



ELEMENTOS DE CARTOGRAFÍA GEOLOGICA

Gilberto Silva Romo
Claudia Cristina Mendoza Rosales
Emiliano Campos Madrigal

FACULTAD DE INGENIERÍA



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA

**ELEMENTOS DE CARTOGRAFÍA
GEOLÓGICA**

Gilberto Silva Romo
Claudia Cristina Mendoza Rosales
Emiliano Campos Madrigal

Colaboradores:

Alfredo Victoria Morales
Adán Castro Flores
Marco Antonio Carreón Méndez
Verónica Alejandra Cruz Casas

DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

SILVA ROMO, Gilberto, Claudia Cristina Mendoza Rosales y Emiliano Campos Madrigal. *Elementos de cartografía geológica*. México, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, 2010, 292 p.

Elementos de cartografía geológica

Prohibida la reproducción o transmisión total o parcial de esta obra por cualquier medio o sistema electrónico o mecánico (incluyendo el fotocopiado, la grabación o cualquier sistema de recuperación y almacenamiento de información), sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.

Derechos reservados.

© 2010, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
Ciudad Universitaria, 04510, México, D. F.

ISBN 968-36-9075-0

Primera edición, 2001.

Primera reimpresión de la primera edición, 2007.

Segunda reimpresión de la primera edición, 2010.

Impreso y hecho en México

INDICE

PRÓLOGO	v
PRESENTACIÓN	vii
CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS DE CARTOGRAFÍA	1
Objetivo de la cartografía.....	1
Características de la cartografía.....	1
Cualidades de los mapas	2
Escala de los mapas.....	2
La forma de la Tierra y su expresión cartográfica	3
Elipsoide de referencia	3
Sistemas de proyección	6
Elección de un sistema de proyección	12
Proyecciones cartográficas en México	13
Posicionamiento	16
Sistema de coordenadas geográficas	18
Coordenadas Rectangulares	24
Declinación magnética	27
Nortes usados en cartografía	28
CAPÍTULO 2. EL PROCESO CARTOGRÁFICO	31
La concepción del mapa.....	32
Preparativos del mapa	33
La elaboración del mapa	35
Diseño del mapa.....	36
Composición	43
Producción cartográfica.....	43
La utilización de los mapas	43
Sistemas de información geográfica (SIG).....	44
CAPÍTULO 3. CARTOGRAFÍA TOPOGRÁFICA	47
Cartas topográficas.....	47
Mapas base.....	47
Fotogrametría	47
Representación de la información	49
Mapas topográficos del INEGI.....	51
Fotomapas y espaciomapas	57
Lectura de los mapas topográficos	57
Interpretación geológica de los mapas topográficos.....	58
Análisis cualitativo del relieve	58
Análisis cuantitativo del relieve	61
Indicadores geomórficos	61
Predicción de afloramientos	65
CAPÍTULO 4. CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA	67
Elementos de una carta geológica	67
Clasificación de los mapas geológicos	69
Simbología geológica.....	71
Métodos primarios de cartografía geológica	73
Cartografía geológica en México	73
Los mapas geológicos del INEGI.....	75
Los mapas geológicos del Instituto de Geología, UNAM	76
Los mapas geológicos del Instituto de Geología, UASLP.....	83
Los mapas geológicos del Consejo de Recursos Minerales.....	83
Otras fuentes de información cartográfica.....	84

CAPÍTULO 5. TELEDETECCIÓN	87
El espectro electromagnético.....	88
Sensores remotos.....	90
Fotogeología.....	93
Estereoscopía.....	93
Metodología de la fotointerpretación.....	94
Criterios fotogeológicos derivados del proceso fotográfico	96
Criterios fotogeológicos derivados de los objetos fotografiados	97
Criterios fotogeológicos derivados de los rasgos morfológicos.....	97
Criterios fotogeológicos derivados de la evolución geomorfológica	99
Criterios fotogeológicos derivados de las relaciones biótico-edáficas.....	99
Hipótesis múltiples durante la fotointerpretación	101
Trazos y anotaciones en fotogeología.....	101
Estudio fotogeológico de las unidades litológicas	101
Estudio fotogeológico estratigráfico y estructural	105
Características principales de los modelos fotogeológicos del apéndice G.	108
CAPÍTULO 6. TRABAJO GEOLÓGICO DE CAMPO	111
Observación estructurada	112
Ubicación en campo	117
Sistema global de posicionamiento	118
Clasificación de rocas en campo	120
Medición de secuencias estratigráficas.....	121
Declinación magnética	122
Definición de planos con brújula.....	124
La red de Wulff en el trabajo de campo	127
Orientación de muestras de rocas	130
Estructuras geológicas.....	131
Estructuras primarias.....	131
Estructuras secundarias	133
Fracturas y fallas	134
Pliegues	136
Métodos más utilizados para clasificar pliegues.....	136
CAPÍTULO 7. INTERPRETACIÓN DE MAPAS GEOLÓGICOS.....	141
Lectura del mapa	141
Interpretación del mapa	144
Patrones de afloramiento	144
Construcciones auxiliares	149
Columna estratigráfica	149
Secciones geológicas.....	150
Series de cortes geológicos.....	156
Secciones balanceadas.....	156
Síntesis de la interpretación del mapa	157
Evolución geológica	158
APÉNDICE A. MAPAS ÍNDICES DE MÉXICO	159
A1 División cartográfica a escala 1:50,000 de la República Mexicana	160
A2 División cartográfica a escala 1:100,000 de la República Mexicana	161
A3 División cartográfica a escala 1:250,000 de la República Mexicana	162
A4 División cartográfica a escala 1:1'000,000 de la República Mexicana	163
A5 Índice de zonas de vuelo INEGI (1990).....	164
A6 Carta de la Declinación Magnética en México para 1990	165
A7 Carta de la Variación Anual en la Declinación Magnética para México	166
APÉNDICE B. MAPAS DE CUBRIMIENTO EN LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE MÉXICO	167
B1 Cubrimiento cartográfico Carta Geológica a escala 1:50,000, INEGI.....	168
B2 Cubrimiento cartográfico Carta Geológica a escala 1:250,000, INEGI.....	169
B3 Cubrimiento cartográfico Carta Geológica a escala 1:1'000,000, INEGI	170

B4 Cubrimiento cartográfico Carta Geológica a escala 1:100,000, Instituto de Geología, UNAM	171
B5 Cubrimiento cartográfico Carta Geológica a escala 1:50,000, Instituto de Geología, UASLP.....	172
B6 Avance cartográfico Carta Geológico-Minera a escala 1:50,000, Consejo de Recursos Minerales.....	173
B7 Avance cartográfico (1995-1999) Carta Geológico-Minera a escala 1:250,000, Consejo de Recursos Minerales.....	174
APÉNDICE C. ELEMENTOS DE APOYO EN EL TRABAJO GEOLÓGICO DE CAMPO.....	175
C1 Simbología geológica y de atributos geológicos	176
C2 Simbología litológica (Para columnas estratigráficas y esquemas)	177
C3. Gráficos de estimación visual	178
C4. Clasificación de las rocas sedimentarias (1).....	179
C5. Clasificación de las rocas sedimentarias (2).....	180
C6. Clasificación de las rocas ígneas extrusivas	181
C7. Clasificación de las rocas ígneas intrusivas.....	182
C8. Clasificación de las rocas metamórficas (1).....	183
C9. Clasificación de las rocas metamórficas (2).....	184
C10. Clasificación de las rocas metamórficas (3).....	185
C11. Clasificación de las rocas metamórficas (4).....	186
C12. Equipo recomendable para el trabajo geológico de campo	187
C13. Escala del Tiempo geológico.	188
C14. Transportador de campo (En acetato desprendible)	189
C13. Red de Wulff (En acetato desprendible).....	190
APÉNDICE D. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON BRÚJULA	191
D1. Levantamiento con brújula y cinta	192
D2. Cálculo de las coordenadas y correcciones en un levantamiento con brújula y cinta.....	193
APÉNDICE E. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON PLANCHETA	195
E1. Principio de estadía	197
E2. Lecturas estadimétricas	198
E3. Ubicación de puntos mediante plancheta	199
E4. Métodos de levantamiento con plancheta.....	200
E5. Tolerancias en un levantamiento con plancheta	201
APÉNDICE F. ESTRUCTURA DE UN INFORME TÉCNICO	203
APÉNDICE G. MODELOS FOTOGEOLÓGICOS Y BASES TOPOGRÁFICAS	209
Tabla G-1. Referencias de los Modelos Fotogeológicos.....	210
G1. Depósitos recientes.	211
G2. Rocas clásticas y yesos. Cubeta estructural.....	219
G3. Rocas clásticas. Pliegues y discordancia.....	227
G4. Rocas calcáreas. Pliegue sinforme	235
G5. Rocas calcáreas. Pliegue antiforme	243
G6. Rocas calcáreas. Relieve kárstico y zona de falla	251
G7. Rocas extrusivas básicas. Derrames y conos cineríticos	259
G8. Ignimbritas. Fallas normales	267
G9. Rocas intrusivas silíceas	275
G10. Rocas metamórficas y conglomerados.....	283
BIBLIOGRAFÍA.....	291
ANEXO	
Cuadrícula de referencia para ubicar rasgos en los modelos fotogeológicos (En acetato en la solapa del libro).	

PROLOGO

La cartografía se ha mantenido, desde el desarrollo inicial de las Ciencias de la Tierra, como una de las herramientas fundamentales en la investigación y la exploración geológicas. Esto se debe principalmente a su gran utilidad para visualizar de manera gráfica las relaciones espacio-temporales de los cuerpos de roca y de las estructuras tectónicas. Con base en estas representaciones gráficas se pueden afrontar muchos aspectos relativos al origen de las diferentes asociaciones petrológicas que constituyen la corteza, a la evolución paleogeográfica de los continentes en diferentes escalas y la evolución de los rasgos tectónicos del planeta. Su aplicación en problemas de exploración ha propiciado el desarrollo de una gran variedad de representaciones que tienen que ver con los rasgos asociados a los recursos acuíferos, minerales, petroleros.

En la formación de profesionales en las áreas de las Ciencias de la Tierra, la educación cartográfica es una componente principal que provee al estudiante de las herramientas para realizar inferencias tridimensionales del subsuelo y con esto construir modelos más realistas y cuantificables de los rasgos y procesos geológicos. No basta con que un estudiante conozca los procedimientos fundamentales para la elaboración de un mapa, sino que requiere desarrollar una particular habilidad para procesar e interpretar la información contenida en ellos. En la actividad cotidiana de un profesional o de un científico de las Ciencias de la Tierra, la cartografía es un lenguaje que se debe manejar con soltura.

Con las innovaciones recientes en la tecnología de la información cartográfica, se ha dado un giro que ha potenciado de manera significativa el uso de la cartografía geológica. El volumen de información, la precisión y la rapidez con la que se pueden procesar los datos en un sistema de información geográfica, permiten analizar las relaciones entre diferentes rasgos y procesos de manera más eficaz, a través de operaciones de clasificación y categorización, así como de procedimientos iterativos.

La presente obra ofrece una visión didáctica y actualizada de los conceptos básicos de la cartografía geológica. Su forma y enfoque están, desde luego, destinados a apoyar los cursos de cartografía geológica al nivel de licenciatura, pero también puede ser de gran utilidad como un documento de consulta para profesionales de distintos campos de las Ciencias Naturales y la Ingeniería. La temática abarca desde los conceptos básicos hasta procedimientos prácticos de elaboración e interpretación de los datos. La experiencia de varios años de los autores en trabajos de cartografía y en el análisis geológico de campo, les permite ofrecer una visión completa y crítica sobre los procedimientos más utilizados actualmente en la elaboración de mapas. Los apéndices que acompañan al texto proveen al lector con información útil sobre los distintos productos de cartografía geológica que se han generado en México y con ejemplos de diferentes rasgos geológicos.

En síntesis, esta obra constituye una contribución esperada y muy necesaria para mejorar el nivel de la enseñanza de las Ciencias de la Tierra y para impulsar la cultura cartográfica en el estudio del entorno natural de México.

Dante Jaime Morán Zenteno

PRESENTACIÓN

Este libro fue elaborado dentro del Programa de Apoyo a Proyectos Institucionales para el Mejoramiento de la Enseñanza (Tercera convocatoria), en la División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra de la Facultad de Ingeniería. UNAM.

En este libro se presentan los aspectos básicos de la cartografía, se describen los sistemas de proyección, con énfasis en el Sistema UTM, que es el Sistema más utilizado en la cartografía temática en México. Se plantea desde un punto de vista conceptual la cartografía temática como un recurso de comunicación gráfico, con base en el esquema propuesto se ubica la cartografía geológica y el quehacer de los geólogos en el campo. Se describen las características principales de los mapas topográficos y se presentan las principales inferencias geológicas que se pueden realizar con base en un mapa topográfico. Se describen los elementos de un mapa geológico, se anuncian los principales métodos de cartografía geológica y se presenta el estado del arte en México.

La observación a distancia es un recurso muy importante en la cartografía temática y en particular de la cartografía geológica, por lo cual se plantean algunos elementos teóricos de la interpretación digital de imágenes satelitarias y se desarrollan los aspectos relativos a la interpretación analógica tanto de fotografías aéreas como de imágenes obtenidas mediante otros sensores remotos. Se revisa desde un punto de vista conceptual el trabajo de campo y se plantean los procedimientos más usuales en la caracterización geológica de un área con base en trabajo de campo. Se plantean los niveles de consulta de un mapa y se describen algunos procedimientos y elementos de interpretación y de elaboración de construcciones auxiliares a partir de la información presentada en la planta del mapa geológico.

En el libro, los estudiantes de licenciaturas en Ciencias de la Tierra y de Geografía encontrarán los conceptos básicos acerca de la cartografía en general y de la cartografía geológica en lo particular. La obra se recomienda como libro de texto en las asignaturas acerca de la Cartografía Temática, del Trabajo de Geología de Campo y de la Teledetección específicamente de los temas de Fotogeología, en los planes de estudio de las carreras de Ingeniero Geólogo y de Ingeniero Geofísico. En general se trata de un libro de consulta para los estudiantes en Ciencias de la Tierra, durante el desarrollo

de sus prácticas de campo; aún para los estudiantes del Posgrado en Ciencias de la Tierra, sobre todo para aquellos cuya formación de licenciatura sea en otra disciplina. También está dirigido a los profesionales en Ciencias de la Tierra, que incursionan esporádicamente en la cartografía temática.

La estructura del libro permite que sea utilizado como texto y como cuaderno de ejercicios de cartografía, también se puede utilizar como libro de consulta acerca de la cartografía y del trabajo de campo geológicos. En el texto se incluyen recuadros temáticos que aclaran algunos conceptos relativos a los temas tratados, está ilustrado con más de cincuenta figuras, algunas de ellas estereoscópicas y contiene la reproducción de cinco fracciones de mapas a todo color como ejemplos de la producción cartográfica mexicana. El libro consta de siete capítulos y se complementa con siete apéndices en los cuales se incluyen 13 mapas relativos a la disponibilidad de materiales cartográficos, al trabajo de campo, a la simbología geológica y a los esquemas de clasificación en campo de las rocas. Entre los elementos auxiliares para el trabajo geológico se presenta la Escala del Tiempo Geológico elaborada conforme a la Carta Estratigráfica Internacional 2000, entre otros tópicos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática su autorización para reproducir las fotografías aéreas del Apéndice G, y las fracciones de los mapas topográficos y geológicos y los mapas de avance cartográfico incluidos en este libro.

Agradecemos al Consejo de Recursos Minerales su autorización para reproducir las fracciones de sus cartas geológico-mineras.

Agradecemos al Ing. Jorge Nieto Obregón su acuciosa y oportuna revisión que contribuyó al mejoramiento de este libro.

Agradecemos a las autoridades de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad Nacional Autónoma de México su apoyo en la elaboración de este texto, en especial al M.C. Rolando de la Lata Romero, Jefe de la División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra.