización de la cuenca del Río Chiquito de Morelia Michoacán, México, por medio de un sistema de información geográfica, Tesis profesional (Biólogo), Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, UNAM, México, 77 p.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- Ottens, H.F.L., 1990, The application of Geographical Information Systems in urban and regional planning, en: Scholten Scholten, H.J. y J.C.H Stilwell, (coord.) Geographical Information Systems for Urban and Regional Planning, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 15-22.
- Padilla y Sánchez, R.J., Martínez-Serrano, R.G., Torres-Rodríguez, V., (Compiladores), 1994, Carta Tectónica, Escala 1:2,000,000 (2 hojas), Facultad de Ingeniería (UNAM) e Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), México (mapa, 2 hojas).
- Palacio-Prieto J.L., Ángel Backhoff M., J.C Vázquez Paulin, L. Luna González, L. Miguel Morales, 1995, Generación de bases digitales para el inventario de carreteras y atributos asociados, digitización manual y automática y posicionamiento global por satélite (GPS), *Geografía y Desarrollo*, 12, 81-88.
- Palma-Muñoz, M. F., 1997, Delimitación de unidades ambientales en el sur del Valle de México, con ayuda de sistema de información geográfica y percepción remota, Tesis profesional (Biólogo), Facultad de Ciencias, UNAM, México, 64 p.
- Pardo, M., Suarez, G., 1995, Shape of the subducted Rivera and Cocos plates in southern México: Seismic and tectonic implications, *Journal of Geophysical Research*, 100, 12357-12373.
- Pasquarè, G. (dirección), Ferrari, L. (compilación) et al., 1991, Geological map of the central sector of Mexican Bolcanic Belt, States of Guanajuato and Michoacán: Geological Society of America Map and Chart series, MCH 72.
- Piña-Pérez, J. M., 1997, Implantación del sistema de aseguramiento de calidad bajo la norma : NMX.CC.0041995 IMNC150.9002 1994 en el área de bases de datos, de la unidad corporativa de sistemas de información geográfica (SICORI), Tesis, UPIICSA, IPN, México.
- Plewe, B., 1997, GIS-Online: Information retrieval, mapping, and the Internet. OnWord Press, Santa Fe, NM, 311 p.
- Poncelis-Gasca, J., 1983, Elaboración de una carta topográfica de la República Mexicana en escala de 1:2,000,000, Tesis profesional, Facultad de Ingeniería, UNAM (inédita), 84 p.
- Pouch, G. W., 1997, An interactive program for computer-aided map design, display, and query: EMAPKGS2, *Computers & Geosciences*, 23 (3), 259-266.
- Powers, P.S., M. Chiarle and W. Z. Savage, 1996, A digital photogrammetric method for measuring horizontal surficial movements on the Slumgullion earthflow, Hinsdale county, Colorado, *Computers & Geosciences*, 22 (6), 651-663.
- Pradal, E., Robin, C., 1994, Long-lived magmatic phases at Los Azufres volcanic center, Mexico, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 63, 201-215.
- Prof-Ledesma R.M., 2000, Evaluation of the reconnaissance results in geothermal exploration using GIS, *Geothermics*, 29(1), 83-103.
- Ramírez-Herrera, M.T., 1990, Análisis Morfoestructural de la Faja Volcánica Transmexicana (centro-oriente): México, Tesis de Maestría en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 86 p.
- Richard, D., 2000, Development of an internet atlas of Switzerland, *Computers & Geosciences*, 26 (1), 45-50.
- Richards, J.A., 1994, Remote Sensing Digital Image Analysis, Springer-Verlag, Berlin, 340 p.
- Robinson, A.H., J.L. Morrison, P.C. Muehrcke, A.J. Kimerling, S.C. Guptill, 1995, Elements of Cartography, Wiley, USA, 674 p.
- Robles-Berumen, H., 1997, Construcción de un sistema de software para la elaboración y procesamiento de cartografía digital utilizando la metodología orientada a objetos. Tesis de Maestría en Ciencias (Ciencias de la Computación), Unidad Académica de los Ciclos Profesional y de Posgrado, Colegio de Ciencias y Humanidades, UNAM, México, 197 p.
- Rodríguez-Castillo, A., 1998, Desarrollo de una base de datos geográfica y estadística de la República Mexicana, de utilidad en aplicaciones de sistemas de información geográfica, Tesis de Maestría en Ciencias de la Computación, UNAM, México, 103 p.
- Rodríguez-Elizarrás, S., 1995, Estratigrafía y estructura del volcán de Colima, México: *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 12, 22-46.
- Rosas-Elguera, J., Ferrari, L., López-Martínez, M., Urrutia-Fucugauchi, J., 1997, Stratigraphy and Tectonics of the Guadalajara Region and Triple Junction Area, Western Mexico: *International Geology Review*, 39, 125-140.

- RSI, 2000, *ENVI Tutorials* (documentación disponible en la ayuda digital del programa ENVI 3.5), Research Systems Incorporation, 620 p.
- Salichtchev, K.A., 1978, Cartographic communications, its place in the theory of science, *Canadian Cartographer*, 15, 93-99.
- Samet, H., 1990a, The Design and Analysis of Spatial Data Structures, Addison-Wesley, Reading Massachusetts, 493 p.
- Samet, H., 1990b, Applications of Spatial Data Structures, *Computer Graphics, Image Processing and GIS*, Addison-Wesley, Reading (Massachusetts), Singapore, Longman, 319 p.
- Schetselaar, E. M., 1995, Computerized field-data capture and GIS analysis for generation of cross sections in 3-D perspective views, *Computers & Geosciences*, 21 (5), 687-701
- Seber, D., Marisa Vallvé, Eric Sandvol, David Steer y Mauwia Barazangi, 1997, Middle east tectonics: applications of geographic information system (GIS), *GSA Today*, Geology Society of America, 7(2), 2-6.
- Silva-Romo, G., C.C. Mendoza-Rosales, E. Campos-Madriral, 2001, Elementos de Cartografía Geológica, Facultad de Ingeniería, UNAM, México, 292 p.
- Sheth, H.C., Torres-Alvarado, I.S., Verma, S., 2000, Beyond subduction and plume: A unified tectonic-petrogenetic model for the Mexican Volcanic Belt: *International Geology Review*, 42, 1-17.
- Sim, B.L., Frederik P. Agterberg and C. Beaudry, 1999, Determining the cutoff between background and relative base metal smelter contamination levels using multifractal methods, *Computers & Geosciences*, 25 (9), 1023-1041
- Star, J. y J. Estes, 1990, *Geographic information systems: an introduction*, Prentice Hall, NJ, 303 p.
- Strand, E.J., 1997, Java creates new channels for GIS information, *GIS World*, May, 28.
- Su, Y., Slottow, J., Mozes, A., 2000, Distributing proprietary geographic data on the World Wide Web-UCLA GIS Database and Map Server, *Computers & Geosciences*, 26 (7), 741-749
- Toen, B., 1995, Internet resources for the geosciences, with an emphasis on GIS and mapping, *Computers & Geosciences*, 21 (6), 779-786
- Toledo-Manzur, C. A., 1994, Diagnóstico ecogeográfico y ordenamiento territorial del municipio de Alcozauca, Gro. a través de un SIG, Tesis de Maestría en Ciencias (Biología), Facultad de Ciencias, UNAM, México, 208 p.
- Tomlin, C.D., 1991, *Geographic Information Systems and Cartographic Modeling*, School of Natural Resources The Ohio State University, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Tomlin, C.D., 1990, *Geographic Information Systems and Cartographic Modeling*, Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J., 249 p.
- Tomlinson, 1999, An Overview: The Future of GIS, *ArcNews*, Winter 1999 / 2000, Environmental System Research Institute (ESRI), Redlands, California.  
<http://www.esri.com/news/arcnews/winter9900/articles/gis2000/03-tomlinson.html>  
[http://www.gis.com/trends/tomlinson\\_print.html](http://www.gis.com/trends/tomlinson_print.html)
- UNESCO, 1976, *Engineering geological maps: a guide to their preparation*, UNESCO, París, 79 p.
- Uribe-Luna, J., 1999, Cartografía y estratigrafía mediante sensores remotos en un sistema de información geográfica: área de Huajuapán de León, Oaxaca, México, Tesis de Maestría (Ciencias (Geología)), Facultad de Ciencias, UNAM, México, 120 p.
- Valdez-Muciño, I., 1996, Evaluación del cambio de uso del suelo en el área de la Sierra de Quetzaltepec, Texcoco, Estado de México y utilizando un sistema de información geográfica, Tesis profesional (Licenciado en Geografía), Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México, 93 p.
- van-Brunschot, C., 1997, The company relevance of GIS metadata with special emphasis on the design of a metadata system for GIS at the VSN group, Master of Science in Geographic Information Systems (Thesis), Manchester Metropolitan University, 132 p. (<http://www.unigis.org/resources/Dissertations/clemens.pdf>).
- Vanicek, P., Merry, C.L., 1973, Determination of the geoid from deflections of the vertical using a Least-Squares Surface Fitting Technique, *Bulletin Geodésique*, 109, 261-275

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- Vázquez-Sánchez, E, Jaimes-Palomera, R., 1989, Geología de la Cuenca de México, *Geofísica Internacional*, 28(2), 133-190.
- Velasco I., Robles B.D., Jaimes S., 1996, Transferencia y adaptación de un sistema de información geográfica a asociaciones de usuarios de distritos de riego transferidos, *Ingeniería Hidráulica en México*, 11 (2), 33-47.
- Velasco-Velasco I., B. Robles, A. Balancan, S. Jaimes, 1994, Sistema de información geográfica para distritos de riego, *Ingeniería Hidráulica en México*, 9(1), 35-41.
- Verma, S. P., Anda-Verde, J. Temperature distributions from cooling of a magma chamber in Los Azufres geothermal field, Michoacán, México, *Geofísica Internacional*, 35 (2), 105-113.
- Wallace, P.J., Carmichael, I.S.E., 1999, Quaternary volcanism near the Valley of Mexico: implications for subduction zone magmatism and the effects of crustal thickness variations on primitive magma compositions, *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 135, 291-314
- Westing, Torbjorn, 1990, Precision rectification of SPOT imagery, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 56 (2), 247-253.
- Williams, R. T., 1995, Lambert and Mercator map projections in geology and geophysics, *Computers & Geosciences*, 21 (3), 353-364.
- Wise, S., 1995, Scanning thematic maps for input to geographic information systems, *Computers & Geosciences*, 21 (1), 7-29.
- Wolf, R., 1974, *Elements of Photogrammetry* (2<sup>nd</sup> ed.), McGraw-Hill Inc., New York, 562 p.
- Wolf, P.R., Brinker, R.C., 1994, *Elementary Surveying*, Haper Collins, New York, N.Y., 608 p.
- Wood, C. H. and Keller, C. P., 1996, Design: Its place in cartography, en: Wood and Keller (editors), *Cartographic Design: Theoretical and practical perspectives*, Wiley, England, 320 p.
- Xia, F. 1998, Customizing ArcView IMS, ESRI User Conference 1998, July 27-31, San Diego, California, (<http://www.esri.com>).
- Xu, J., and Richard G. Lathrop Jr., 1994, Improving cost-path tracing in a raster data format, *Computers & Geosciences*, 20 (10), 1455-1465.
- Ziagos, et al., 1985, Heat flow in southern Mexico and the thermal effects of subduction, *Journal Geophysical Research*, No. B-7, 90, 5410-5420.

**A N E X O S**

**ANEXO 1.1**

Ortofotos Digitales E14A39 Escala 1:20,000  
(CIUDAD DE MEXICO) - Ortofoto(s) ABCDEF

## Metadata:

- Identification Information
- Data Quality Information
- Spatial Data Organization Information
- Spatial Reference Information
- Entity and Attribute Information
- Distribution Information
- Metadata Reference Information

Identification Information:Citation:Citation Information:Originator: Dirección General de Geografía - INEGI(ed)Publication Date: 19990101Publication Time: UnknownTitle: Ortofotos Digitales E14A39 Escala 1:20,000 (CIUDAD DE MEXICO) - Ortofoto(s) ABCDEFEdition: 1Geospatial Data Presentation Form: remote-sensing imagePublication Information:Publication Place: Aguascalientes, Ags. MéxicoPublisher: INEGIOnline Linkage: <http://www.inegi.gob.mx/>Description:Abstract:

Las Ortofotos combinan las características de la imagen de una fotografía aérea de cualquier escala con las cualidades geométricas de un mapa. Son imágenes de las que se han eliminado las deformaciones causadas por la óptica de la cámara y por el desplazamiento aparente de los objetos del terreno en el momento de la toma fotográfica.

Purpose:

Se pueden usar para una gran variedad de propósitos, que van desde la generación de mapas intermedios hasta su uso como referencia de campo para investigaciones y análisis de las ciencias de la tierra, como son recursos naturales (erosión, agua, bosques), en agricultura de riego, de temporal; en infraestructura, tal como aeropuertos, presas, carreteras; en urbanismo vial, urbanismo industrial, urbanismo recreativo, urbanismo habitacional. La Ortofoto en su modalidad digital es útil como cubierta en los Sistemas de Información Geográfica (SIG), así mismo son una herramienta muy útil en la actualización de gráficos a línea y mapas topográficos (cartografía).

Supplemental Information:

Las Ortofotos Digitales, por estar georreferidas, es posible ubicar y determinar las dimensiones de los rasgos visibles en ellas. Las Ortofotos están producidas con una resolución en el terreno de 2 metros por pixel. La dimensión de cada una es de 6 minutos 40 segundos de longitud por 7 minutos 30 segundos de latitud. Este formato está diseñado para que al ensamblar seis Ortofotos escala 1:20,000 (A, B, C, D, E y F) se obtenga la cobertura de una carta topográfica 1:50,000. Proyección Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum NAD27 o ITRF92. Archivo binario, crudo, con extensión .bil. Archivos de texto con metadatos, con extensión .txt con dimensiones de la Ortofoto, proyección, datum, georreferencia y fecha de toma de la foto, archivos "World" como son .hdr, .blw, .prj. 45 MB son el volumen promedio de datos por Ortofoto. La cobertura de todo el país es más de 12,000 Ortofotos. Seis Ortofotos cubren el área de una hoja escala 1:50,000. La clave de la Ortofoto se forma con la nomenclatura de la hoja escala 1:50,000 en la que está incluida y una letra de la A a la F. Las Ortofotos pueden ser distribuidas a través de cinta de 8mm, disco compacto o vía internet (ftp). Fechas de toma de las fotos: de febrero de 1994 a julio de 1994.

Time Period of Content:Time Period Information:Range of Dates/Times:Beginning Date: 19940200Ending Date: 19940700Currentness Reference: Ground ConditionStatus:Progress: CompleteMaintenance and Update Frequency: UnknownSpatial Domain:Bounding Coordinates:West Bounding Coordinate: -99.33East Bounding Coordinate: -99.00North Bounding Coordinate: 19.50

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



*South\_Bounding\_Coordinate:* 19 25

*Keywords:*

*Theme:*

*Theme\_Keyword\_Thesaurus:* None

*Theme\_Keyword:* Calibración

*Theme\_Keyword:* Cámara

*Theme\_Keyword:* Diapositivas

*Theme\_Keyword:* Fotografía aérea

*Theme\_Keyword:* Imagen ortorectificada

*Theme\_Keyword:* Ortofoto

*Theme\_Keyword:* Ortofoto digital

*Theme\_Keyword:* Puntos de control

*Place:*

*Place\_Keyword\_Thesaurus:* None

*Place\_Keyword:* México

*Access\_Constraints:*

Acceso con costo al público a través de los centros de venta del INEGI

*Use\_Constraints:* None

*Browse\_Graphic:*

*Browse\_Graphic\_File\_Name:* ortofoto.jpg

*Browse\_Graphic\_File\_Description:* Ejemplo ilustrativo de ortofoto digital correspondiente a la clave F13D19D (Aguascalientes)

*Browse\_Graphic\_File\_Type:* JPEG

#### *Data\_Quality\_Information:*

*Logical\_Consistency\_Report:*

A fin de garantizar que la fotografía aérea conserve su estado dimensional y poderlas digitalizar se usarán copias diapositivas en tono continuo. Las fotografías aéreas deberán de ajustarse a las especificaciones establecidas en las Normas Técnicas para Levantamientos Aerofotográficos. Los puntos de control podrán ser obtenidos por proceso de triangulación aérea o mediciones directas en campo.

*Completeness\_Report:*

La cobertura del escáner estará dentro de un intervalo mínimo de 7.5 micras y un máximo de 50 micras haciendo uso de un escáner de alta precisión. Una abertura de 25 a 30 micras dará un valor razonable entre el tamaño del archivo y una adecuada resolución de la imagen. La(s) fotografía(s) que se use(n) para generar la Ortofoto, deberá(n) contener por lo menos 6 puntos de control, 2 estarán en la parte izquierda, 2 en el centro y 2 a la derecha, distribuidos en las áreas de sobreposición con las líneas adyacentes. Los modelos digitales de elevación que se usen en la generación de las Ortofotos deberán ser elaborados con una separación en su retícula no mayor a 0.50 mm en terrenos montañosos y no mayor a 1.00 mm en el resto de tipos de terrenos. Estos podrán ser elaborados por digitalización de las curvas de nivel en mapas existentes, extracción en modelos tridimensionales de puntos con coordenadas X, Y, Z en equipos análogos (con capacidad de registro) por procesos analíticos y/o digitales. La calibración de la cámara deberá estar actualizada con una cantidad no mayor a 10,000 disparos o cada 2 años.

*Lineage:*

*Process\_Step:*

*Process\_Description:*

- 1) La Ortofoto Digital se crea mediante el barrido ("escaneo") de una diapositiva de la fotografía aérea, y con el uso de un barridor ("escáner") de imágenes de alta precisión
- 2) La diapositiva barrida se debe rectificar digitalmente para llevarla a una proyección ortogonal procesando cada pixel de imagen por medio de ecuaciones de colinealidad. Este proceso requiere como datos de entrada, puntos de control obtenidos ya sea por triangulación aérea o por mediciones directas en el campo, parámetros de orientación de la cámara de toma así como un modelo digital de elevación (MDE), el cual va a eliminar los desplazamientos por relieve.
- 3) La Ortofoto Digital queda almacenada en un medio digital conveniente, con sus registros de encabezado apropiados
- 4) También puede ser impresa en película fotográfica mediante el uso de una impresora de archivos raster (imágenes)

*Process\_Date:* Unknown

#### *Spatial\_Data\_Organization\_Information:*

*Direct\_Spatial\_Reference\_Method:* Raster

*Raster\_Object\_Information:*

*Raster\_Object\_Type:* Pixel

#### *Spatial\_Reference\_Information:*

*Horizontal\_Coordinate\_System\_Definition:*

*Planar:*

*Grid\_Coordinate\_System:*

*Grid\_Coordinate\_System\_Name:* Universal Transverse Mercator

*Universal\_Transverse\_Mercator:*

*UTM\_Zone\_Number:* 14

*Transverse\_Mercator:*

*Scale\_Factor\_at\_Central\_Meridian:* 0.9996

*Longitude\_of\_Central\_Meridian:* -099 000000

*Latitude\_of\_Projection\_Origin*: +00.000000  
*False\_Easting*: 500000  
*False\_Northing*: 0  
*Planar\_Coordinate\_Information*:  
*Planar\_Coordinate\_Encoding\_Method*: row and column  
*Coordinate\_Representation*:  
*Abscissa\_Resolution*: 1  
*Ordinate\_Resolution*: 1  
*Planar\_Distance\_Units*: Meters  
*Geodetic\_Model*:  
*Horizontal\_Datum\_Name*: North American Datum of 1927  
*Ellipsoid\_Name*: Clarke 1866  
*Semi-major\_Axis*: 6378206.4  
*Denominator\_of\_Flattering\_Ratio*: 294 9786982

---

**Entity\_and\_Attribute\_Information:**
*Detailed\_Description*:*Entity\_Type*:*Entity\_Type\_Label*: Modelo de Datos Raster.*Entity\_Type\_Definition*:

La definición de entidad es de tipo raster, donde la forma digital de los elementos son celdas o puntos, del componente descriptivo de un intervalo, un área o de un fenómeno geográfico.

*Entity\_Type\_Definition\_Source*:

Base de Datos Geográficos de la Dirección General de Geografía, INEGI.

---

**Distribution\_Information:**
*Distributor*:*Contact\_Information*:*Contact\_Organization\_Primary*:*Contact\_Organization*: INEGI*Contact\_Address*:*Address\_Type*: mailing and physical address*Address*: Avenida Héroe de Nacozari #2301 Sur Fraccionamiento Jardines del Parque*City*: Aguascalientes*State\_or\_Province*: Aguascalientes*Postal\_Code*: 20270*Country*: México*Contact\_Voice\_Telephone*: 52 49 10 53 00 Exts. 5022, 5031, 5456*Contact\_Facsimile\_Telephone*: 52 49 18 10 24*Contact\_Electronic\_Mail\_Address*: ventas@cis.inegi.gob.mx*Resource\_Description*: ORTO20K*Distribution\_Liability*: El INEGI no se hace responsable del uso de estos datos

---

**Metadata\_Reference\_Information:**
*Metadata\_Date*: 19990423*Metadata\_Review\_Date*: 20010427*Metadata\_Future\_Review\_Date*: 20010528*Metadata\_Contact*:*Contact\_Information*:*Contact\_Person\_Primary*:*Contact\_Person*: Administrador de Metadatos*Contact\_Organization*: DGG-INEGI*Contact\_Address*:*Address\_Type*: mailing and physical address*Address*: Avenida Héroe de Nacozari #2301 Sur Fraccionamiento Jardines del Parque*City*: Aguascalientes*State\_or\_Province*: Aguascalientes*Postal\_Code*: 20270*Country*: México*Contact\_Voice\_Telephone*: 52 49 10 53 00 Ext. 5856*Contact\_Facsimile\_Telephone*: 52 49 18 12 24*Contact\_Electronic\_Mail\_Address*: rarioja@dgg.inegi.gob.mx*Metadata\_Standard\_Name*: FGDC Content Standards for Digital Geospatial Metadata*Metadata\_Standard\_Version*: FGDC-STD-001-1998

<p style="text-align: center;"> <b>TESIS CON FALLA DE ORIGEN</b> </p>
---

## ANEXO 2.1

Tesis con material cartográfico incluido 1980-2000  
(Analizadas en el capítulo 2)

1. Aguirre Díaz, Gerardo de Jesús. 1982. Estudio geológico-Petroológico de la hoja "Presa Solis", Jerencuaro, Gto. (Un evento ácido en el Eje Neovolcánico). Tesis Licenciatura (Ingeniero Geólogo)-UNAM, Facultad de Ingeniería. 152 p. (Silva Mora, Luis, asesor). Clasif. 001-01123-A2-1982-1.
2. Arana Salinas, Lilia. 1998. Geología del volcán Pelado. Tesis Licenciatura (Ingeniero Geólogo)-UNAM, Facultad de Ingeniería. 57, [32] p. (Delgado Granados, Hugo, asesor). Clasif. 001-01123-A5-1998.-
3. Araujo Mendieta, Artemio. 1987. Estudio geofísico del cono volcánico el Xico, municipio de Chalco, Estado de México. Tesis Licenciatura (Ingeniero Geofísico)-UNAM, Facultad de Ingeniería. 149 p. (Arroyo Carrasco, Francisco Alejandro, asesor). Clasif. 001-01131-A3-1987-1.
4. Arreola Lozada, Fidel. 1984. Estudio geológico-minero del área Dos Carlos, Pachuca, Hgo. Tesis Licenciatura (Ingeniero Geólogo)-UNAM, Facultad de Ingeniería. 96 p. (Arriaga García, Germán, asesor). Clasif. 001-01123-A3-1984-1
5. Ávila Bravo, Verónica. 1998. Cartografía geológica y estratigrafía del grupo Chichinautzin, en el área de Tepoztlán, Morelos. Tesis Licenciatura (Ingeniero Geólogo)-UNAM, Facultad de Ingeniería. 59, [27] p. (Mendoza Rosales, Claudia Cristina, asesor) Clasif. 001-01123-A1-1998.
6. Bocco Verdinelli, Gerardo Héctor Rubén. 1983. Estudio geomorfológico de la región comprendida en la carta Querétaro 1: 250,000. Tesis Maestría (Maestría en Geografía (Evaluación y Conservación de Recursos Naturales)) UNAM, Facultad de Filosofía y Letras. 78 p. (Lugo H., José, Dr., asesor). Clasif. 001-01059-B1-1983.
7. Caballero Miranda, Cecilia Irene. 1982. Un proyecto de cartografía cronoestratigráfica sistemática, como un avance hacia la litoestratigrafía formal. Tesis Licenciatura (Ingeniero Geólogo)-UNAM, Facultad de Ingeniería. 117 p. (Morán Zenteno, Dante Jaime, asesor). Clasif. 001-01123-C1-1982-1.
8. Carrasco Núñez, Gerardo. 1985. Estudio geológico del volcán Popocatepetl. Tesis Licenciatura (Ingeniero Geólogo)-UNAM, Facultad de Ingeniería. 138 p. (Silva Mora, Luis, asesor). 001-01123-c1-1985-1.
9. Cordero Estrada, Maricarmen Fidelia. 1992. El origen y evolución del relieve en la Delegación Alvaro Obregón. Tesis Licenciatura (Licenciado en Geografía)-UNAM, Facultad de Filosofía y Letras. 106 p. (Lugo Hubp, José Inocente, Dr., asesor). Clasif. 001-01026-C7-1992-2
10. Cruz López, Diego Edgar. 1998. Estudio geológico-minero del yacimiento de la mina El Socorro Edo de Puebla. Tesis Licenciatura (Ingeniero Geólogo)-UNAM, Facultad de Ingeniería. 67 p. (Arriaga García, Germán, asesor). Clasif. 001-01123-C4-1998.
11. Frías González, Miguel Ángel. 1988. Estudio geológico minero del área "La Cienega" Municipio de Guachinango, Jal. Tesis Licenciatura (Ingeniero Geólogo)-UNAM, Facultad de Ingeniería. 114 p. (asesores: Vera Ocampo, Miguel Ildelfonso; Nieto Obregón, Jorge; Arriaga García, Germán; Rodríguez Madrigal, Héctor; y Garza Gonzalez Velez, Carlos Eduardo).
12. García Arias, Jesús Alejandro y Nuevo Estévez, José Raúl, 1996. Cartografía y geología estructural de la porción occidental de la hoja Petlalcingo (E14B84), estudio de Puebla. Tesis Licenciatura (Ingeniero Geólogo)-UNAM, Facultad de Ingeniería. 69, [8] p. (Arellano Gil, Javier, asesor). Clasif. 001-01123-G2-1996.
13. García Arizaga, María Teresa Lidia. 1995. Origen y evolución de un deslizamiento de tierras en Metztlitlán, Hgo. Tesis Maestría (Maestría en Geografía (Evaluación y Conservación de Recursos Naturales)) UNAM, Facultad de Filosofía y Letras. 138 p. (Lugo Hubp, José Inocente, Dr., asesor). Clasif. 001-01079-G1-1995-
14. García Padilla, José Luis Agustín. 1992. Estudio geológico-minero por carbón en el área de Las Pilas, Mpio. de Huautla, Hgo. Tesis Licenciatura (Ingeniero Geólogo)-UNAM, Facultad de Ingeniería. 99 p. (Arriaga García, Germán, asesor). Clasif. 001-01123-G4-1992-1
15. García Pérez, Frank. 1995. Caracterización geofísica de la región de tierra caliente y áreas colindantes, estados de Guerrero, México y Morelos. Tesis Maestría (Maestría en Sismología y Física del Interior de la Tierra) UNAM, Colegio de Ciencias y Humanidades, Unidad Académica de los Ciclos Profesional y de Posgrado. 55 p. (Urrutia Fucugauchi, Jaime Humberto, asesor). Clasif. 001-03077-G1-1995-

16. García Romero, Arturo. 1993. Análisis geomorfológico de la distribución de riesgos naturales en la Delegación Cuajimalpa de Morelos, Distrito Federal. Tesis Licenciatura (Licenciado en Geografía)-UNAM, Facultad de Filosofía y Letras. 163 p. (Zamorano Orozco, José Juan, asesor). Clasif. 001-01026-G2-1993-
17. Gómez Tuena, Arturo. 1995. Investigaciones volcanológicas de depósitos piroclásticos del volcán Citlaltepetl (Pico de Orizaba). Tesis Licenciatura (Ingeniero Geólogo)-UNAM, Facultad de Ingeniería. 89 p. (Carrasco Nuñez, Gerardo, asesor). Clasif. 001-01123-G1-1995-
18. Hernández Adame, Silvia Gerarda. 1987. Geomorfología de las Delegaciones Cuajimalpa y Miguel Hidalgo Distrito Federal. Tesis Licenciatura (Licenciado en Geografía)-UNAM, Facultad de Filosofía y Letras. 83 p. (Lugo Hubp, José, Dr., asesor). Clasif. 001-01026-H1-1987-1
19. Hernández Lozano, María Josefina. 1989. Mapa de volcanes cuaternarios de México : (1: 4000 000). Tesis Licenciatura (Licenciado en Geografía)-UNAM, Facultad de Filosofía y Letras 70 p. (Vázquez Selem, Lorenzo, Lic.). Clasif. 001-11209-H3-1989
20. Hernández Velázquez, Javier; Herrera Martínez, Raymundo Arturo; Madrigal Buñes, Agustín; Mújica Mondragón, Alfredo; Mojica Mondragón, Alfredo y Jiménez Mendoza, José Luis. 1990. Geología y prospección minera del área Palmar Chico, municipio de Amatepec, México. Tesis Licenciatura (Ingeniero Geólogo)-UNAM, Facultad de Ingeniería. 120 p. (Arriaga García, Germán, asesor). Clasif. 001-01123-H1-1990-2.
21. Huidobro González, Adolfo Alejandro. 2000. Análisis de la actividad sísmica relacionada con la erupción del volcán Popocatepetl, México, en diciembre de 1994. Tesis Licenciatura (Ingeniero Geofísico)-UNAM, Facultad de Ingeniería. 147 p. (Lermo Samaniego, Javier, asesor). Clasif. 001-01131-H1-2000.
22. Lagunes Duck, Jorge Manuel. 1998. Análisis del relieve, litología y vulnerabilidad en la Delegación Miguel Hidalgo, D.F. y sus zonas conurbadas de los municipios de Naucalpan y Huixquilucan, Estado de México. Tesis Licenciatura (Ingeniero Geólogo)-UNAM, Facultad de Ingeniería. [3], 120 p. (Lugo Hubp, José Inocente, Dr.). Clasif. 001-01123-L1-1998.
23. Martín del Pozzo, Ana Lillian. 1990. Geoquímica y paleomagnetismo de la Sierra Chichinautzin Tesis Doctorado (Doctorado en Ciencias (geología))-UNAM, Facultad de Ciencias 235 p. (Urrutia Fucugauchi, Jaime Humberto, asesor) Clasif. 001-00383-M1-1990-
24. Miranda Huerta, Alfonso. 1986. Estudio geológico minero del área San Juan Gallo, en Municipio : Mineral del Chico Hidalgo. Tesis Licenciatura (Ingeniero Geólogo)-UNAM, Facultad de Ingeniería 67 p. (Arriaga García, Germán, asesor) Clasif. 001-01123-M1-1986-2
25. Mota Mota, Salvador. 1990. Estudio geológico minero del yacimiento ferrífero de los pozos Arteaga, Michoacán. Tesis Licenciatura (Ingeniero Geólogo)-UNAM, Facultad de Ingeniería. 88 p. (Arriaga García, Germán, asesor). Clasif. 001-01123-M3-1990-3
26. Ortega Guerrero, Beatriz. 1984. Geomorfología de la vertiente oriental de la Sierra Nevada (cuenca Puebla-Tlaxcala) Tesis Licenciatura (Ingeniero Geólogo)-UNAM, Facultad de Ingeniería. 94 p (Lugo Hubp, José Inocente, Dr., asesor) Clasif. 001-01123-O2-1984-2.
27. Ortega Guerrero, Beatriz. 1992. Paleomagnetismo, magnetoestratigrafía y paleoecología del cuaternario tardío en el Lago de Chalco, Cuenca de México. Tesis Doctorado (Doctorado en Geofísica (Sismología y Física))-UNAM, Colegio de Ciencias y Humanidades, Unidad Académica de los Ciclos Profesional y de Posgrado. 161 p. (Urrutia Fucugauchi, Jaime Humberto, asesor). Clasif. 001-03092-O1-1992-
28. Pérez González, Francisco. 1982. Estudio geológico-minero del área de Zacualpan, Edo. de México. Tesis Licenciatura (Ingeniero Geólogo)-UNAM, Facultad de Ingeniería 114 p (Querol Sune, Francisco, asesor). Clasif. 001-01123-P1-1982-2
29. Ramírez-Herrera, María Teresa. 1994. Tectonic Geomorphology of the Acambay Graben, Central Mexican Volcanic Belt. Thesis. Doctor of Philosophy. University of Edinburgh, p 251 (Summerfield, Mike; asesor).
30. Ramos Murguía, Laura y Ortiz Zamora, Magnolia. 1984. Estudio Geomorfológico del extremo norte de la Cuenca de México y zonas adyacentes. Licenciatura (Licenciado en Geografía)-UNAM, Facultad de Filosofía y Letras. 97 p. (Lugo Hubp, José I, Dr.). Clasif. 001-01026-R1-1984-27

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

31. Rivera Cabrera, José Héctor y Tristán Serrano, Luz Angélica, 1997. Geología de la región de Cotija, Michoacán. Tesis Licenciatura (Ingeniero Geólogo)-UNAM, Facultad de Ingeniería. 183 p. (Delgado Granados, Hugo, asesor). Clasif. 001-01123-R2-1997
32. Rodríguez Elizarrarás, Sergio Raúl. 1998. El campo volcánico de las cumbres (CVLC) al oriente de la Faja Volcánica Trasmexicana (FVTM), estados de Puebla y Veracruz evolución geológica y características de sus principales depósitos piroclásticos. Tesis Doctorado (Doctorado en Ciencias)-UNAM, Colegio de Ciencias y Humanidades, Unidad Académica de los Ciclos Profesional y de Posgrado. 263 p. (Komorowski, Jean Christophe, asesor). Clasif. 001-03091-R1-1998.
33. Romero Terán, Esther. 1998. geología del Volcán Ajusco. Tesis Licenciatura (Ingeniero Geólogo)-UNAM, Facultad de Ingeniería. [95] p. (Delgado Granados, Hugo, asesor). Clasif. 001-01123-R2-1998
34. Rosas Elguera, José. 1998. Tectónica extensional en el occidente de la Faja Volcánica Trasmexicana: Frontera norte del bloque Jalisco. Tesis Doctorado (Doctorado en Ciencias de la Tierra)-UNAM, Colegio de Ciencias y Humanidades, Unidad Académica de los Ciclos Profesional y de Posgrado. 110 p. (Urrutia Fucugauchi, Jaime Humberto, asesor). Clasif. 001-03095-R1-1998.
35. Salas García, Oscar. 1995. Estudio de riesgos naturales en la ciudad de Pachuca de Soto, Hgo. : un enfoque geomorfológico. Tesis Licenciatura (Licenciado en Geografía)-UNAM, Facultad de Filosofía y Letras. 110 p. (Zamorano Orozco, José Juan, asesor). Clasif. 001-01026-S2-1995-
36. Salinas Montes, Araceli. 1994. Geomorfología de la Sierra de Guadalupe y riesgos naturales. Tesis Licenciatura (Licenciado en Geografía)-UNAM, Facultad de Filosofía y Letras. 102 p. (Lugo Hubp, José Inocente, Dr., asesor). Clasif. 001-01026-S3-1994-
37. Saucedo Girón, Ricardo. 1997. Reconstrucción de la erupción de 1913 del Volcán de Colima. Tesis Maestría (Maestría en Sismología y Física del Interior de la Tierra)-UNAM, Colegio de Ciencias y Humanidades, Unidad Académica de los Ciclos Profesional y de Posgrado. 185 p. (Komorowski, Jean Christophe, asesor). Clasif. 001-03077-S1-1997
38. Soler Arechalde, Ana María, 1997. Paleomagnetismo y neotectónica de la región Acambay-Morelia, Faja Volcánica Mexicana. Tesis Doctorado (Doctorado en Geofísica (Sismología y Física))-UNAM, Colegio de Ciencias y Humanidades, Unidad Académica de los Ciclos Profesional y de Posgrado. 178 p. (Urrutia Fucugauchi, Jaime Humberto, asesor). 001-03092-S1-1997.
39. Soler Arechalde, Ana María. 1990. Paleomagnetismo de la región de Acambay, Faja Volcánica Trasmexicana. Tesis Maestría (Maestría en Sismología y Física del Interior de la Tierra) UNAM, Colegio de Ciencias y Humanidades, Unidad Académica de los Ciclos Profesional y de Posgrado. 110 p. (Urrutia Fucugauchi, Jaime Humberto, asesor). 001-03077-S1-1990-.
40. Tapia Varela, Guadalupe. 1999. Geomorfología morfogenética de la vertiente tributaria oriental del ex-lago de Texcoco. Tesis Licenciatura (Licenciado en Geografía)-UNAM, Facultad de Filosofía y Letras. 211, 4 p. (López Blanco, Jorge, asesor), Clasif. 001-01026-T3-1999.
41. Toscana Aparicio, Alejandra 1998 Análisis geomorfológico detallado del Volcán Ajusco y zonas adyacentes Tesis Licenciatura (Licenciado en Geografía)-UNAM, Facultad de Filosofía y Letras 97 p (Zamorano Orozco, José Juan, asesor) Clasif 001-01026-T2-1998
42. Vázquez Selem, Lorenzo 1989. Geomorfología glacial y periglacial del Volcán Téyotl. Tesis Maestría (Maestría en Geografía (Evaluación y Conservación de Recursos Naturales)) UNAM, Facultad de Filosofía y Letras. 155 p. (Lugo Hubp, José I., Dr., asesor). Clasif 001-01079-V1-1989.
43. Zermeño Ortiz, Verónica. 1996. Geomorfología dinámica de la cuenca de la Presa Constitución 1917, Querétaro. Tesis Licenciatura (Licenciado en Geografía)-UNAM, Facultad de Filosofía y Letras. VII, 108 p. (Lugo Hubp, José Inocente, Dr.). Clasif. 001-01026-Z1-1996-

Tesis de la FVM con material cartográfico incluido 1980-2002  
(no evaluadas en este estudio)

1. Arce, J. L., 1999. Reinterpretación de la erupción pliniana que dio origen a la Pómez Toluca Superior, volcán Nevado de Toluca. Tesis Maestría (Maestría en Ciencias de la Tierra)-UNAM, Instituto de Geofísica. 99 p.
2. Cervantes de la Cruz, Karina Elizabeth. 2001. La pomez blanca intermedia: depósito producido por una erupción pliniana-subpliniana del volcán Nevado de Toluca hace 12,100 años. Tesis Maestría (Maestría en Ciencias de la Tierra)-UNAM, Instituto de Geofísica. 84 p. (Macías Vazquez, Jose Luis, asesor). Clasif. 001-03060-C2-2001-1.
3. Díaz Molina, Oscar. 2000. Determinación de zonas de riesgo geológico-ambiental en la Cuenca de México mediante sensores remotos y radar de penetración somera. Tesis Licenciatura (Ingeniero Geofísico)-UNAM, Facultad de Ingeniería. 111 p. (Chávez Segura, René E. y Cabral Cano, Enrique, asesores).
4. Díaz Pérez, Gloria Susana. 2001. Cartografía morfogenética de la cuenca de Toluca a escala 1:100,000, Tesis Licenciatura (Licenciado en Geografía)-UNAM, Facultad de Filosofía y Letras, 147 p. (Lopez Blanco, Jorge, asesor). Clasif. 001-01026-D5-2001
5. Espinosa Rodríguez, Luis Miguel. 2001. Geomorfología del noreste del Nevado de Toluca, México. Tesis Maestría (Maestría en Geografía (Evaluación de Recursos Naturales))-UNAM, Facultad de Filosofía y Letras. 159 p. (Ortiz Pérez, Mario Arturo, asesor). Clasif. 001-01059-E1-2001
6. García Palomo, A., 1998. Evolución estructural en las in mediaciones del Volcán Nevadode Toluca, Edo. de México. Tesis Maestría (Maestría en Ciencias de la Tierra)-UNAM, Instituto de Geofísica, 150 p.
7. Gómez Arizmendi, Alberto. 1998. Análisis geomorfológico del Volcán Popocatepetl escala 1:20000. Tesis Licenciatura (Licenciado en Geografía)-UNAM, Facultad de Filosofía y Letras. 171 p. (Zamorano Orozco, José Juan, asesor). Clasif. 001-01026-G2-1998.
8. Gómez Tuena, Arturo. 1999. Evolución geológica del volcán cerro grande, sector oriental de la faja volcánica Trasmexicana. Tesis Maestría (Maestría en Ciencias (Geología))-UNAM, Facultad de Ciencias. 88 p. Clasif. 001-00364-G1-1999
9. Guillen Guerrero, Miguel Ángel. 1996. Geomorfología de la vertiente occidental del volcán Iztaccíhuatl. Tesis Licenciatura (Licenciado en Geografía)-UNAM, Facultad de Filosofía y Letras. [4], 180 p. (Zamorano Orozco, José Juan, asesor). Clasif. 001-01026-G2-1996.
10. Julio Miranda, Patricia. 1998. Análisis morfométrico de dos campos volcánicos monogenéticos. Tesis Licenciatura (Licenciado en Geografía)-UNAM, Facultad de Filosofía y Letras 77 p. (Delgado Granados, Hugo, asesor). Clasif. 001-01026-J1-1998.
11. Legorreta Paulín, Gabriel. 1999. Procesos geomorfológicos en el volcán Parícutín. Tesis Maestría (Maestría en Geografía)-UNAM, Facultad de Filosofía y Letras. 195 p. (Lugo Hubp, José Inocente, asesor) Clasif. 001-01060-L1-1999.
12. Pérez Vega, Blanca Azucena. 1992. Estudio geomorfológico de la Sierra de Santa Catarina, D.F. Tesis Licenciatura (Licenciado en Geografía)-UNAM, Facultad de Filosofía y Letras. 74 p. (Lugo Hubp, José, Dr., asesor). Clasif. 001-01026-P2-1992-3
13. Ramírez-Herrera, María Teresa. 1990. Análisis morfoestructural de la Faja Volcánica Trasmexicana (centro-oriente). Tesis Maestría (Maestría en Geografía (Evaluación y Conservación de Recursos Naturales)) UNAM, Facultad de Filosofía y Letras. 86 p. (Ortiz Pérez, Mario Arturo, asesor). Clasif. 001-01059-R1-1990.
14. Rodríguez Hernández, Ramón. 1999. Cartografía morfogenética jerárquica a tres escalas del área del microbloque El Colorado Chamela, Jalisco. Tesis Licenciatura (Licenciado en Geografía)-UNAM, Facultad de Filosofía y Letras. 136 p. (López Blanco, Jorge, asesor) Clasif. 001-01026-R2-1999.
15. Romero Teran, Esther. 2001. Geología del Complejo Volcánico San Miguel, al sur poniente de la Cuenca de México. Tesis Maestría (Maestría en Ciencias de la Tierra)-UNAM, Instituto de Geofísica. 60 p. (Delgado Granados, Hugo, asesor)
16. Torres Rodríguez, Vicente. 1989. Carta de recursos energéticos de México: geotermia. Tesis Maestría (Maestría en Exploración de Recursos Energéticos del Subsuelo) UNAM, Facultad de Ingeniería 110 p. (González Partida, Eduardo, asesor) Clasif. 001-01179-T1-1989.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## ANEXO 2.2

Producción cartográfica del Instituto de Geofísica			
Autor	Año	Título del Mapa	Fuente / Referencia
Kostoglodov, V. y J. F. Pacheco	1999	Cien Años de Sismicidad en México	Inst. de Geofísica, UNAM
Martín-Del Pozzo, Ana Lillian	1995	Mapa de peligros Volcán de Colima	Inst. de Geofísica, UNAM
Macías Vázquez, José Luis et al.	1995	Mapa de peligros del volcán Popocatepetl	Inst. de Geofísica, UNAM
De la Fuente-Duch, M., Manuel Mena J. y Carlos L. V. Aiken	1994	Cartas Gravimétricas de la Rep. Mex. Anomalía de Bouger	Inst. de Geofísica, UNAM
De la Fuente-Duch, M., Manuel Mena J. y Carlos L. V. Aiken	1994	Cartas Gravimétricas de la Rep. Mex. Anomalía al Aire Libre	Inst. de Geofísica, UNAM
De la Fuente-Duch, M., Manuel Mena J. y Carlos L. V. Aiken	1994	Cartas Gravimétricas de la Rep. Mex. Anomalía residual isostática	Inst. de Geofísica, UNAM
Cañón C., Hernández E., Nolasco H. Orozco A.		Carta Magnética de Fuerza total (F) para la Rep Mex Época 1990.0	
Cañón C., Hernández E., Nolasco H. Orozco A.		Carta Magnética de Declinación (D) para la Rep Mex Época 1990.0	
Cañón C., Hernández E., Nolasco H. Orozco A.		Carta Magnética de Componente Horizontal (H) para la Rep Mex Época 1990.0	
Campos Enríquez, J.J., J.O. Campos Enríquez y Urrutia Fucugauchi	1991	Carta de la Inclinación magnética en: Variación secular reciente y cartas de los elementos del campo geomagnético en México.	Geof. Internal. Vol. 30, Num. 2
Campos Enríquez, J.J., J.O. Campos Enríquez y Urrutia Fucugauchi	1991	Carta de declinación magnética en: Variación secular reciente y cartas de los elementos del campo geomagnético en México.	Geof. Internal. Vol. 30, Num. 2
Campos Enríquez, J.J., J.O. Campos Enríquez y Urrutia Fucugauchi	1991	Carta del campo magnético total en: Variación secular reciente y cartas de los elementos del campo geomagnético en México.	Geof. Internal. Vol. 30, Num. 2
Campos Enríquez, J.J., J.O. Campos Enríquez y Urrutia Fucugauchi	1991	Carta de la variación anual de la declinación magnética en: Variación secular reciente y cartas de los elementos del campo geomagnético en México.	Geof. Internal. Vol. 30, Num. 2
Campos Enríquez, J.J., J.O. Campos Enríquez y Urrutia Fucugauchi	1991	Carta de la variación anual de la inclinación magnética en: Variación secular reciente y cartas de los elementos del campo geomagnético en México.	Geof. Internal. Vol. 30, Num. 2
Padilla, Ricardo J. et al.	1988	Carta Tectónica de México (2 hojas)	Inst. de Geofísica, UNAM

Producción cartográfica del Instituto de Geología			
Autor	Año	Título del Mapa	Fuente / Referencia
Silva-Mora, Luis.	1995	Hoja Morelia 14Q-g(2)	Carta Geol. de Mex. 1:100000
López-Ramos, E. (comp.)	1995	Carta Geológica de los Edos. de Jal. y Aguas Calientes	Cartas Geológicas Estatales
Carrasco-Núñez, G. y Masao Ban	1994	Geologic map and structures sections of Citlaltépetl volcano summit area	Cartas Geológicas y Mineras
Rodríguez-Elizarrás, S., Jean-Christophe Komorowski, Víctor Jiménez y Claus Siebe	1993	Libro guía de la excursión geológica al volcán Parícutín	Public. Especiales
Ortega-Gutiérrez, F. et al.	1992	Carta Geológica de la Rep. Mex., Esc. 1:2000000 5a Ed.	UNAM, Inst. Geol y SEMIP CRM
Martínez-Reyes, J.	1992	Mapa geológico de la Sierra de Gto., Esc. 1:100000	Cartas Geológicas y Mineras
Silva-Mora, Luis.	1991	Caldera de Huichapan o del Astillero, excursión Geol.	Inst. Geol. UNAM; Inst. Inv. Cien Tierra, Univ. de Hgo.
Córdoba, Diego A.	1991	Plano de curiosidades Geol. del Edo. de Hgo. Esc. 1:400000	Inst. Geol. UNAM; Inst. Inv. Cien Tierra, Univ. de Hgo.
Córdoba, Diego A. et al.	1991	Bibliografía Geol. Preliminar del Edo. de Hgo.	Inst. Geol. UNAM; Inst. Inv. Cien Tierra, Univ. de Hgo.
Luhr, J. F. y Lan S. E. Carmichael	1990	Geology of Volcan de Colima, states of California and Jalisco	Boletín del Inst. de Geología
Suter, Max. (Ed)	1990	Hoja Tamazunchale 14Q-e(5)	Carta Geol. de Mex. 1:100000
Ledezma-Guerrero, Odilón (1987)	1986	Hoja Calpulalpan 14Q-g(9)	Carta Geol. de Mex. 1:100000
De Cserna, Zoltán (1983)	1982	Hoja Tejupilco 14Q-g(9)	Carta Geol. de Mex. 1:100000
De Cserna, Zoltán y Carl Fries	1981	Hoja Taxco 14Q-h(7)	Carta Geol. de Mex. 1:100000
Schlaepfer, Carmen P.	1968	Hoja México 14Q-h(5)	Carta Geol. de Mex. 1:100000
Fries, Carl	1966	Hoja Cuernavaca 14Q-h (8)	Carta Geol. de Mex. 1:100000
Fries, Carl	1962	Hoja Pachuca 14Q-e(11)	Carta Geol. de Mex. 1:100000

Producción cartográfica del Instituto de Geografía (Selección de cartas del Atlas Nacional de México)	
Clave	Nombre
I.1.1	Hipsometría y Batimetría
IV.1.1	Geología
IV.2.1	Tectónica
IV.3.1	Morfometría 1
IV.3.2	Morfometría 2
IV.3.3	Geomorfología 1
IV.3.4	Geomorfología 2
IV.6.1	Hidrogeografía e Hidrometría
IV.6.3	Hidrogeología
V.2.9	Zonas Susceptibles a Desastres por Fenómenos Naturales
VI.8.1	Yacimientos Minerales
VI.8.3	Producción Minera

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



### ANEXO 2.3 SÍNTESIS DE LA FAJA VOLCÁNICA MEXICANA

La FVM constituye un gran arco volcánico complejo en partes discontinuas. Se localiza en la margen suroccidental de la Placa de Norteamérica, atraviesa México por su parte central en dirección oeste a este, del océano Pacífico al Atlántico, desde Nayarit hasta Veracruz (~950 km de longitud). Comprende sin embargo numerosos ramales como el Graben de Colima. Está constituida por aparatos volcánicos que se cree se formaron a partir del Mioceno tardío-Plioceno, continuando su actividad hasta el reciente (Ferrari, 2000; Wallace y Carmichael, 1999).

En la década de los setenta se iniciaron los estudios de la FVM en forma puntual. En esa época Mooser (1972) propuso el primer modelo estructural de la misma, después Demant (1978) realizó una importante síntesis regional. Los primeros modelos relacionados con la tectónica de la porción occidental de la FVM fueron publicados en la década de los ochenta, contando también con la participación de trabajos vulcanológicos y geoquímicos. Los conocimientos acumulados hasta entonces sobre dicha región fueron recopilados por Verma (1987). Recientemente, Ferrari (2000) presentó una síntesis de las principales publicaciones en la última década, donde incluyó los problemas por resolver en el conocimiento de la FVM. De acuerdo con este autor "falta todavía cartografía geológica y estratigráfica sistemática que abarque toda la FVM y que permita la estimación de las tasas de efusión volcánica por áreas en el tiempo, -así como- de las tasas de deformación de los diferentes sistemas de fallas" (Ferrari, 2000).

La FVM se ha considerado principalmente como el resultado de la subducción de las Placas Rivera y Cocos debajo de la Placa Norteamericana, a lo largo de la Trinchera Mesoamericana (Pardo y Suarez, 1995). Sin embargo, algunos autores han propuesto que la FVM está relacionada a una zona de fractura cortical, o a una mega-cizalla (*Mega-shear*) (Cebull y Shubert, 1987). Recientemente Márquez *et al.* (1999) propusieron la coexistencia de una pluma del manto y la subducción de las Placas de Cocos y Rivera como mecanismos para explicar los diversos rasgos geoquímicos de la FVM. Sheth *et al.* (2000) han apoyado esta última hipótesis y han agregado que la FVM representa una estructura similar a un *rift* con una extensión activa.

Hasta hace pocos años se creía que la placa de Cocos subducía bajo la parte Central de México en un ángulo de inclinación constante de 12°-15°, configuración geométrica que dificultaba el entendimiento del porqué la FVM no se mantiene paralela a la trinchera. Sin embargo, interpretaciones recientes de datos sísmicos han mostrado que el *slab* de la subducción de Cocos es subhorizontal bajo el centro-sur de México (Suárez *et al.*, 1990; Singh y Pardo, 1993; Pardo y Suárez, 1995), similar a las regiones observadas en el centro de Perú y en Chile. Por lo tanto, en el centro de México las isóneas inferidas de profundidades 80-100 km del *slab* de subducción yacen por abajo del frente volcánico del arco.

La FVM se sobrepone a importantes unidades estructurales del sur de Norteamérica, la Sierra Madre Occidental, la Sierra Madre Oriental y la Sierra Madre del Sur, siendo la primera la más joven. La FVM está constituida por afloramientos de rocas predominantemente andesíticas, con cantidades subordinadas de términos ácidos y básicos; el vulcanismo que les ha dado origen ha ocurrido tanto por fisuras como por aparatos centrales generalmente compuestos y alineados regionalmente en dirección E-W. Existen, por otra parte, algunas calderas tanto de colapso como de explosión. Finalmente, esos productos han formado diversas sierras y cadenas montañosas con sus respectivos valles intermontanos (Ramírez, 1990).

La composición petrográfica de las rocas de la FVM es muy variable. Como se indicó ya son abundantes los derrames y productos piroclásticos de composición andesítica, aunque existen numerosas unidades dacíticas y aún riodacíticas, así como basálticas. Existen además, manifestaciones locales aisladas de vulcanismo riolítico moderno (Caldera de la Primavera, Los Azufres y Laguna del Carmen). En general, la FVM es considerada como una provincia calciocalina con algunos sectores de productos alcalinos, caracterizada por su abundancia de andesitas y dacitas (Aguilar-Vargas y Verma, 1987).

Las mediciones de flujo térmico sugieren para la FVM, la presencia de una zona plástica en la corteza con temperaturas de 300°C a 1000°C desde profundidades de 10 km hasta su base (~45 km); arriba de dicha zona la corteza es rígida, con temperatura inferior a 300°C, y de 7 a 10 km de espesor (Ziagos *et al.*, 1985).

Las estimaciones del espesor cortical basadas en la interpretación de datos de gravedad indican profundidades de hasta 50 km en el Campo Volcánico Chichináutzin (CVC), que decrecen hasta 30 km hacia el oeste. Esta variación sistemática en el espesor cortical a lo largo de la FVM en combinación con la abundancia de tipos de magma primitivo hace de ella una región de gran interés para la investigación de las relaciones entre la composición del magma y el espesor cortical. Sin embargo, la geometría compleja de la zona de subducción a lo largo de la FVM complica las interpretaciones de las variaciones espaciales en la composición del magma (Wallace y Carmichael, 1999).

La cartografía geológica de la FVM se puede estudiar en forma integrada a la de todo el país en dos escalas. La más pequeña es 1:4,000,000 en el Atlas Nacional de México (hojas IV.1.1 y IV.2.1). La más grande es 1:2,000,000 en la Carta Geológica de la República Mexicana (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 1992), así como en la Carta Tectónica de México (Padilla y Sánchez *et al.*, 1994).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

La geología de la parte central y occidental de la FVM a escala regional se ha sintetizado en diferentes trabajos cartográficos: Ferrari *et al.* (1999), Rosas-Elguera *et al.* (1997) y Pasquarè *et al.* (1991); dichos estudios han contribuido en el establecimiento de los límites entre la placa Norteamérica y los bloques Jalisco y Michoacán. También han servido para demostrar que "el volcanismo Terciario de la Sierra Madre Occidental no afecta a la zona que ocupa el bloque Jalisco pero sí a la zona de Michoacán" (Ferrari, 2000).

De acuerdo a Ferrari (2000) en los últimos años la cartografía geológica asistida por una gran cantidad de nuevas edades isotópicas, ha llegado a esclarecer la evolución espacio-temporal del volcanismo en el centro de México. En la parte central de la Faja Volcánica Mexicana se han realizado estudios geológicos y geocronométricos relacionados con calderas y complejos dómicos del Plioceno, entre los cuales se pueden mencionar Amealco, Huichapan, Los Agustinos, etc. (Aguirre-Díaz, 1997, Aguirre-Díaz *et al.*, 1997). Otras investigaciones similares pero de complejos caldéricos con una historia más larga iniciada posiblemente en el Mioceno con reactivaciones en el Cuaternario son Los Azufres (Campos-Enríquez y Garduño Monroy, 1995; Pradal y Robin, 1994 y Ferrari *et al.*, 1991) y Zitácuaro (Capra *et al.*, 1997).

También se han publicado mapas geológicos de volcanes a diferentes escalas de representación cartográfica, entre los cuales se pueden mencionar: Nevado de Toluca (Macías *et al.*, 1997), Colima (Rodríguez-Elizarrás, 1995), Pico de Orizaba (Carrasco-Núñez y Ban, 1994), Las Navajas (Nelson y Hegre, 1990) e Iztaccíhuatl (Nixon, 1989).

ANEXO 3.1 A Formatos Raster\*

Tipo	Extensión	Nombre/Significado	Soporte de imágenes	Archivo ASCII Asociado (Extensión)	Registro geográfico	Especificaciones y comentarios
Flat Binary Files	BIL	Band Interleaved by Line	M1 en BN; G1, P1	✓ (HDR)	✓	Se utiliza en los programas de PR con funciones más avanzadas. Cada programa tiene su propio encabezado.
Flat Binary Files	BSQ	Band Sequential	Mn o M1 en BN; G1, P1	✓ (HDR)	✓	
Flat Binary Files	BIP	Band Interleaved by Pixel	M1 en BN; G1, P1	✓ (HDR)	✓	
Programas de PR y SIG Raster	LAN y GIS	Erdas 7.x	M1 en BN; G1, P1	✓	✓	Los archivos GIS 4 bits no son soportados en ArcInfo por lo tanto se recomienda su conversión previa a 8 bits.
Programas de PR y SIG Raster	IMG	Imágenes de Erdas 8.x	M1 en BN; G1, P1	✓	✓	ArcView no soporta archivos IMG reales o signados, pero utiliza los estadísticos contenidos para aplicar ajuste lineal automático en el despliegue.
Programas de PR y SIG Raster	Ninguna o BIL	Imágenes de ErMapper	M1 en BN; G1, G2, G3, P1	✓ (ERS)	✓ (ERS)	El archivo ERS contiene el encabezado, estadísticos y metadatos tanto de imágenes reales como virtuales, está asociado a un archivo tipo 'Bills' del mismo nombre, con o sin extensión; en el primer caso para compatibilidad con el formato ESRIBIL.
Programas de PR y SIG Raster	ALG	Algoritmos de ErMapper	Aplica algoritmos a todo tipo de imágenes BIL; M1 en BN; G1, G2, G3, P1	✓ (ERS de cada imagen)	✓ (ERS por cada imagen usada)	Los archivos muy pequeños y deben ser consistentes con las rutas de almacenamiento de los datos reales. Ejecutan diversas funciones en tiempo real. Pueden ser muy lentos en el despliegue. El soporte para este formato se encuentra en <a href="http://www.ermapper.com">www.ermapper.com</a> y a través de plugins gratuitos permite ver los algoritmos en ArcView, AutoCAD Map, MS Office, entre otros.
Programas de PR y SIG Raster	IMG y RST	IDRISI	Mn; BN; G1, G2, G3 ASCII; Binario o Binario Comprimido (non-length encoding)	✓ (DOC)	✓ (DOC)	La mayoría de las funciones raster en IDRISI requieren datos exclusivamente en formato binario.
Programas de PR y SIG Raster	BIL	ESRIBIL; ArcInfo y ArcView o GeoSPot	Binario entero BIL; Mn o M1 G1	✓ (HDR)	✓ (HDR)	No soporta reales. Es utilizado por ArcInfo y ArcView, requiero al archivo HDR para el registro preciso de la imagen.
Programas de PR y SIG Raster	GRID	ESRI GRID	Arreglos de enteros o reales; Imágenes G2, G3 o P1	✓ (Tabla de Color, colormap (CLR))	✓	Se usa para representar fenómenos geográficos que varían continuamente sobre el espacio. Adecuados para ejecutar modelación, espacial, análisis de flujos, tendencias y superficies. Se pueden generar por interpolación.
Genéricos con registro geográfico	GEOTIFF (TIF, TIFF)	Tag Image File Format con registro geográfico GeoTiff 1.0	BN; G1, P1 y C; Sin y con compresión (ACCT, 3CCITT, 1-D, LZM)	✓	✓	Los códigos del registro son: ModelTiePortTag, ModelTieScaleTag, ModelTransformationTag. Es un formato muy práctico para intercambio de información espacial raster. Existe un programa gratuito que permite examinar archivos TIF y world (TFW) para después generar un GeoTiff se encuentra en el sitio web <a href="http://www.metosoftvalinc.com">www.metosoftvalinc.com</a> .
Genéricos	TIFF (TIF, TIFF)	Tag Image File Format	BN; G1, P1 y C; Sin y con compresión (ACCT, 3CCITT, 1-D, LZM)	✓	✓	El formato TIFF 8.0 no es soportado en varios programas así como la compresión LZM por estar patentada. El registro geográfico se puede hacer con archivos WORLD (sección 3.3.14).
Genéricos de compresión	ECW	Enhanced Compressed Wavelet de ErMapper e Image Web Server	Basado en wavelet soporta G1, P1 y C	✓ (Opcional (ERS))	✓ (Completo via ERS)	Cuenta con tasas de alta compresión, especialmente para grandes imágenes de color rotundo y acceso rápido en cualquier escala. Recomendado para distribuir imágenes registradas geográficamente a través del web. El soporte para este formato se encuentra en <a href="http://www.ermapper.com">www.ermapper.com</a> y permite ver las imágenes comprimidas en diferentes programas como Internet Explorer, ArcView y Photoshop. Para ver este formato en cualquier plataforma también se puede utilizar el propio XNView ( <a href="http://www.xnview.com">http://www.xnview.com</a> )

\*Explicación en el Anexo 3.1 B.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**ANEXO 3.1 B Formatos Raster y Multi-Objetivo**

Tipo	Extensión	Nombre/Significado	Soporte de imágenes	Archivo ASCII Asociado	Registro geográfico	Especificaciones y comentarios
Genéricos de compresión	SID	MtSID: MultiResolution	Basado en wavelet, soporta G, I, Ps y C.	X	✓	Permite tasas de alta compresión y acceso rápido a gran cantidad de datos. El soporte para este formato se encuentra en <a href="http://www.irzandirect.com">http://www.irzandirect.com</a>
Genéricos de compresión	JPG / JFIF	Técnica de compresión JPEG	G <sub>1</sub> y C. Compresión hasta 50:1	X	X	Recompresión parcial donde algunos datos se pierden. No es recomendado para almacenar imágenes de sensores remotos. Es muy usado con baja compresión en la distribución de productos cartográficos, finalés. Via WEB. El registro geográfico se puede hacer con archivos WORLD (sección 3.3.1.4)
Genéricos de compresión	PNG	Portable Network Graphics	G <sub>2</sub> y hasta 48-bits en C: real; restaurar y re-almacenar una imagen, no degradará su calidad como en el formato JPEG.	X	X	Tiene 3 ventajas sobre el formato GIF para el WEB: transparencia, variable control sobre el brillo de la imagen y despliegue progresivo. PNG conserva mejor que GIF con diferencias entre 5% a 25%. En la edición de imágenes PCN (reproducción un formato práctico para almacenar etapas intermedias. Se recomienda para distribución cartográfica a través de aplicaciones Web como ArcIMS y ION Java. El registro geográfico se puede hacer con archivos WORLD (sección 3.3.1.4)
MultiObjetivo	HDF	Hierarchical Data Format	Soporta todo tipo de imágenes: MI en B/N, G <sub>1</sub> , G <sub>2</sub> , G <sub>3</sub> , C y Ps; tablas, archivos de texto, etc.	X	✓	Tipo de formato de datos científicos. Es flexible, fácil de extender y garantiza la compatibilidad entre sistemas y otros formatos estándar. El programa NOESYS funciona como editor de formatos HDF. El programa de procesamiento de imágenes ENVI a través de IDL soporta HDF 4.1.3. El soporte completo para este formato se encuentra en <a href="http://hdf.ncsa.uiuc.edu">http://hdf.ncsa.uiuc.edu</a>
MultiObjetivo	HDF-EOS	Hierarchical Data Format - Earth Observing System	Soporta todo tipo de imágenes: MI en B/N, G <sub>1</sub> , G <sub>2</sub> , G <sub>3</sub> , C y Ps; tablas, archivos de texto, etc.	X	✓	HDF-EOS es un producto de la NASA como una extensión del HDF. contiene la funcionalidad para crear, leer y manipular arreglos tipo grid, puntos y otras estructuras. El programa de procesamiento de imágenes ENVI a través de IDL soporta HDF-EOS 2.4. El soporte para este formato se encuentra en <a href="http://hdfEOS.gsfc.nasa.gov">http://hdfEOS.gsfc.nasa.gov</a> . También existe una serie de rutinas de transformación de HDF-EOS a GeoTIFF y ESRI (GRID y SHP puntual) las cuáles están disponibles vía web: <a href="http://hdfEOS.gsfc.nasa.gov/eosgis/eoshome.html">http://hdfEOS.gsfc.nasa.gov/eosgis/eoshome.html</a>

PR = Percepción Remota  
 SIG = Sistema de Información Geográfica  
 Mh = MonoBanda  
 MI = MultiBanda  
 B/N = Imagen en blanco y negro (datos en 1bit)

G<sub>1</sub> = Imagen en Grises (datos hasta 1 byte)  
 G<sub>2</sub> = Imagen en Grises (datos enteros hasta 2 bytes)  
 G<sub>3</sub> = Imagen en Grises (datos reales)  
 Ps = Imagen en PseudoColor con paleta específica  
 C = Imagen a Color usando la técnica RGB

✓ Si cuenta con este archivo o característica  
 X No cuenta con este archivo o característica.

Nota: Para transformar entre la mayoría de los formatos gráficos citados en este anexo se puede utilizar el software libre XnView, el cual está disponible para cualquier plataforma de computo en la siguiente página web: <http://www.xnview.com>

## ANEXO 3.2

Formatos Vector							
Ext	Nombre/ Significado	Elementos gráficos soportados	Tp	Cod	AA	BD	Comentarios de compatibilidad entre programas
DXF DWG	Drawing eXchange File y formato interno de AutoCAD 12	P, L, Pol, G, T	X	ASCII Binario	X	X	La mayoría de los programas SIG pueden leer archivos DXF de AutoCAD 12. A diferencia de los archivos vectoriales SIG, los objetos en archivos DXF comúnmente se sobrepone permaneciendo como elementos distintos sin topología (ver nota en la parte inferior).
DXF DWG	Drawing eXchange File AutoCAD 14, 2000	P, L, Pol, G, T	X	ASCII Binario	X	✓	ArcView 3.2i puede leer archivos de AutoCAD release 14. MapInfo 5.5 puede importar tanto información gráfica como tabular desde archivos DXF.
DXF DWG	Drawing eXchange File AutoCAD Map	P, L, Pol, G, T	✓	ASCII Binario	X	✓✓	AutoCAD Map utiliza formatos DXF y DWG con topología, ya sea con o sin atributos internos. MapInfo 5.5 puede importar tanto información gráfica como tabular desde archivos DXF.
SHP	Shape de ArcView (ESRI)	P, L, Pol	X	Binario	SHX, SBN, SBX	✓ (DBF)	Este formato almacena exclusivamente la geometría de los rasgos geográficos. Los archivos SHX registran el índice de la geometría. Los archivos SBN y SBX almacenan el índice espacial de los rasgos. Los archivos DBF son tablas de atributos en formato dBASE.
VCT	Vectores de IDRISI	P, L, Pol, T	✓	Binario	VDC	✓	Este formato no se recomienda para el intercambio de datos, porque es específico de IDRISI.
MIF	MapInfo Interchange Format	P, L, Pol, R, T	✓	ASCII	X	✓ (MID)	Estos archivos son recomendados para el intercambio de datos, ya que contiene toda la información gráfica con topología y bases de datos de un proyecto. Se pueden transformar con diversos programas de SIG. Además, se pueden crear también en cualquier editor de texto. Los archivos MID son de intercambio para los atributos.
LIN	Versión ASCII de las coberturas de ARC/INFO (UNGEN)	P, L, Pol, R, T	X	ASCII	X	X	En este formato se debe verificar que no se pierda la relación de atributos digitalizada. En los archivos UNGENERATE se debe indicar cada rasgo espacial con un identificador propio. Los atributos para este formato se pueden agregar en otro archivo ASCII independiente, como en los archivos DXF de AutoCAD 12 (ver nota en la parte inferior).
E00	Intercambio de ARC/INFO (ESRI)	P, L, Pol, R, T	✓	Binario	E00 E99	✓	Sin compresión este formato es recomendado para el intercambio de datos, ya que contiene toda la información gráfica con topología y bases de datos de un proyecto. La mayoría de los sistemas SIG pueden importarlo. El archivo generado (E00) puede consistir físicamente de más de un archivo derivado con el comando EXPORT. Cada archivo E00-99 pertenecerá a una secuencia ordenada de intercambio.

Ext	Extensión del archivo	Tp	Topología	Cod	Código
AA	Archivos Asociados	BD	Bases de Datos	X	No cuenta con esta característica o archivo
P	Punto	G	Cuerpos Geométricos: elipses, círculos	✓	Cuenta con esta característica o archivo
L	Línea	T	Texto	✓✓	Cuenta con esta característica en forma interna (en el archivo gráfico) y externa (en bases de datos)
Pol	Polígono	R	Región de polígonos con una sola etiqueta		

**Nota:** Es importante aclarar que los archivos con cartografía en formato DXF (de AutoCAD *release* 12 o anterior) deben almacenar cada tipo de elementos del dibujo (puntos, líneas, polígonos) en las capas correspondientes (donde cada capa será el identificador propio para cada elemento). Para polígonos, cada uno de ellos deberá tener un punto cuya capa sea igual al identificador del polígono, y además se deben agregar los atributos en otro archivo ASCII separado por comas. La primer columna del mismo indicará el identificador del rasgo y las demás columnas los atributos correspondientes. Se debe anexar el diccionario de datos incluyendo el tipo de datos (entero, real, carácter), así como el ancho máximo permitido.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## ANEXO 3.3

Funciones de los puntos de registro (*Tics*)

Los puntos de registro tienen un valor cartográfico muy alto y deben ser digitalizados con precisión extrema, ya que representan la base de la estructura de datos espaciales. Algunas de las funciones de los *tics* se mencionan a continuación:

1. Registrar el mapa con respecto a la superficie de la tableta digitalizadora. Si el proceso de digitalización se realiza en varias sesiones, los *tics* permiten al programa transformar las nuevas coordenadas al espacio establecido en el archivo desde la primer sesión.
2. Relacionar mapas adyacentes. Cuando la selección de *tics* es apropiada, se pueden utilizar por funciones de transformación y unión para integrar 2 o más archivos adyacentes en una sola cobertura, aún si se almacenaron con un sistema de coordenadas arbitrario o en proyecciones diferentes.
3. Registrar fotos aéreas o mapas a escala no estándar con respecto a una base. En esta aplicación, los *tics* internos al mapa, se deben localizar en puntos fácilmente identificables (como la intersección de carreteras). Las funciones de transformación de coordenadas pueden ligar las coordenadas nuevas a las coberturas existentes. Esta aplicación resulta muy delicada con fotos aéreas sin rectificación debido a la diversidad de factores que pueden impactar la exactitud.
4. Transformar desde un sistema de coordenadas a otro. Se ejecuta esta función cuando se cuenta con los archivos de los puntos de registro en el sistema de coordenadas original y se desea realizar la transformación a otro. Esta operación es muy útil para convertir datos digitalizados en pulgadas de la tableta al sistema de coordenadas del mapa fuente.
5. Generar coordenadas específicas a un mapa en las unidades originales. En esta operación, se utilizan las coordenadas geográficas presentes en las esquinas de los mapas (como en las cartas del INEGI) para determinar las coordenadas específicas de la proyección original. Los resultados servirán como valores de entrada para registros posteriores.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## ANEXO 3.4

### Recomendaciones para la digitalización

#### Puntos

Cuando los puntos se integrarán a determinado proyecto a través de la tableta digitalizadora, se deberá utilizar preferiblemente la proyección específica del mapa (sección 3.1.1.1).

Alternativamente, los rasgos puntuales se pueden digitalizar capturando las coordenadas desde el teclado o por medio de archivos en ASCII. Cuando se capturen por teclado, se debe utilizar el sistema de coordenadas geográficas, haciendo la anotación en grados decimales con la mayor precisión posible y registrando la longitud con valores negativos. Lo anterior se recomienda porque este sistema es más simple y corresponde al recomendado para implementar las bases de datos digitales. Sin embargo, si algún proyecto lo requiere, también se puede utilizar el sistema de coordenadas UTM especificando la zona y el *datum* (o el sistema de referencia). En este caso también se recomienda realizar después la transformación a coordenadas geográficas para implementar una base de datos consistente.

Para todas las series de rasgos puntuales, cada punto debe tener por lo menos una coordenada en X, una coordenada en Y, así como un código *DD*. Los códigos *DD* pueden ser una cadena de atributos de información numérica, o una clave relacional con una tabla de atributos de puntos.

#### Líneas

Los rasgos lineales por digitalizar deben considerar algunos aspectos relacionados con el ancho de la línea. El ancho máximo deseable es de 0.254 mm (0.01"). Las líneas más anchas pueden causar pérdida sustancial de exactitud, ya sea cuando se copia o cuando se digitaliza.

La unidad básica de digitalización es el segmento de línea. Cada segmento de línea consistirá de 2 nodos (puntos finales), un número variable de vértices entre nodos y un *ID*. Los *IDs* pueden ser tanto cadenas de atributos de información numérica de la línea, o una clave relacional con una tabla de atributos de línea.

A continuación se mencionan algunos conceptos de ARC/INFO relacionados con la digitalización y la generación posterior de topología de líneas:

Cada NODO define el punto final de segmentos o el punto final de un solo DANGLE. Un VERTICE es un punto entre nodos donde las líneas cambian de dirección. Un segmento de línea sin vértices es recto, por definición. Un segmento de línea con un vértice se compone de 2 sub-segmentos rectos. Un caso especial de nodos de líneas



son los PSEUDO-NODOS, los cuales son idénticos a los vértices en su función topológica, excepto en que:

- ✓ Tienen atributos asociados
- ✓ Tienen direccionamiento topológico para aplicaciones de redes
- ✓ Se pueden usar solo para subdividir líneas largas en subunidades transparentes para hacer más eficiente y fácil su manejo
- ✓ Se pueden usar solo en los bordes de mapas para facilitar la unión o extracción

Los rasgos lineales pueden ser topológicos o no. Ejemplos con topología son las redes de drenaje y de carreteras, las cuales mantienen segmentos relacionados para integrar una red lógica. Ejemplos sin topología son las fallas, las cuales mantienen segmentos que pueden estar flotando o entrecruzarse en forma aleatoria. En este último tipo, los segmentos lineales no se tienen que interconectar y las intersecciones no se tienen explícitamente que identificar como nodos.

Los rasgos lineales que se van a digitalizar y tienen topología inherente deben pasar a través de un proceso de verificación para asegurar la consistencia topológica. La capacidad para realizar análisis de redes es una función importante en SIG. La conectividad lineal se requiere para esta operación, así como las verificaciones de la consistencia topológica para asegurar tal conectividad.

### Polígonos

Las unidades básicas de digitalización son los segmentos de línea que forman los bordes de polígonos y los puntos de las etiquetas, con los cuales se asocian los identificadores (*IDs*) del polígono. Cada segmento de línea de un polígono consiste de 2 nodos (puntos finales) y un número variable de vértices. En los casos donde el polígono está definido por una sola línea cerrada, habrá en sí mismo un solo nodo definiendo el rasgo.

A continuación se mencionan algunos conceptos de ARC/INFO relacionados con la digitalización y generación posterior de topología de polígonos:

Un nodo se ubica al inicio o al final del segmento de la línea de un polígono donde se reúnen 3 o más segmentos. Un vértice es un punto entre nodos donde los segmentos de líneas cambian de dirección. Un segmento de una línea sin vértices es recto. Un segmento de una línea con 1 vértice se compone de 2 subsegmentos rectos. Un segmento de una línea con  $N$  vértices se compone de  $N+1$  subsegmentos.

Un punto de etiqueta consiste de la coordenada  $X$ , la coordenada  $Y$ , así como un identificados (*ID*) del polígono. Los puntos de etiquetas deben caer dentro del borde del polígono padre. Solo se permite 1 punto de etiqueta por polígono. El *ID* del polígono puede ser tanto una cadena de atributos de información numérica del polígono, o una clave relacional con una tabla de atributos de polígono.

Conceptualmente, los puntos de etiquetas son similares a los rasgos puntuales, excepto que están ligados a un polígono particular por su localización.

Existe también un caso especial de nodos de segmentos de polígonos, los PSEUDO-NODOS, los cuales son nodos dentro de un segmento de la línea de un polígono. Son idénticos a los vértices en su función topológica, excepto en que:

- ✓ Se pueden usar solo para subdividir segmentos de líneas largas de polígono en sub-segmentos transparentes para facilitar su procesamiento y eficiencia.
- ✓ Se pueden usar solo en los bordes de mapas para facilitar la unión o extracción.
- ✓ Pueden conectar un solo arco a sí mismo.

Los segmentos de línea de polígonos deben de estar ligados juntos en una estructura lógica y todas las áreas comprendidas en los polígonos deben tener puntos de etiquetas. Todos los polígonos digitalizados deben pasar por un proceso de verificación para asegurar la consistencia topológica.

### ANEXO 3.5

#### Proceso genérico de Barrido Óptico Electrónico (BOE)

1. Preparar materiales cartográficos que se encuentren en buen estado.
2. Evitar el uso de materiales cartográficos maltratados tal como en los métodos de digitalización.
3. Determinar la escala del material original y la resolución requerida para la imagen.
4. Evaluar si se requiere precisión fotogramétrica.
5. Establecer el método y la calidad del barrido, ya sea en grises o en color (en este último caso usar preferiblemente 24 bits).
6. Fijar el material ya sea horizontal o verticalmente sin ningún tipo de inclinación.
7. Configurar las opciones de barrido. Considerar que a mayor resolución se incrementa el tiempo de barrido y el tamaño del archivo. Duplicar la resolución incrementará 4 veces el tamaño del archivo.
8. Pre-visualizar la imagen si el dispositivo lo permite.
9. Realizar las selecciones, acercamientos y realces pertinentes (ajustes de histograma).
10. Guardar el archivo de salida en el formato TIFF sin compresión, si es a color transformar al modo de color más adecuado.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## ANEXO 3.6

Procedimiento para el Barrido Óptico Electrónico de fotografías aéreas	
<b>Procedimiento</b>	
1. Seleccionar el material de entrada según el siguiente orden de preferencia (véase Anexo 3.1.1)	
A) Película original / diapositiva en tono continuo	
B) Fotografía impresa en algún tipo de medio	
2. Seleccionar la resolución deseada para la foto en el terreno (tamaño de un píxel en metros) según:	
A) La escala deseada para la foto digital (ver ecuación 3.6.1)	
B) El tamaño más adecuado aplicando el factor máximo de incremento en el barrido (ver ecuación 3.6.2)	
C) Los requerimientos del proyecto	
3. Calcular la resolución de barrido	
Se utilizan ecuaciones para determinar la resolución de barrido a partir de la resolución deseada en el terreno	
Resolución de barrido en dpi	(ver ecuaciones: 3.6.3, 3.6.4 y 3.6.5)
Resolución de barrido en $\mu\text{m}$	(ver ecuación 3.6.6)
4. Redondeo al valor dpi más cercano de los disponibles por el dispositivo de barrido	
5. Ajustar el histograma: lineal, normalizado (gaussiano), igualizado, especial, etc.	
6. Guardar el resultado en formato TIFF sin compresión, si es a color usar 24 bits.	
<b>Ecuaciones</b>	
$R = 0.084E_2/1000$	Ecuación 3.6.1
$R_m = (E_1/4000)/12$	Ecuación 3.6.2
$R_{s1\_dpi} = 25.4/(1000R/1.2E_1)$	Ecuación 3.6.3
$R_{s2\_dpi} = 0.0254E_1(1.2)/R_t$	Ecuación 3.6.4
$R_{s3\_dpi} = 1.2E_1/39.37R$	Ecuación 3.6.5
$R_{\mu\text{m}} = (R_t/E_1)10^6 / 1.2$	Ecuación 3.6.6
<b>Glosario</b>	
R	Resolución deseada para la imagen de la fotografía en metros
0.084	Constante que indica el tamaño de un píxel en milímetros capturado por BOE a 300 dpi
$E_2$	Escala deseada para la imagen de la fotografía, por ejemplo: 1000, 5000, 10000, 20000, etc.
1000	Constante de conversión de milímetros a metros y viceversa
$R_m$	Resolución máxima para la imagen de la fotografía en metros
$E_1$	Escala original de la fotografía aérea
4000	Constante del factor máximo de incremento en el barrido de fotos aéreas para obtener el valor en metros sobre el terreno equivalentes a un milímetro en el mapa
12	Constante que indica el número de píxeles por milímetro a 300 dpi y sirve como valor estándar de exactitud para datos raster capturados por BOE
$R_{s1\_dpi}$	Resolución del proceso de barrido en puntos por pulgada (dpi) usando el método 1.
25.4	Constante que indica el número de milímetros por pulgada
1.2	Constante del factor de barrido indicando que las fotos aéreas se deben de barrer a 1.2 veces
$R_{s2\_dpi}$	Resolución del proceso de barrido en puntos por pulgada (dpi) usando el método 2.
0.0254	Factor de conversión de pulgadas a metros
$R_t$	Resolución deseada para la imagen en el terreno en metros, puede ser igual a $R_m$ o R, o incluso establecida por el usuario.
$R_{s3\_dpi}$	Resolución del proceso de barrido en puntos por pulgada (dpi) usando el método 3.
39.37	Factor para convertir metros a pulgadas
$R_{\mu\text{m}}$	Resolución del proceso de barrido en micrómetros ( $\mu\text{m}$ )
$10^6$	Factor de conversión de metros a micrómetros ( $\mu\text{m}$ )

## ANEXO 3.7

## Etapas de la Vectorización

(Robinson et al., 1995; Clarke, 1995; Decelis-Burguete, 2001)

1. Generación de una imagen binaria. Verificación de la calidad del archivo raster, el cual debe ser de un material cartográfico original, o impreso sin la técnica de medios tonos. Primero se deben de resaltar los rasgos presentes en la imagen. Después se debe de seleccionar un rasgo lineal por vectorizar, dicha selección puede ser por color (también se pueden incorporar colores similares), comprende la clasificación y segmentación de la imagen. El rasgo elegido se debe de convertir a una imagen binaria. Esta última se debe de procesar para mejorar su calidad y liberarla de ruidos.
2. Adelgazamiento o *skeletonization*, en el cual se deben de adelgazar los rasgos espaciales en la cobertura. Normalmente los rasgos geográficos capturados con alta resolución (>300 dpi) presentan alteraciones en los colores y anchos de línea de varios píxeles, lo cual implica adelgazarlos en líneas centrales de solo un pixel de ancho. Por lo general, esta actividad requiere de la asistencia del operador para obtener resultados satisfactorios, especialmente en coberturas donde la configuración de los rasgos es complicada o presenta algún tipo de ruido. Se debe definir el número de píxeles que en promedio integran el ancho de una línea (entre más pequeño sea, más detalles se tendrán, pero también se incorporarán más errores tipo *overshoots* o *dangles*). Cuando el reconocimiento de rasgos lineales es semiautomático, es decir con participación del operador, su principal tarea será determinar la dirección del trazo en intersecciones de mayor complejidad.
3. Reconstrucción y Extracción de líneas. Los píxeles que comprenden las líneas centrales se convierten por el programa de vectorización en series de pares de coordenadas x,y. Incluye determinar donde inicia y finaliza una línea, de tal forma que se puedan re-escribir como vectores conectando los puntos en la secuencia correcta. Los puntos serán generados en el centro de los píxeles de la línea.
4. En el siguiente paso se genera la cobertura vectorial con todas las entidades geométricas definidas y se guarda en un formato de intercambio con o sin atributos, según el sistema utilizado. Finalmente se realiza la limpieza de los rasgos vectorizados y se construye la topología de manera similar al proceso de digitalización con tableta. El archivo final se puede exportar como Arc/Info Interchange (E00).

## ANEXO 3.8

## Archivos world

Convenciones para la nomenclatura de archivos world

Es fácil identificar los archivos *world* que acompañan a un archivo de imagen, tienen el mismo nombre de la imagen, con una w agregada en la extensión. Para archivos que se encuentran en la nomenclatura convencional (DOS) de 8 caracteres para el nombre y 3 para la extensión, el primer y tercer carácter del nombre de la extensión se mantienen como sufijo y se agrega la "w" al final. Para imágenes que carecen de extensión, el archivo *world* agregará solamente la "w" sin modificar el nombre.

Acceso a la información de la georreferencia

En programas como ArcView la transformación de coordenadas de la imagen a coordenadas reales se realiza cada vez que una imagen se despliega (por ejemplo cuando se ejecuta una opción de *zoom* o *pan*). La transformación se calcula por alguno de los siguientes medios según prioridad: archivo *world*, archivo encabezado, información de columnas y renglones de la imagen (la transformación es idéntica)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Debido a que el archivo *world* tiene la mayor prioridad se puede sustituir la información del archivo encabezado creando un archivo *world*, tal sería el caso de imágenes GeoSPOT.

#### Contenido de un archivo *world*

Presenta 6 líneas, por ejemplo:

```
20.17541308822119
0.000000000000000
0.000000000000000
-20.17541308822119
424178.11472601280548
2913415.90726399607956
```

Cuando este archivo está presente, el programa de SIG realizará la transformación pertinente, la cual es una transformación *affine* con 6 parámetros en la forma de:

$$x1 = Ax + By + C$$

Ecuación 3.8.1

$$y1 = Dx + Ey + F$$

Ecuación 3.8.2

donde:

- x1 coordenada calculada para X del píxel en el mapa
- y1 coordenada calculada para Y del píxel en el mapa
- x Número de columna de un píxel en la imagen
- y Número de renglón de un píxel en la imagen
- A Escala en x; dimensión de un píxel en unidades del mapa en la dirección X
- B, D Términos de rotación
- C, F Términos de translación; coordenadas del mapas x,y del centro del píxel superior izquierdo
- E Negativo de escala en Y; dimensión de un píxel en unidades del mapa en dirección Y.

La escala en Y (E) es negativa porque las coordenadas de origen de una imagen en un sistema de coordenadas geográficas son diferentes. El origen de una imagen se localiza en la esquina superior izquierda, mientras que el origen del sistema de coordenadas de un mapa se localiza en la esquina inferior izquierda. Los renglones de la imagen incrementan hacia abajo, mientras que los valores en la coordenada Y en el mapa incrementan desde el origen hacia arriba.

Los parámetros de transformación se almacenan en un archivo *world* en el siguiente orden:

```
20.17541308822119 - A
0 000000000000000 - D
0.000000000000000 - B
-20.17541308822119 - E
424178.11472601280548 - C
2913415.90726399607956 - F
```

Programas como ArcView no rotan, o alteran, las imágenes. Si el archivo *world* tiene términos de rotación diferentes de cero (parámetros D y B), la imagen puede cambiar su posición relativa al vector de datos en la misma vista cuando se defina un despliegue. Los comandos de rectificación en sistemas de procesamiento de imágenes rotarán y realizarán remuestreo si es preciso.



## ANEXO 3.9

## Proceso Imagen a Imagen

## 1. Selección de Puntos de Control en el Terreno (GCP). Véase sección 3.3.3.

## 2. Pruebas de estimación a partir de GCP.

Pruebas con diferentes opciones de transformación: rotación, escalado y traslación (RST); Triangulación de Delaunay y polinomial de orden 1 a  $n$ , así como de remuestreo: vecino más cercano, bilineal, convolución cúbica.

## 3. Evaluación del error de la estimación y Minimización del RMS.

Con la estimación no se tendrá un ajuste perfecto de GCP y por tanto se deberá calcular el error posicional en el proceso de registro / rectificación. Se deben tener por lo menos 4 GCP para calcular el RMS en cada uno. El valor del RMS de cada GCP afecta y es afectado por otros GCP en la imagen, a menos que se ignoren en el proceso. Por lo tanto, se debe de tener especial atención en la minimización del total del error RMS ya que esta relacionado con un mejor proceso de registro. La mayoría de los programas permiten ignorar los GCP cuya posición es más incierta o con RMS mayor.

En términos generales se debe tener un total de RMS menor a 1, lo cual significa que el error promedio en X e Y es menor a 1 píxel. Sin embargo puede cambiar, si la imagen se utilizará en técnicas de análisis de cambios el RMS debe ser menor a 0.5. Por otra parte, si la imagen presenta distorsiones severas, el RMS puede ser mayor a 1.

Los polinomios de orden más alto siempre generaran errores posicionales menores para los puntos de control usados, como resultado estadístico de los pocos grados de libertad en el parámetro del proceso de estimación. Sin embargo, la exactitud verdadera puede ser menor que en polinomios de primer grado (véase paso 5).

## 4. Rectificación.

Triangulación de Delaunay.

Polinomial: orden 1 a 3. Para polinomios de primer orden existe la opción de seleccionar el cálculo de errores RST (rotación, escalado y traslación). Esta técnica se utiliza más para rectificar datos de satélite.

Véase Opciones de Transformación (sección 3.3.4)

Véase Opciones de Remuestreo (tabla 3.13)

## 5. Evaluación de la exactitud de la rectificación en datos multiespectrales.

Visual:

- ✓ Generación de una imagen amarilla con la banda de mayor Desviación Estándar, tanto en la imagen maestra como en la rectificada, asignando dicha banda a los canales R y G, respectivamente. Las zonas de diferencia serán visibles en color rojo y verde (posibles errores).
- ✓ Aplicar un ajuste de histograma Ecuilizado-Gaussiano tanto a la imagen maestra como a la rectificada. Después elaborar imágenes de diferencia normalizada entre las imágenes (I1 e I2, respectivamente). La fórmula es:  $(I1 - I2) / (I1 + I2)$ . Valores de 0 indican los valores de píxel que no han cambiado entre las imágenes, y las desviaciones de 0 indican los píxeles que son diferentes. Una imagen totalmente gris indicaría que los valores de los píxeles son idénticos y se podría inferir una imagen bien rectificada.
- ✓ Generación de diferentes compuestos a color en la imagen maestra y la rectificada, así como el uso de sobreposición dinámica múltiple (geoligas)
- ✓ Comparación entre diferentes combinaciones de técnicas de rectificación.

Estadística:

- ✓ Una forma más real de calcular el error posicional residual después de la rectificación consiste en obtener una estimación independiente usando puntos de verificación. Con esta técnica es fácil demostrar que cuando se utilizan polinomios de primer orden para corregir una imagen la exactitud es mayor, aunque los errores residuales (RMS) en los GCP sean menores para polinomios de orden más alto.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## ANEXO 3.10

Proceso Imagen a Mapa	
1.	Selección de Puntos de Control en el Terreno (GCP). Véase sección 3.3.3.
2.	Pruebas de estimación a partir de GCP. Pruebas con diferentes opciones de transformación: rotación, escalado y traslación (RST), Triangulación de Delaunay y polinomial de orden 1 a n, así como de remuestreo: vecino más cercano, bilineal, convolución cúbica.
3.	Evaluación del error de la estimación y Minimización del RMS.
4.	Rectificación Triangulación de Delaunay. Polinomial: orden 1 a 3. Para polinomios de primer orden existe la opción de seleccionar el cálculo de errores RST (rotación, escalado y traslación). Se utiliza más para rectificar datos de satélite. Véase Opciones de Transformación (sección 3.3.4) Véase Opciones de Remuestreo (tabla 3.13)
5.	Evaluación de la exactitud de la rectificación
	<b>Visual:</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Sobreposición de datos vector</li> <li>✓ Sobreposición de la retícula de coordenadas</li> <li>✓ Generación de diferentes compuestos a color en la imagen maestra y la rectificada, así como el uso de sobreposición dinámica múltiple (geoligas)</li> <li>✓ Comparación entre diferentes combinaciones de técnicas de rectificación</li> </ul>
	<b>Estadística:</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Una forma más real de calcular el error posicional residual después de la rectificación consiste en obtener una estimación independiente usando puntos de verificación. Con esta técnica es fácil demostrar que cuando se utilizan polinomios de primer orden para corregir una imagen la exactitud es mayor, aunque los errores residuales (RMS) en los GCP sean menores para polinomios de orden más alto.</li> </ul>

## ANEXO 3.11

Requerimientos para la Ortorrectificación (Earth Resource Mapping, 2000)	
1.	Datos con la información de calibración de la cámara. Distancia focal, posiciones calibradas de los puntos correspondientes a las marcas fiduciales, así como parámetros precisos sobre las distorsiones ópticas. Se recomienda que la antigüedad de la calibración de la cámara sea menor a 2 años, o equivalente a 10,000 disparos.
2.	Modelo Digital de Elevación. Si un DEM tiene menor resolución que la imagen por rectificar, entonces la imagen orrorrectificada puede contener errores graves en el borde de las celdas del DEM.
3.	Seleccionar al menos 6 GCP (X,Y,Z) para resolver los parámetros de orientación exterior. Un GCP es un punto claramente identificable en la imagen y para el cual se conocen sus coordenadas (X,Y,Z) tales como en UTM. La mayoría de los programas permiten usar los GCP para calcular la Orientación Exterior (roll, pitch, yaw y XYZ) de la cámara en el momento de exposición. La exactitud de cada GCP está limitada a la resolución y exactitud de la fuente de dicha información. La exactitud final de una imagen orrorrectificada dependerá de la exactitud de la posición en X,Y,Z del GCP elegido. Sin embargo, cuando se conoce la orientación exterior, los GCP no son recomendados y se debe de aplicar el método de orrorrectificación avanzada aplicando directamente la información de Orientación Exterior. (Véase también la sección 3.3.3).
4.	Orientación Exterior (para modelos de mayor exactitud). Los valores de Orientación Exterior (OE) describen la posición exacta del avión durante la captura de la imagen, así como su relación con la imagen. Se definen por la posición geográfica del centro de exposición y la dirección del eje óptico. Los principales parámetros se describen en la tabla 3.14.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## ANEXO 3.12

## Proceso de Ortorectificación (RSI, 2000)

1. Determinación de los datos de Orientación Interior (Aplica solo para el caso de fotografías aéreas). Requiere el despliegue de la imagen de la fotografía aérea. Este paso establece la relación entre la cámara y la foto. Utiliza puntos de relación entre la imagen y las marcas fiduciales de la cámara (por lo menos 3), así como la distancia focal de la cámara. El archivo de salida contendrá la localización de los puntos fiduciales y los coeficientes de transformación *affine*, así como de coordenadas de la cámara a píxeles de la imagen y viceversa.
2. Determinación de los datos de Orientación Exterior. Se utiliza para relacionar puntos en la fotografía aérea o la imagen de satélite a sus localizaciones conocidas en el terreno (coordenadas cartográficas) y elevación. Se realiza a partir de la selección de al menos 6 puntos de control en el terreno (GCP) y sus coordenadas cartográficas correspondientes, en un proceso similar al definido por el método imagen a mapa. Requiere seleccionar la imagen a rectificar y configurar los parámetros de la proyección de la imagen resultante, la cual en los programas más avanzados puede ser distinta que la del DEM. Se recomienda usar el mayor número posible de GCP para obtener mejores resultados, así como verificar que el RMS sea permisible. Los GCP obtenidos se deben agregar al archivo creado en la orientación interior.
3. Ortorectificación utilizando el DEM. Este paso realiza la ortorectificación de la imagen inicial usando los archivos de orientación o la localización del satélite y las ecuaciones de colinearidad generadas en los pasos anteriores junto con el DEM. En el caso de fotografías aéreas se debe seleccionar la imagen original (9"x9") o la porción central de la misma para mayor exactitud (6"x 6"), después se requiere indicar el archivo del DEM y el archivo con los parámetros de la orientación. Algunos programas permiten calcular el valor mínimo presente en el DEM para estimar el tamaño de la matriz de la imagen corregida. También se debe escoger un valor de fondo para las áreas sin datos en la imagen y un valor de omisión en el DEM cuando ha sido usado para rellenar hoyos o para corregir datos. El método de remuestreo más implementado en los programas que realizan esta operación es el vecino más cercano. Las dimensiones de la imagen resultante se configuran automáticamente al tamaño del borde rectangular que contiene toda la imagen corregida y rellena las áreas sin datos con el valor de fondo. Sin embargo, el usuario puede cambiar todos los parámetros de salida.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## ANEXO 3.13

## Creación de un catálogo de imágenes

1. Determinar la extensión espacial de cada imagen. La extensión espacial de una imagen está definida por la coordenada x,y de la esquina superior izquierda del píxel superior izquierdo en la imagen, y la coordenada x,y de la esquina inferior derecha del píxel inferior derecho en la imagen. Una manera fácil de encontrar la extensión espacial de todas las imágenes que se desean agregar a un catálogo es viendo las propiedades de cada una según el programa utilizado. El programa deberá indicar las coordenadas extremas (derecha, izquierda, arriba y abajo). Dichos valores deberán registrarse para usarlos después.
2. Crear una nueva tabla en la cual se almacenará la definición del catálogo de imágenes. La tabla debe incluir 5 campos con los nombres y características indicados en la Tabla 3.12.1, en el mismo orden. Los nombres de los campos deben estar en mayúsculas. Se puede elegir cualquier ancho del campo y la precisión más adecuada para los datos (en lugares decimales). El campo IMAGE debe contener el ancho suficiente para escribir la ruta completa donde reside cada imagen.

Nombre del Campo	Tipo	Descripción
IMAGE	Cadena	Ruta completa de cada imagen
XMIN	N Numérico	Extensión mínima en el eje X
YMIN	N Numérico	Extensión mínima en el eje Y
XMAX	N Numérico	Extensión máxima en el eje X
YMAX	N Numérico	Extensión máxima en el eje Y

3. Agregar los nombres de las imágenes como registros a la nueva tabla. Registrar para cada imagen la ruta completa en el campo IMAGE. Después se debe registrar la extensión en los campos XMIN, YMIN, XMAX y YMAX. Programas como ArcView usarán las coordenadas x,y almacenadas en la definición de este catálogo para decidir la imagen que se desplegará cuando se cambie la extensión de la vista que contiene el catálogo. Las coordenadas no se utilizan para registrar la imagen al espacio geográfico. Cada imagen debe estar previamente georreferida para integrar un mosaico. Las coordenadas indicadas en el catálogo tienen precedencia sobre las indicadas con la imagen en casos donde las coordenadas difieren.
4. Guardar la tabla con formato de dBASE, o si el sistema lo permite exportarla a formato INFO. El catálogo de imágenes se puede integrar a un proyecto como cualquier otra imagen.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## ANEXO 3.14

## Creación de un ortofotomosaico

Barrido Óptico Electrónico de las fotos (como diapositivas, película o impresión). Cada foto aérea se debe de capturar, dando preferencia por mejor calidad a diapositivas en tono continuo, después a películas fotográficas (negativos) y finalmente a fotos impresas. En esta operación se recomienda utilizar un scanner mayor a 9" con alta resolución fotogramétrica (Véase la sección 3.2.3).

Importar las imágenes y geocodificarlas. Cada imagen fotográfica se deberá de geocodificar a una proyección cartográfica estandar. La nomenclatura de los archivos geocodificados debe reflejar el proceso realizado y se recomienda guardar todos los archivos geocodificados en un mismo directorio para facilitar su manejo y la organización posterior del mosaico.

Organizar la composición del mosaico y suavizar los bordes entre imágenes. Para organizar las imágenes que integrarán el mosaico se debe verificar que se ubican en la posición geográfica correspondiente, para esta operación la mayoría de los programas ubicarán las imágenes de acuerdo a la información de la georreferencia almacenada en sus archivos internos. Una vez desplegadas las imágenes se requiere evaluar si presentan o no sobreposición, con esta información se definirá la posible aplicación de suavizado de bordes entre imágenes y la definición de líneas de sutura.

Fusión de histogramas para realizar el balanceo del color o intensidad de grises. El balanceo del color corrige la tendencia de los bordes de una foto a ser más azules con respecto al centro de la imagen, este efecto se debe a que los objetos de los bordes están más lejos del avión durante la toma. El balanceo de la intensidad corrige la variación que sufre la fotografía aérea desde el centro a los bordes, la cual es causada por el espesor de los lentes de la cámara. Después de esta corrección un mosaico de fotos aéreas puede mostrar aún algunos bordes. Para ocultar totalmente los bordes se pueden realizar 2 operaciones extras:

Seleccionar una línea de sutura para cada fotografía aérea, posiblemente siguiendo rasgos del terreno como caminos o ríos.

Suavizar entre fotografías aéreas vecinas en lugar de mantener bordes abruptos.

Formatos de salida (algoritmos inteligentes, archivos virtuales o con compresión, exportación e impresión). Para detalles sobre cada formato consulte el Anexo 3.1. Se puede guardar la imagen del mosaico completa o una parte de la misma, en su resolución nativa, usando cualquiera de los siguientes formatos ordenados según su preferencia:

Algoritmos (ALG) o *virtual dataset* (ERS) de ER-Mapper

Enhanced Compressed Wavelet (ECW) de ER-Mapper e Image Web Server

Portable Network Graphics (PNG)

GeoTIFF

TIFF (TIF) con archivo *world* (TFW)

JPEG (JPG) con archivo *world* (JGW)

ESRI (BIL) / GeoSPOT con encabezado (HDR), formato de Arc/info y Arc View

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN