

**I. TEXTOS MONOGRÁFICOS:
2. NATURALEZA**

¿GEOGRAFÍA SIN GEOLOGÍA?

**Zoltan de Cserna
Magdalena Alcayde Orraca
Esteban Monroy Soto**



**TEMAS SELECTOS DE
GEOGRAFÍA DE MÉXICO**

El Dr. Zoltan de Cserna es geólogo y labora en el Instituto de Geología de la UNAM desde julio de 1952, y desde 1990 es investigador emérito. Es autor y coautor de más de 70 obras que consisten en artículos de investigación, mapas, monografías y capítulos de libros, publicadas en México y en el extranjero. Ha sido profesor de posgrado de Geología en la Facultad de Ciencias y fungido como asesor en Geología en exploración de yacimientos minerales en México y en el extranjero, y en proyectos hidro y nucleoelectricos en México.

Magdalena Alcayde Orraca es Técnico Académico Titular y presta sus servicios en la UNAM desde 1970, y está adscrita en el Instituto de Geología desde 1978, donde ha sido coeditora de las publicaciones del Instituto y colaboradora del Dr. De Cserna en algunos de sus proyectos de investigación.

Esteban Monroy Soto es Técnico Académico Titular, con una antigüedad de 37 años en el Instituto de Geología, y ha sido encargado de la cartografía geológica que ha publicado ese Instituto. Sus conocimientos del estado de la cartografía geológica en México son excepcionales.

¿GEOGRAFÍA SIN GEOLOGÍA?

I.2.1

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Dr. Juan Ramón de la Fuente
Rector

Lic. Enrique del Val Blanco
Secretario General

Dr. Daniel Barrera Pérez
Secretario Administrativo

Dr. Alberto Pérez Blas
*Secretario de Servicios a la
Comunidad Universitaria*

Dra. Elvia Arcelia Quintana Adriano
Abogada General

Lic. Armando Labra Manjarréz
Secretaría de Planeación y Reforma Universitaria

Dr. René Drucker Colín
Coordinador de la Investigación Científica

INSTITUTO DE GEOGRAFÍA

Dr. José Luis Palacio Prieto
Director

Dra. María Teresa Sánchez Salazar
Secretaria Académica

Dra. Atlántida Coll-Hurtado
Editor Académico

Lic. Mayela Lara Morales
Secretaria Administrativa

¿GEOGRAFÍA SIN GEOLOGÍA?

I.2.1

Zoltan de Cserna
Magdalena Alcayde Orraca
Esteban Monroy Soto



Diseño de portada: Laboratorio de Fotomecánica,
Instituto de Geografía, UNAM

Responsable de edición: Martha Pavón
Revisor de estilo: Eva Saavedra Silva

Primera edición: noviembre de 2002

¿GEOGRAFÍA SIN GEOLOGÍA? I.2.1

DR © Instituto de Geografía, UNAM

Derechos exclusivos de edición reservados para todos los países de habla española. Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin autorización escrita de los editores.

Instituto de Geografía-UNAM
Ciudad Universitaria
Del. Coyoacán
04510 México, D. F.
www.igeograf.unam.mx

ISBN: UNAM (Obra General): 968-36-8090-9
ISBN: UNAM 970-32-0511-9

HECHO EN MÉXICO

Este libro se publicó con apoyo financiero de la Dirección General Asuntos del Personal Académico (DGAPA) UNAM. Proyecto: Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT), No. IN306500, cuya responsable ante DGAPA es la Dra. María Teresa Gutiérrez de MacGregor. Por este apoyo el Instituto de Geografía expresa su agradecimiento.

ÍNDICE

Preámbulo	9
Introducción	15
Algunos ejemplos de relación entre la Geografía y la Geología de México	21
Las regiones occidentales de Sonora y Sinaloa	22
Las regiones centro-septentrional y central de México	38
La parte central de la Zona Neovolcánica Transmexicana	49
La cuenca endorreica de la Ciudad de México (Cuenca de Tenochtitlan)	58
Reflexión	67
Reconocimientos	68
Bibliografía	69

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Tabla geocronológica simplificada	18
2. Mapa de México que muestra la ubicación de las regiones abordadas en el presente ensayo	23
3. Mapa de las regiones occidentales de Sonora y Sinaloa	24
4. Vista de una parte del Desierto Sonorense	26
5. Vista de una parte de un <i>Inselberg</i> en la parte noroccidental del Desierto Sonorense	27
6. Vista del cauce de un río en la época de estiaje en la parte suroccidental de Sonora	30
7. Distribución de las fallas en las regiones occidentales de Sonora, Sinaloa y del Golfo de California, documentadas en mapas geológicos e integradas a partir de imágenes de satélite.....	31

8. Campo de lava del centro volcánico El Pinacate	32
9. El Desierto de Altar al norte de Caborca	34
10. Mapa de las regiones centro-septentrional y central de México (Meseta Central o Altiplano Central)	39
11. Un bolsón en la Meseta Central	40
12. Vista panorámica de un bolsón en proceso temprano de su destrucción en la Meseta Central	42
13. Vista panorámica de un bolsón en proceso avanzado de su destrucción en la Meseta Central	44
14. Croquis que muestra las fallas y fracturas de las regiones centro-septentrional y central de México, interpretadas a partir de datos geológicos, imágenes de satélite y topografía digital	45
15. Una pequeña mina abandonada en la Meseta Central	47
16. Aspecto de la explotación de la sal en Salinas, San Luis Potosí	48
17. Mapa de la parte central de la Zona Neovolcánica Transmexicana	51
18. El Volcán Popocatepetl	52
19. Un cono volcánico cinerítico	53
20. Cráter de explosión La Caldera en Valle de Santiago, Guanajuato	55
21. Paisaje de la parte central de la Zona Neovolcánica Transmexicana al noroeste del Lago de Pátzcuaro, Michoacán	56
22. El Lago de Pátzcuaro, Michoacán	57
23. Croquis que muestra las fallas y fracturas de la parte central de la Zona Neovolcánica Transmexicana interpretadas a partir de datos geológicos, imágenes de satélite y topografía digital	59
24. Croquis de la cuenca endorreica de la Ciudad de México (Cuenca de Tenochtitlan)	61

PREÁMBULO

La ciencia es el cúmulo de conocimiento, sistematizado y formulado, para el descubrimiento de verdades y para el empleo o aplicación de leyes generales o universales. Cuando tal conocimiento se refiere al mundo físico, se llama *ciencia natural*. La *Geología* es una de las ciencias naturales que se ocupa de la forma en que la historia, la dinámica y la vida de la Tierra están registradas en las rocas. Por otra parte, la *Ingeniería* es una *ciencia aplicada* que estudia la utilización de los productos orgánicos e inorgánicos de la Tierra, las propiedades de la materia, las fuentes de energía en la naturaleza y las fuerzas físicas, para resolver las necesidades humanas en forma de estructuras, máquinas, productos manufacturados, instrumentos de precisión, organización industrial, medios de iluminación, calefacción, refrigeración, comunicación, transporte, seguridad pública, etcétera.

El nacimiento de la Geología como disciplina científica coincide con la llegada de la Revolución Industrial. Desde entonces, la mayor parte de la materia prima consumida para el avance de la industrialización en todos los campos ha sido extraída de las entrañas de la Tierra, utilizando para ello, principalmente, conocimientos geológicos. En la actualidad, la dependencia que tiene la industria de la geología, no sólo no ha disminuido, sino que se ha acentuado, con la necesidad creciente de contar con las reservas suficientes que mantengan el gigantesco aparato productivo en marcha, a pesar de que algunos productos estén siendo reciclados en la actualidad.

Pero no sólo la industria en sí depende de la Geología. La ingeniería necesita contar con las bases geológicas para planear asentamientos

humanos, tanto por la estabilidad de sus obras, como por el adecuado abastecimiento de agua potable, por el desfogue de las aguas negras, y por la localización idónea de sitios para rellenos sanitarios (basureros).

Los grandes países industrializados de todo el mundo cuentan, desde hace varias décadas, con un sistema de educación e investigación científica geológica, que les ha permitido crear, mediante el estudio geológico-científico de sus respectivas áreas o regiones, nuevas leyes y principios que, a su vez, han propiciado un importante avance en la *Ingeniería geológica*, en el descubrimiento y explotación de recursos propios y ajenos, para suministrar los metales y energéticos que requiere su vasto imperio de producción industrial. México cuenta con estos recursos en una cantidad que tradicionalmente le ha permitido ser un país exportador de excedentes, salvo unas excepciones, después de satisfacer sus necesidades internas. No obstante, la no renovabilidad de estos recursos y su importancia, vital para el desarrollo económico y social independiente de cualquier país, conllevan la necesidad imperiosa de mantener, o, en su defecto, crear un proyecto nacional de educación e investigación científica en el campo de la geología, que garantice, no sólo el suministro suficiente y oportuno de esos recursos para nuestra industrialización, sino el uso y conservación racionales de los mismos. Además, es de importancia vital conocer el marco geológico de áreas y regiones y sus características precisas con objeto de prevenir o mitigar los efectos de desastres naturales de origen geológico como los que producen los volcanes y sismos. Es así como el conocimiento geológico-científico del territorio de un país constituye uno de los preceptos de la *seguridad nacional*. En este contexto, un digno ejemplo representa el hecho de que la Comisión Geológica de los Estados Unidos de América (*United States Geological Survey*) forme parte del Departamento del Interior (*Department of the Interior*) que, en términos generales, corresponde a una Secretaría de Gobernación.

Aun cuando han aumentado en forma sustancial las producciones petrolera y minera del país, hasta ahora no han contribuido en forma

directa al establecimiento de una infraestructura geológico-científica para México. Por el contrario, se observa que durante los años cincuenta, las bases científicas utilizadas en los trabajos geológicos eran importadas directa y abiertamente. En tiempos más recientes, a pesar de que la importación de ciencia y tecnología se ha incrementado en forma alarmante, su administración se ha vuelto más discreta, con objeto de evitar crítica y repercusión política. Todos los organismos públicos que de alguna forma tienen relación con la geología, así como la iniciativa privada, recurren a la ayuda extranjera, porque no existe una infraestructura geológico-científica en México. Ésta es una carencia real, altamente costosa para el país, porque obviamente es difícil, si no imposible, la aplicación eficiente de la ciencia en la solución de problemas prácticos inherentes a ella, si antes no se cuenta con conocimientos básicos en la disciplina correspondiente. A estos aspectos, estamos obligados a añadir otros que igualmente inciden en la calidad de vida de los habitantes de la Tierra. Específicamente, nos referimos a las condiciones geológicas de los asentamientos humanos y a los riesgos naturales de origen geológico, como los producidos por los volcanes o los sismos.

En lo que atañe a la Geología en México, la situación actual apunta hacia dos hechos fundamentales. El primero se refiere al elemento humano. El ingeniero geólogo no está formado como un científico, sino como un profesionista; sólo en casos contados cuenta con orientación científica si ha cursado estudios de posgrado, en México o en el extranjero. Como consecuencia de lo anterior, resulta el segundo aspecto, que es trascendental y se refiere a que como no se cuenta con personal geológico, formado desde los inicios de la licenciatura con orientación científica y culminado con el doctorado, y no ingenieril, no ha sido posible establecer en el México moderno una infraestructura científica en geología, que pudiera corresponder a una Comisión Geológica Nacional y comisiones geológicas estatales. El Instituto de Geología de la UNAM, incluso, no ha podido desarrollarse de acuerdo con las necesidades y postura internacional del país.

La Geología es comparable a la Biología en su metodología fundamental, concepción filosófica y origen como ciencia. Para que en un área, una región o un país pueda desarrollarse, por ejemplo, la botánica o la zoología, primeramente es necesario conocer su flora y fauna. Una vez conocidas, se pueden proyectar estudios más especializados científicos de la biología misma, o considerar que estos conocimientos sienten las bases científicas para las disciplinas aplicadas, como son la agricultura, ganadería y silvicultura, por mencionar sólo unas cuantas. En cada caso, las bases científicas deben ser publicadas en México, y algunos aspectos en el extranjero, para que los interesados las tengan a su alcance.

Este ensayo no presenta los resultados de un proyecto de investigación. Tampoco la descripción de la Geografía o de la Geología de diversas regiones de México, ya que para tales tareas, afortunadamente contamos en México con geógrafos y geólogos muy bien calificados. Entonces, si el lector es erudito en Geografía o en Geología, podrá externar su inquietud respecto a este ensayo, preguntándose ¿qué persigue el texto que tengo delante?

En la actualidad, casi en todas partes del mundo, son los políticos quienes toman las decisiones –a veces buenas y a veces malas– sobre la suerte de una determinada región, y éstas invariablemente afectan los aspectos económico, social, ecológico y ambiental de la misma. En estas decisiones, la justificación tradicional o *leitmotiv* es el bienestar y progreso. Establecer *a priori* que una determinada decisión vaya a resultar, en efecto, en bienestar y progreso, requiere estudios y consideraciones muy profundos y cuidadosos.

La Geografía estudia el desarrollo de la vida en todos sus aspectos sobre la Tierra. Para esto, la Geología, la Biología o la Economía, por ejemplo, constituyen únicamente partes, por muy importantes que éstas sean. La meta que tenemos enfrente es que ese desarrollo sea equilibrado y de calidad, sin afectar ecosistemas y condiciones ambientales, evitando injusticias y la pauperización de la sociedad.

La tarea más apremiante a principios del siglo XXI para los científicos, es aprender a escribir y publicar los resultados de sus

investigaciones científicas, de tal manera que sean digeribles para los profesionistas que están directamente involucrados en la toma de decisiones. Esto no quiere decir exactamente que esas publicaciones sean de divulgación, sino que deben estar redactadas de tal manera que un profesionista de las disciplinas de Economía, Sociología o inclusive de Medicina, pueda captar el “mensaje” de una publicación en Física, Biología, Ecología, Meteorología o Geología. Debido a la naturaleza de la Geografía y a la formación académica de los geógrafos a través de estudios tanto científicos como humanísticos, los resultados de las investigaciones geográficas son más comprensibles para los que toman las decisiones, que, por ejemplo, los resultados publicados por los geólogos.

Aunque la generalización arriba expuesta sea razonablemente válida, debemos reconocer que lo escrito por geólogos no es de fácil penetración para los geógrafos. Por ello se decidió escribir el presente ensayo, para mostrar con unos ejemplos mexicanos la interrelación que existe entre la Geología y la Geografía.

INTRODUCCIÓN

Todos podemos constatar que para finales del siglo xx, las disciplinas del saber han tenido un avance extraordinario; durante los últimos 50 años, particularmente, este avance ha sido muy acelerado. En este contexto, la proliferación de las disciplinas, como reflejo de la especialización, ha causado cierta desunión o pérdida de vista del objetivo central de la investigación. Hemos podido observar estas tendencias durante el siglo xx, por ejemplo, en las prácticas taxonómicas de la paleontología entre los atomicistas (*splitters*), por un lado, y los agrupadores (*lumpers*), por el otro.

El caso de las Ciencias de la Tierra, en cierto modo, es muy parecido al de las demás disciplinas. Sin embargo, precisamente por su avance notable, en los albores del siglo xxi, los estudios referentes al planeta Tierra tienen como meta u objetivo central el Sistema Planeta Tierra. Para lograr conocerlo o entenderlo, concurren los estudios de la atmósfera, hidrosfera, de la corteza terrestre y del interior de la Tierra. Desde el punto de vista humano, mayor e inmediata importancia tiene la interfase que se refiere a la parte exterior de la corteza terrestre, la hidrosfera y la atmósfera, que algunos científicos europeos consideran actualmente como “*landscape sphere*” (Kotlyakov *et al.*, 1998).

En el panorama esbozado arriba, la Geografía, como se ha expresado, destaca como una ciencia integradora, porque se nutre tanto de la Geología, Biología, Oceanografía y Climatología, que son ciencias naturales, como de la Economía, Sociología y Demografía, que son ciencias sociales. En este ensayo se abordará la relación que

tiene la Geología con la Geografía, ya que es la parte exterior de la corteza terrestre que desempeña el papel de sustrato para todos los procesos naturales y actividades humanas, de los que se ocupa la Geografía.

Afortunadamente, existen numerosas publicaciones en forma de libros y artículos que reseñan de alguna manera la evolución o desarrollo de las investigaciones realizadas en México sobre las geociencias (Aguilera, 1905; De Gortari, 1963; Trabulse, 1983; De Cserna, 1990). Casi todas coinciden al señalar que el detonador de estas investigaciones fue la obra de Alexander von Humboldt (1808). Las actividades propiciadas por el impacto de esta obra, aun cuando fueron adversamente influenciadas por las condiciones políticas y económicas de la guerra de La Independencia y sus secuelas, permitieron la fundación de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística en 1833, que es la sociedad científica más antigua de América y, al mismo tiempo, la cuarta más antigua del mundo. El establecimiento del Observatorio Meteorológico Central de México en 1877, gracias al empeño del multifacético naturalista Mariano Bárcena, y de la Comisión Geográfico-Exploradora en el mismo año, impulsada por Vicente Riva-Palacio y Agustín Díaz, creó el marco idóneo para la fundación de la Comisión Geológica Nacional en 1886, promovida por Antonio del Castillo. De modo que antes de que el siglo XIX terminara, México contaba ya con una infraestructura que permitió, por lo menos en principio, llevar a cabo ordenadamente estudios en los diversos campos de las geociencias.

Infortunadamente, estos avances logrados hacia finales del siglo XIX, fueron frenados por las circunstancias políticas y económicas derivadas de la Revolución Mexicana y el periodo de su consolidación, dejando la marcha iniciada con entusiasmo en considerable rezago, tanto para la desgracia del país, como de la ciencia universal. Entre estas desventajas, quizá la de mayor trascendencia para la Geología y la Geografía sea la falta de una base cartográfica razonablemente precisa que cubriera al territorio nacional. Es preciso reconocer que solamente hasta la séptima década del siglo XX –hace unos 30 años–

México comenzó a contar con mapas topográficos de buena calidad que cubriesen la República y pudieran servir de base a investigaciones, sobre todo en Geografía y Geología.

Consideramos prudente mencionar aquí que, a principios del siglo XXI, ya existe un número importante de publicaciones en forma de cartas geológicas y ensayos que presentan el panorama geológico del país con distintos enfoques (Garfias y Chapin, 1949; West, 1964; Morán, 1984; Santiago *et al.*, 1984; De Cserna, 1989; Ortega *et al.*, 1992 y 1994; García de Fuentes, 1992; y una serie de monografías geológico-mineras estatales publicadas por el Consejo de Recursos Minerales). No obstante, este material publicado, por importante que sea en su contexto para resolver problemas específicos que incidan directamente en una determinada área o región, ofrece realmente poca ayuda y no substituye a mapas geológicos a escalas de 1:50 000 o 1:100 000 elaborados mediante levantamientos geológicos tradicionales.

Tomando en cuenta el panorama esbozado arriba, en México estamos en desventaja en cuanto al conocimiento geológico y geográfico físico del país. Aun cuando el camino por recorrer para lograr el conocimiento cabal del mismo sea largo, los notables avances tecnológicos, particularmente la fotografía aérea, la percepción remota y la manipulación efectiva de las imágenes de satélite o de modelos digitales de topografía, ofrecen perspectivas muy alentadoras para acortar el tiempo necesario para cumplir con las tareas pendientes. Además, en la actualidad, México cuenta con una red de carreteras, caminos y brechas vecinales, con la que no contaba hace 50 o 100 años, que facilita el acceso a diferentes regiones y áreas. Estas facilidades, a su vez, reducen el tiempo requerido para la fase ambulatoria de los levantamientos de diversos mapas, que constituyen la base de los análisis, interpretaciones y síntesis de la geografía y geología de una determinada área o región.

Si bien el planeta Tierra tiene unos 4 500 millones de años de edad, los rasgos morfológicos actuales de su superficie escasamente remontan los 10 millones de años desde el presente; de modo que, geológicamente hablando, son muy recientes (Figura 1).

		DIVISIONES PRINCIPALES	EDAD	
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO	0.01	
		PLEISTOCENO	1.6	
	TERCIARIO	PALEOGENO NEOGENO	PLIOCENO	5.3
			MIOCENO	23.7
		OLIGOCENO	36.6	
		EOCENO	57.8	
PALEOCENO	66.4			
MESOZOICO	CRETACICO		144	
	JURASICO		205	
	TRIASICO		245	
PALEOZOICO	PERMICO		286	
	PENSILVANICO		320	
	MISISIPICO		360	
	DEVONICO		408	
	SILURICO		439	
	ORDOVICICO		505	
	CAMBRICO		570	
PRE-CAMBRICO	PROTEROZOICO		2500	
	ARQUEANO		3800	

Figura 1. Tabla geocronológica simplificada. Las edades corresponden a millones de años antes del presente.

De hecho, algunos científicos han hecho cálculos acerca de la velocidad de erosión de los rasgos morfológicos del planeta Tierra y llegado a la conclusión de que, si no existiesen procesos endógenos, simplemente mediante los procesos exógenos –básicamente la erosión– en un lapso de unos 25 millones de años, toda la superficie del planeta Tierra quedaría nivelada o reducida al nivel del mar (Selby, 1985).

Es posible que la supuesta existencia de una superficie terrestre plana no sea impactante para el lector no erudito. Sin embargo, si examinamos tal supuesto con detenimiento, pronto llegaremos a la conclusión de que el régimen climático de los continentes estaría totalmente cambiado. Esto, a su vez, tendría un efecto catastrófico para la actividad humana, empezando con la agricultura. Así es que, los procesos que están activos *dentro* de la corteza, son manifestaciones de los que actúan en niveles más internos de la Tierra; mientras que los procesos que actúan *sobre* la superficie de la Tierra, están controlados o influenciados básicamente por el relieve que observamos en la superficie de la Tierra y cuyo origen primario se deriva de los procesos activos de la corteza terrestre.

Así, el escenario que se ubica sobre la superficie de la Tierra y cuyos diferentes aspectos constituyen los temas básicos de la Geografía, es resultado de la interacción de dos campos energéticos; uno que proviene del interior de la Tierra y el otro del Sol. Hasta ahora, este delicado equilibrio se conoce únicamente en el caso del planeta Tierra, donde la vida ha podido desarrollarse hasta lo que observamos hoy.

ALGUNOS EJEMPLOS DE RELACIÓN ENTRE LA GEOGRAFÍA Y LA GEOLOGIA DE MÉXICO

La morfología de una región depende fundamentalmente de la configuración o constitución geológica de la misma. Esto quiere decir que la naturaleza de las distintas rocas, sean éstas sedimentarias (bien o mal consolidadas), cristalinas o volcánicas, y las estructuras que éstas poseen (fallas, pliegues, etc.), determinan en primera instancia los efectos que los procesos exógenos producirán sobre ellas. Los cambios diurnos de temperatura facilitarán la desintegración de las rocas cristalinas y los productos de esa desintegración se prestarán para su acarreo o transporte por los ríos. Por otra parte, las calizas en un clima húmedo y cálido, por ejemplo, favorecerán no sólo el desarrollo cárstico, sino también, el desarrollo de lateritas (que son una de las fuentes para obtener el aluminio) con grandes extensiones de terrenos fangosos o lodosos. La presencia de rocas volcánicas, incluyendo aparatos volcánicos, en regiones de clima húmedo, resulta en una morfología de terreno ondulante con la presencia de cerros aislados. Obviamente, la morfología de una región, a su vez, determina, en la mayoría de los casos, los sitios aptos para establecer un asentamiento humano y las actividades a las que los lugareños se van a dedicar. De ahí se derivarán las trayectorias de las vías terrestres de comunicación. Al mismo tiempo, la presencia de manantiales o condiciones favorables para la obtención de aguas subterráneas

establecerá los parámetros para el tamaño de la población y de la extensión de las superficies cultivables. De modo que la geología de una región incide de manera fundamental sobre la geografía de la misma.

Para ilustrar la relación que existe entre la Geografía y la Geología, se examinarán brevemente las regiones occidentales de Sonora y Sinaloa; posteriormente, las centro-septentrional y central de México, que corresponde a la Meseta Central, y, finalmente, la parte central de la Zona Neovolcánica Transmexicana, incluyendo la Cuenca de la Ciudad de México (Figura 2).

Las regiones occidentales de Sonora y Sinaloa

La región occidental de Sonora y Sinaloa se ubica entre la Sierra Madre Occidental, en el oriente, y el Golfo de California (Mar de Cortés) en el poniente, al sur de la frontera internacional con los Estados Unidos de América, y al norte de la desembocadura del río Grande de Santiago, misma que, en realidad, se encuentra en el estado de Nayarit (Figura 3). Esta región abarca unos 120 000 km². Alberga alrededor de dos millones de habitantes, cuya mayor parte se concentra en centros urbanos.

En términos generales, el clima es seco y caluroso. La parte que corresponde al estado de Sonora es más seca, con precipitación media anual entre 100 y 300 mm; mientras que la parte más al sur, ya en el estado de Sinaloa, es más húmeda, alcanzando los 800 mm (Coria y Mendoza, 1952).

La vegetación natural en la parte sonorenses de esta región consiste en *matorral xerófilo*, mientras que en la parte sinaloense, en *bosque espinoso* (Rzedowski, 1978), aunque hay que recordar que existen importantes extensiones de riego, donde se cultiva trigo, jitomate, algodón, chile y uva de mesa.

Indudablemente, el factor más importante para el desarrollo de toda esta región es la disponibilidad del agua y su administración racional, tanto para uso humano como para la agricultura y ganadería

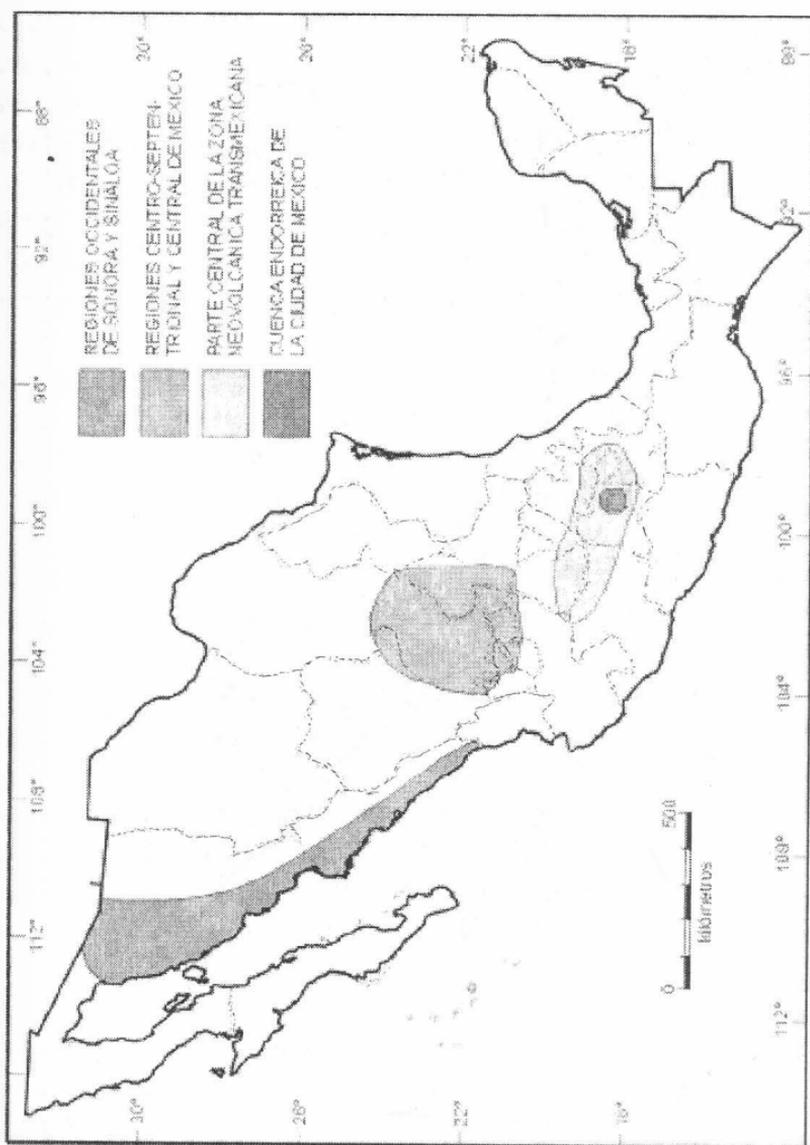


Figura 2. Mapa de México que muestra la ubicación de las regiones abordadas en el presente ensayo.

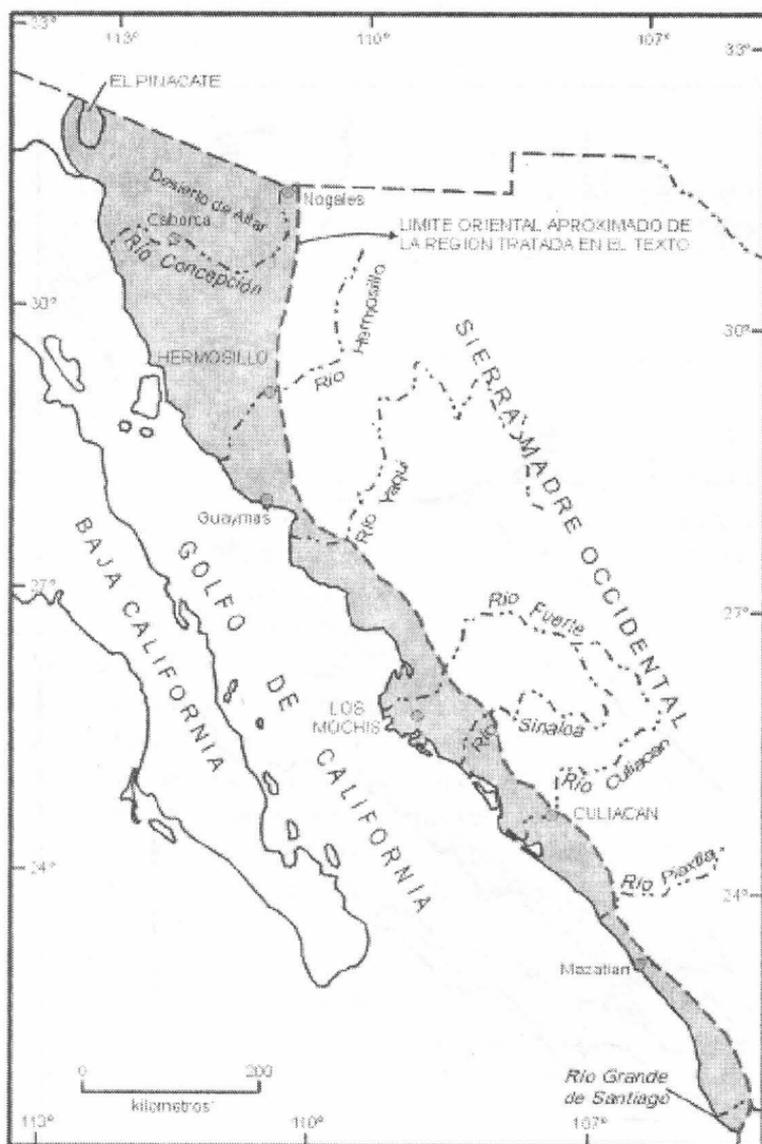


Figura 3. Mapa de las regiones occidentales de Sonora y Sinaloa.

(Dunbier, 1968). En este sentido, merecen reconocimiento los gobiernos federal y estatales, los que, a partir de mediados del siglo xx, han construido presas y sistemas de riego, utilizando también pozos que explotan acuíferos relativamente someros. No obstante, estos esfuerzos actualmente no son suficientes, debido al aumento de la población, a las prácticas cada vez más intensivas de agricultura y al abatimiento consecuente de los niveles freáticos, así como a la intrusión o invasión de agua salada en varios sitios desde el Golfo de California. El establecimiento de nuevas industrias para proveer ingresos a la población no ligada íntimamente a la agricultura—concretamente las maquiladoras—agrava la situación en cuanto a la escasez del agua y genera problemas de contaminación ambiental.

La región anteriormente descrita ha sido, desde hace tiempo, reconocida por los geógrafos y fisiógrafos como una provincia llamada Desierto Sonorense, que se extiende también hacia el norte, al estado americano de Arizona. En realidad, es un área desértica y semi-desértica, caracterizada por valles muy amplios con población muy escasa, separados por sierras aisladas comúnmente alineadas en dirección NNW-SSE. En términos de la Geografía clásica europea, la parte sonorense de esta región corresponde a un *Inselberglandschaft* (Figuras 4 y 5), o a la que los estadounidenses llaman *Basin and Range Province*.

Tanto la parte sonorense como la región hacia el sur, resultaron del sepultamiento diferencial de una topografía muy accidentada previamente existente, mediante una docena de ríos, más caudalosos antaño que en la actualidad, que fluyen desde la Sierra Madre Occidental hacia el Golfo de California, acarreando enormes cantidades de sedimentos y construyendo abanicos aluviales coalescentes, que resultaron en grandes deltas (Figura 6). Hacia el sur del puerto de Guaymas, la región paulatinamente adquiere el aspecto de una planicie costera cada vez más estrecha, donde las sierras aisladas y alineadas en dirección NNW-SSE pierden su notoriedad.

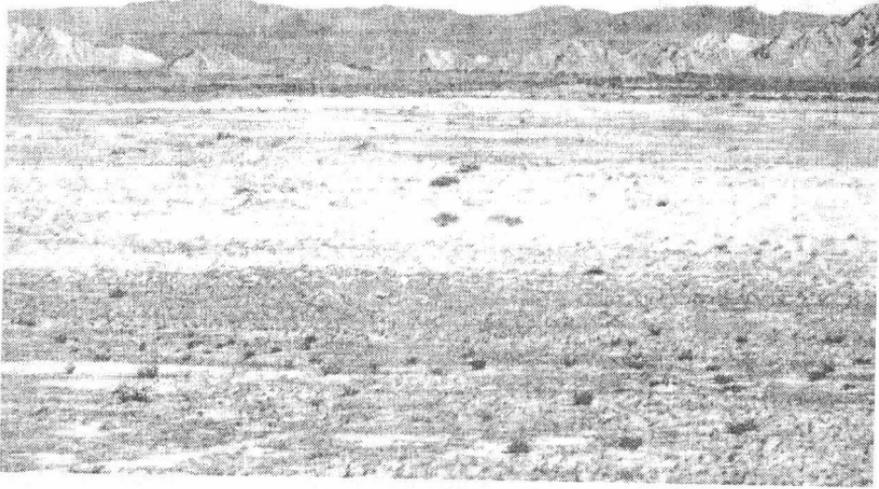


Figura 4. Vista de una parte del Desierto Sonorense en la región noroccidental de Sonora. En la fotografía puede observarse sierras aisladas geológicamente complejas, que están separadas por valles y cuencas endorreicas. En el primer plano de la fotografía se aprecia en detalle la morfología de una de estas cuencas endorreicas, teniendo en las partes adyacentes a las sierras huellas de escorrentía (*sheetflow*), mientras que en su parte central vestigios de un barrial seco (*dry playa lake*). (Fotografía cortesía del Dr. J. L. Rodríguez-Castañeda.)



Figura 5. Vista de una parte de un *Inselberg* (cerro o montaña isla) que conforma la parte exterior o más alejada del campo volcánico El Pinacate desde su parte central de erupción, localizada en el extremo noroccidental del Desierto de Altar (cf. Figura 3), cerca de la frontera internacional con Arizona. Las rocas que forman estos cerros consisten en derrames de lava basáltica y rocas piroclásticas asociadas que muestran un grado mediano de erosión. Se aprecia en forma notable el sepultamiento parcial de este cerro por arenas movedizas por el viento que abundan en esta parte noroccidental del Desierto de Altar. (Fotografía cortesía del Dr. Alberto Burques-Montijo.)

El escenario descrito en forma muy breve y somera hace reflexionar sobre el futuro de esta importante región de México. Al mismo tiempo, es necesario tener una conciencia clara de que el avance de la tecnología involucrará aspectos de la naturaleza hasta ahora pasados por alto, o simplemente ignorados. Es precisamente aquí donde el conocimiento geológico desempeña un papel fundamental en el desarrollo geográfico, económico y social. En esta región, es indudable que la disponibilidad mayor de agua, y su administración cada vez más racional y adecuada, jugarán el papel más importante en su desarrollo. Esa disponibilidad depende de la existencia y localización de acuíferos subterráneos más profundos, que es la tarea de la geología del subsuelo.

La constitución geológica de la parte sonorenses de esta región se conoce básicamente a partir de observaciones aisladas, efectuadas en afloramientos de rocas en la superficie (Flores, 1930; Ortlieb y Roldán-Quintana, 1981), excepto en la región costera, que fue objeto de levantamiento regional (Gastil y Kruppenacher, 1974). Por otro lado, la parte sinaloense fue objeto de un levantamiento geológico sistemático, de tipo reconocimiento, hace unas tres décadas (Rodríguez-Torres y Córdoba, 1978). A partir de los datos recabados, se pudo establecer en forma razonablemente buena la secuencia estratigráfica e interpretar la naturaleza de las deformaciones que están registradas en las rocas. Los rasgos geográficos físicos, observados también en la superficie, tanto mediante ambulantaje geológico, como mediante inspección de mapas topográficos, fotografías aéreas y, últimamente, imágenes de satélite y modelos digitales de topografía, permitieron inferir la existencia de numerosas fallas, las cuales, a su vez, dividieron toda la región en bloques alargados en dirección NNW-SSE, unos levantados y otros hundidos respecto a otros (Figura 4). Este evento de fragmentación regional ocurrió antes de que la región recibiera la cubierta aluvial extensa que hoy se observa en la superficie. No obstante, aún no está documentada la presencia de fallas que hayan resultado de una

fragmentación regional posterior o penecontemporánea a la acumulación de la extensa cubierta aluvial.

En este punto, sería injusto no mencionar unas palabras sobre la costa del Golfo de California en esta región noroccidental de México. El lector debe tener conciencia, aunque no sea geólogo, de que el Golfo de California es un rasgo marino geológicamente muy reciente —más o menos 5 000 000 años. Su formación se debe a la separación de la península de Baja California de la parte continental de México, mediante un conjunto de fallas geológicas, muchas de las cuales aún están activas. Esas fallas se extienden desde el fondo del Golfo, tanto hacia la península de Baja California, como seguramente a las regiones adyacentes de Sonora y Sinaloa. Como los estudios geológicos efectuados hasta ahora en esta región noroccidental de México han dedicado muy poca atención a las regiones cubiertas por aluvión, la existencia de estas fallas aún no ha sido corroborada (Figura 7). No obstante, la presencia de manifestaciones volcánicas relativamente recientes, como por ejemplo, el campo volcánico El Pinacate, que se ubica prácticamente sobre la frontera internacional, permite inferir que la presencia de fallas relativamente recientes relacionadas con la apertura del Golfo de California jugó un papel determinante en la formación de estos volcanes (Figuras 3 y 8).

En el contexto de este modelo geológico extraordinariamente resumido, se puede observar que la cubierta aluvial, es decir, los grandes abanicos aluviales coalescentes que forman sistemas deltaicos tienen espesores que varían notablemente de un sitio a otro. Además, la granulometría de estos materiales aluviales es igualmente variable e influye en forma determinante sobre la porosidad de los posibles acuíferos. Esta situación, a su vez, complica la localización de los pozos por perforar y la obtención de agua consiguiente. Así, no es sorprendente que a pesar de la tecnología de la que se dispone en la actualidad, en cuanto a la perforación de pozos de agua, la región no se haya desarrollado conforme a su potencial real, básicamente por la falta de conocimiento de las condiciones geológicas del subsuelo, particularmente la de los valles y cuencas intermontanos. Queremos

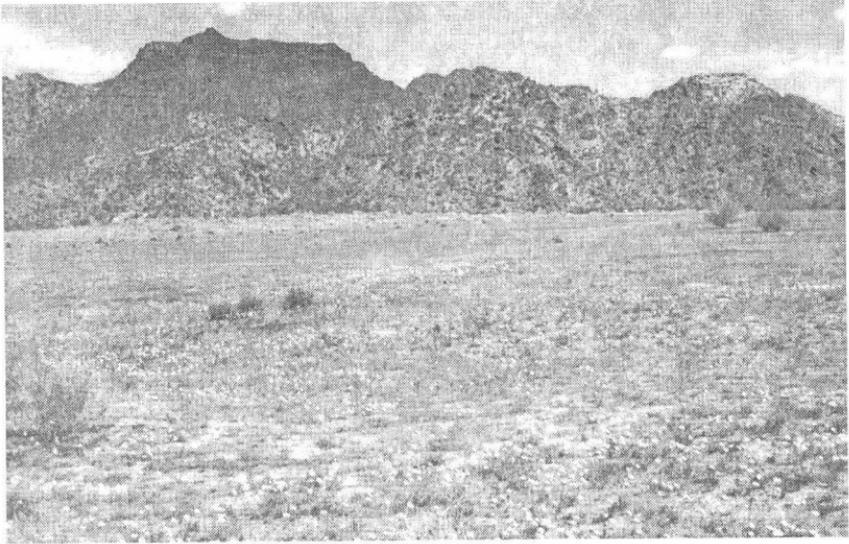


Figura 6. Vista del cauce de un río en la época de estiaje en la parte suroccidental de Sonora. La serranía en el segundo plano de la fotografía está formada por rocas cristalinas antiguas severamente afectadas por la erosión, que está parcialmente cubierta por rocas volcánicas (color más oscuro) más recientes, igualmente afectadas por la erosión. En forma abrupta, los depósitos aluviales en disposición plana tienen contacto con la serranía. Estos depósitos aluviales forman el cauce de esta corriente efímera, donde el flujo de agua en la temporada de lluvias, sobre todo a raíz de lluvias torrenciales, por toda esta planicie se efectúa mediante escorrentía (*sheetflow*). (Fotografía cortesía del Dr. Alberto Burques-Montijo.)

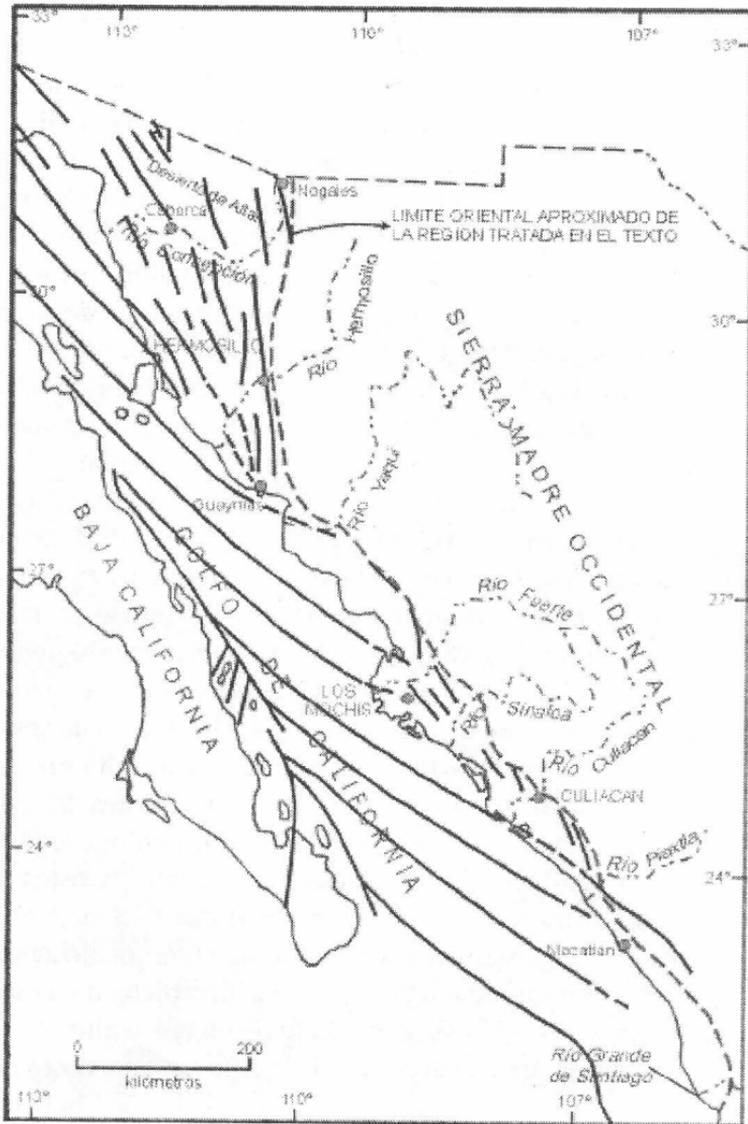


Figura 7. Distribución de fallas en las regiones occidentales de Sonora, Sinaloa y del Golfo de California, documentadas en mapas geológicos e interpretadas a partir de imágenes de satélite.

señalar que, en estudios recientes llevados a cabo en regiones con características climáticas, estratigráficas y tectónicas semejantes a las de la región noroccidental de Sonora, se ha demostrado la presencia de agua subterránea a profundidades considerables (Ferrill *et al.*, 1999), por lo que la exploración geológica del subsuelo está plenamente justificada en el noroeste de México. En este contexto, quisiéramos señalar que durante la segunda mitad de los años setenta del siglo pasado, PEMEX perforó siete pozos exploratorios en el *Desierto de Altar*, que está en la parte septentrional de la parte sonorenses de esta gran región (Figuras 3 y 9), pero ninguno presentó manifestaciones de hidrocarburos (Meneses de Gyves, 1999), y tampoco se tiene información proveniente de esos pozos en cuanto a las condiciones hidrogeológicas subterráneas de la región.

El agua no es un recurso natural abundante y barato, cuando su explotación y uso sobrepasan el equilibrio natural, debido al aumento desmesurado de la población o a los afanes económicos exagerados. Esta apreciación es particularmente válida para regiones áridas y semiáridas. El conocimiento de las condiciones geológicas del subsuelo requiere de más herramientas que el martillo del geólogo. Éstas consisten en métodos directos, como la perforación de sondeos exploratorios; e indirectos, que consisten en el levantamiento de secciones gravimétricas y sísmicas. Los datos provenientes de trabajos exploratorios directos e indirectos permiten al geólogo construir modelos de las condiciones geológicas del subsuelo, y éstos, a su vez, la localización de pozos profundos por perforar. Esta metodología es, ciertamente, comparable a la que se sigue en la localización de pozos petroleros y requiere erogaciones considerablemente grandes, por lo que el agua obtenida así también tiene un costo alto.

Conviene pensar, sin embargo, en el significado del “costo alto”. En abril de 1999, el precio del petróleo mexicano por barril, que contiene 160 litros, era de 12.50 dólares americanos, o 125.00 pesos mexicanos. Al mismo tiempo, un botellón de agua potable para consumo humano en la Ciudad de México, que contiene 20 litros, se vendía por 12.50 pesos mexicanos, y un barril de 160 litros de este

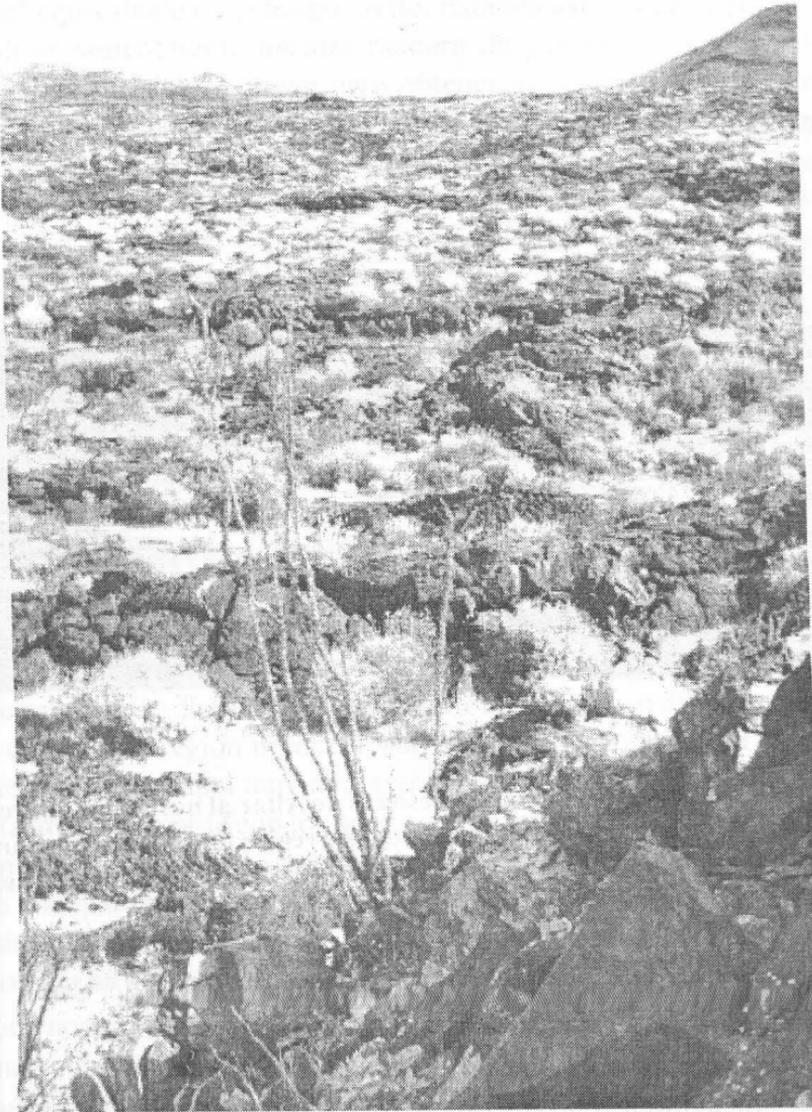


Figura 8. Vista parcial del campo de lava que rodea el centro volcánico El Pinacate en el extremo noroccidental de Sonora. El derrame de lava basáltica muestra un grado de erosión mínimo, que permite inferir que es de una edad geológica relativamente joven. (Fotografía cortesía del Dr. Alberto Burques-Montijo.)

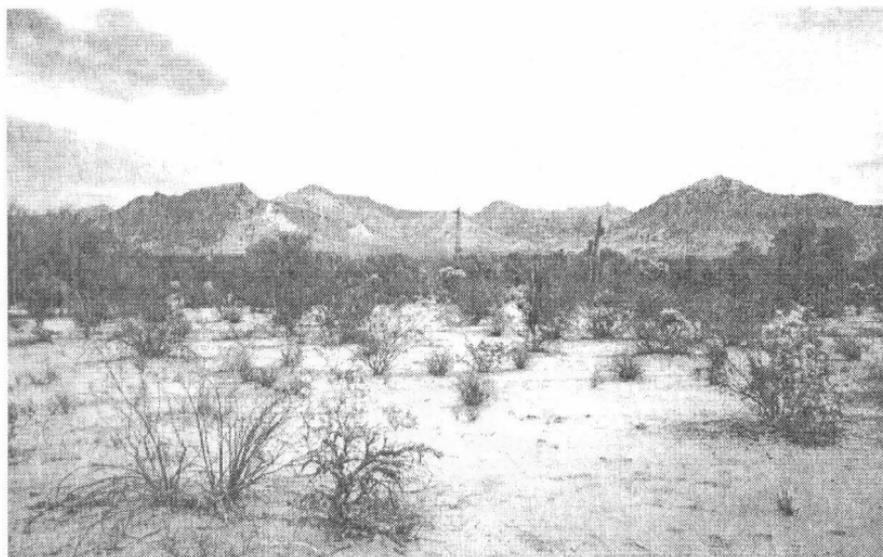


Figura 9. Vista de una parte del Desierto de Altar al norte de Caborca, donde se aprecia la vegetación xerófila de esta región formada por saguaro, huizache y gobernadora. (Fotografía cortesía del Dr. J. L. Rodríguez-Castañeda.)

líquido tenía un valor de 100.00 pesos mexicanos, sólo 25 pesos menos que el equivalente de petróleo crudo. Estando así la situación, debe cambiar radicalmente nuestra manera de pensar en cuanto a la inversión que debe hacerse para obtener agua en regiones como la parte noroccidental de México, particularmente la parte sonorenses.

No sólo debe cambiar nuestra manera de pensar en este aspecto, sino también en cuanto a la administración y manejo de esta agua tan costosa. Este cambio requiere la introducción de cultivos por goteo rentables económicamente y la instalación hidráulica moderna en las casas, previendo el tratamiento de las aguas de drenaje para su uso en las instalaciones sanitarias y riego de jardines. Como a partir de los años cuarenta del siglo xx, cuando hubo un salto notable en el desarrollo de algunas partes de la región desértica y semidesértica del noroeste de México, con la construcción de presas y perforación de pozos de agua en acuíferos relativamente someros, a principios del siglo xxi se puede contemplar otro salto, cuantitativamente de menor magnitud, que permita el desarrollo en esas regiones de los diversos aspectos de los que se ocupa la Geografía.

Es un error muy grave considerar el suministro de agua como la única aportación de la Geología al desarrollo geográfico de una región. En cuanto a la región noroccidental de México, la Geología puede desempeñar un papel muy importante para el desarrollo continuado de la minería, acorde con los principios del siglo xxi, contribuyendo, asimismo, al desarrollo económico y social. Hay que recordar que una gran parte de los yacimientos minerales que se explotaron o que están en explotación ha sido descubierta por gambusinos, donde la Geología ha desempeñado un papel muy limitado. Debido a que esta región noroccidental de México está sobre un cinturón de rocas ígneas y metamórficas, las cuales más al norte, en los Estados Unidos de América, albergan yacimientos minerales de cobre, molibdeno y oro de baja ley, pero de grandes tonelajes, es razonable asumir que tales yacimientos existan también en Sonora y Sinaloa. Éstos no son aparentes en la superficie como los constituidos por vetas, muchas de las cuales se manifiestan por crestos impresionantes, por lo que

son imperceptibles para la mayoría de los gambusinos. El tamaño de los yacimientos alcanza decenas de millones de toneladas y su localización requiere estudios geológicos detallados, apoyados por técnicas geoquímicas y geofísicas, además de programas de perforación de sondeos de diamante con recuperación de núcleos. Las observaciones y premisas aquí expuestas tienen un resultado tangible con el recientemente descubierto yacimiento al norponiente de Caborca, Sonora, conocido con el nombre de La Herradura, que constituye actualmente la mina de oro más importante de México (De la Garza *et al.*, 1998).

La explotación de este tipo de yacimientos involucra grandes excavaciones y movimiento de tierra y roca, actividades cercanas a la ingeniería civil y la construcción. Por otra parte, la roca y tierra extraídas son sometidas a tratamiento metalúrgico, que requiere de sustancias químicas tóxicas, energía y grandes cantidades de agua, así como de un manejo adecuado de los desechos para reducir al máximo la contaminación ambiental, no sólo en la superficie sino en el subsuelo, sobre todo en lo que se refiere a acuíferos. Una operación de esa envergadura, que es una fuente de trabajo para muchas personas, conlleva nuevos asentamientos humanos y la infraestructura necesaria.

Consideramos conveniente señalar que, aparte de los yacimientos minerales metálicos, los minerales industriales o no metálicos representan materiales económicamente muy importantes que pueden ubicarse en el sitio de antiguas cuencas endorreicas o bolsones. Por ello, el estudio geológico apoyado por sondeos exploratorios en los valles intermontanos y cuencas es de suma importancia.

En relación con el desarrollo geográfico de esa región noroccidental de México, particularmente en lo que se refiere a la parte que se encuentra hacia el norte de Guaymas, Sonora, merece mención la cuenca adyacente del Golfo de California, en cuyo fondo hay una secuencia sedimentaria potente, relativamente joven desde el punto de vista geológico, que se acumuló desde la abertura del Golfo mismo. Hace unos 25 años, PEMEX perforó varios pozos en la parte

septentrional del Golfo de California, donde uno de éstos, el pozo *Extremeño-1*, resultó productor con 6.2 millones de pies cúbicos diarios de gas y 120 barriles de condensado. Este pozo no se puso en producción, debido a la falta de infraestructura y a que su producción no justificaba la inversión en la misma (Meneses de Gyves, 1999). Conforme a las tendencias actuales seguidas en la geología petrolera, como acontece en la parte meridional del Mar Caspio (Devlin *et al.*, 1999), esta región marítima adyacente a Sonora pudiera tener perspectivas en cuanto a la presencia de hidrocarburos y, por ende, relevancia en el desarrollo de esa región, que igualmente influiría en los cambios de su entorno geográfico. Sin embargo, cualquier consideración a este respecto deberá hacerse con suma cautela para evitar algún daño en el equilibrio ecológico del golfo. En este contexto, consideramos pertinente señalar que la tecnología de exploración, sobre todo sísmica, ha evolucionado notablemente durante los últimos cinco lustros y, por consiguiente, esa parte del Golfo de California ameritaría otro “vistazo” en cuanto a su potencial real de hidrocarburos. La producción de siete pozos, como la del *Extremeño-1*, por ejemplo, permitiría instalar una planta termoeléctrica de unos 350 MW, que pudiera prever la exportación de unos 300 MW al vecino país del norte.

Es necesario crear conciencia en el sentido de que la Geología sí puede tener aportaciones trascendentales al desarrollo geográfico de esta gran región noroccidental de México, ya que proporciona las bases para el empleo exitoso de nuevas tecnologías para el abastecimiento de agua y minerales, y también para aminorar los riesgos de contaminación de acuíferos subterráneos. Con todas estas aportaciones de la Geología, el desarrollo geográfico real, sin embargo, depende en gran medida del mantenimiento adecuado del equilibrio de la naturaleza, ya que los recursos son finitos. Los avances tecnológicos son rápidos, mientras que los cambios políticos y sociales son mucho más lentos. Los efectos de la llamada “Revolución Verde” son palpables en muchas partes del mundo y también en esa región noroccidental de México (Meadows *et al.*,

1972), por lo que si bien la Geología ofrece ingredientes importantes para su desarrollo, las otras disciplinas de la Geografía, sobre todo económica, social y de población, conjuntamente deben diseñar estrategias para alcanzar el equilibrio.

Las regiones centro-septentrional y central de México

En este apartado, quisiéramos abordar brevemente la geografía y geología de una amplia región de México, que corresponde a la Meseta o Altiplano Central. Esta región se extiende más o menos al norte de la latitud de las ciudades de San Luis Potosí y Aguascalientes, hasta una línea imaginaria que conecta los poblados de Cuencamé, Durango, con Concepción del Oro, Zacatecas (Figura 10). En el oriente, el límite arbitrario es la vía del ferrocarril que liga las ciudades de San Luis Potosí y Saltillo, Coahuila, mientras que en el poniente y norponiente, la carretera federal que pasa por las ciudades de Zacatecas, Durango y Cuencamé. Esta región abarca aproximadamente 60 000 km², con población de unos 2 000 000, mayoritariamente rural, cuya parte importante emigra hacia el norte buscando mejores condiciones económicas.

La Meseta Central está aproximadamente a la misma distancia, es decir, a unos 300 km desde el Golfo de México, en el oriente, y desde el Océano Pacífico, en el poniente. Está prácticamente rodeada por la Sierra Madre Oriental en el oriente y norte, por la Sierra Madre Occidental en el poniente, y en el sur por un promontorio de esta última que se extiende desde el poniente hacia el oriente, hasta la región de la ciudad de San Luis Potosí. Este entorno orográfico ejerció y sigue ejerciendo una influencia, si no es que un control, sobre el clima e hidrografía de esa amplia región. Los vientos procedentes del Golfo de México descargan su humedad en la Sierra Madre Oriental, mientras que los del Océano Pacífico en la Sierra Madre Occidental. En consecuencia, la precipitación anual en la Meseta Central varía de 300 a 500 mm por año (Coria y Mendoza, 1952). Tomando en cuenta las temperaturas relativamente elevadas

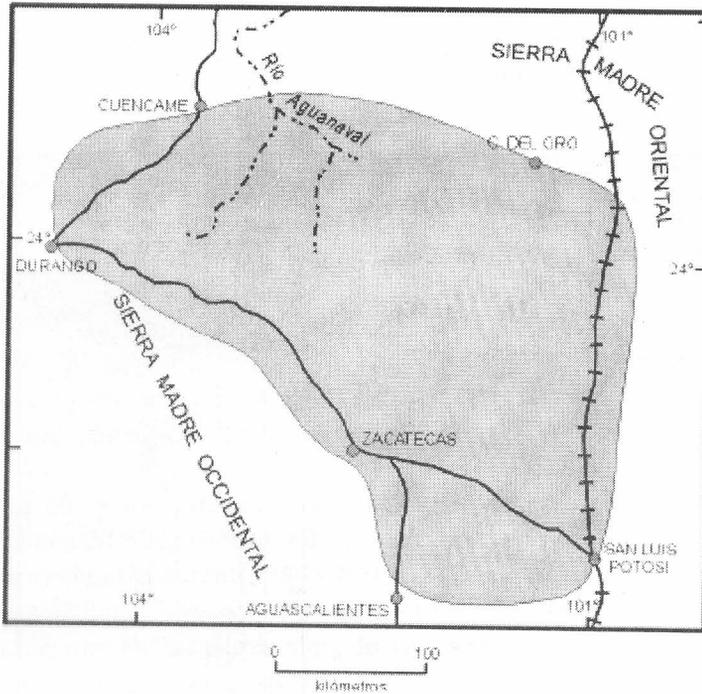


Figura 10. Mapa de las regiones centro-septentrional y central de México (Meseta Central o Altiplano Central).

durante la primavera y el verano (30°C), el factor de la evaporación es un elemento muy importante; de hecho, muy semejante al del noroeste de Sonora, en la reducción del escurrimiento. Esta región comprende un conjunto de cuencas endorreicas, en cuyas partes bajas, durante la temporada de lluvias (junio-septiembre), se forman barriales o lagos efímeros (Figura 11). El único elemento hidrográfico importante se encuentra en la parte centro-septentrional de la Meseta Central y es el río Aguanaval, que lleva a veces bastante agua en la temporada de lluvias y desemboca en la cuenca endorreica cerca de la ciudad de Torreón, Coahuila, cuya parte central se conoce como la Laguna de Mayrán.

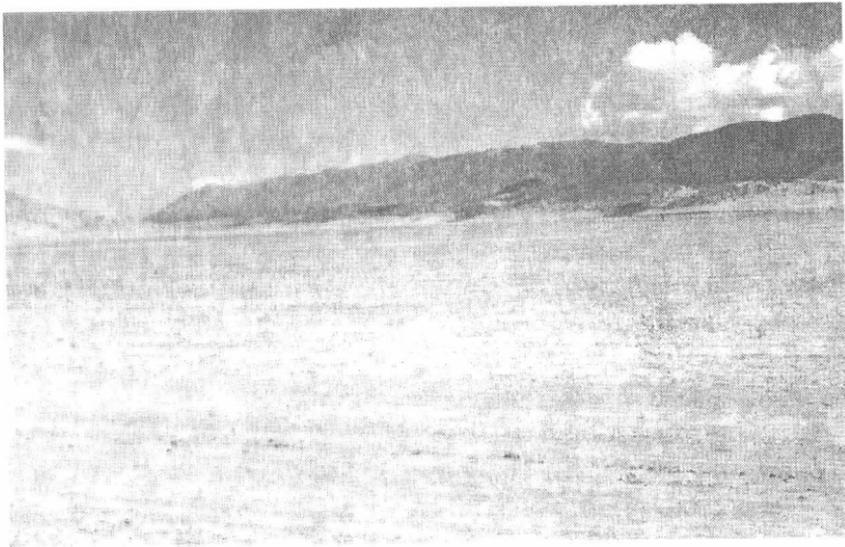


Figura 11. Vista parcial de un bolsón localizado en la parte central de la Meseta Central, entre sierras plegadas formadas por calizas cretácicas, principalmente. Se puede observar en la parte derecha de la fotografía unos lomeríos (en tonalidad más clara) que están formados por lutitas y areniscas del Cretácico Superior, mientras que detrás de éstos, la serranía (en tonalidad más oscura) formada por calizas del Cretácico Inferior, igual que en el fondo de las sierras altas. El relleno de esta cuenca endorreica o bolsón corresponde a la cima de su relleno aluvial y lacustre, y en la época de secas constituye una planicie. (Fotografía del Dr. Zoltan de Cserna.)

Evidentemente, la presencia de cuencas endorreicas en esta región se debe al bloqueo de drenaje, básicamente por causas geológicas, que pueden ser producto de procesos de fragmentación regional o emisiones de rocas volcánicas, las cuales, en última instancia, también están relacionadas con fallamiento. A diferencia del panorama que se observa en la parte occidental de Sonora, por ejemplo, donde las montañas aisladas están rodeadas y semisepultadas por material aluvial muy reciente, en la Meseta Central las sierras y cerros aislados están a menudo rodeados por rocas sedimentarias del Cretácico Superior y Terciario. Estas rocas están truncadas por superficies de erosión que constituyen superficies de arrasamiento (*pediment surfaces*), levemente inclinadas hacia el centro de las cuencas endorreicas, formando auténticas “bajadas” en sentido geomorfológico (Figuras 12 y 13).

La elevación promedio de esta región extensa es de aproximadamente 1 500 msnm, donde las sierras aisladas conforman un relieve topográfico de entre 300 y 400 m. La Meseta Central posee una vegetación que corresponde a *matorral xerófilo* (Rzedowski, 1978), y solamente en las partes altas de las sierras aisladas se observa encinares ralos (*Quercus* sp.).

La información geológica sobre esta amplia región proviene de estudios en cierta forma aislados (Burkart, 1836; González-Reyna, 1946; Albritton, 1958; Córdoba, 1965; García-Calderón, 1976; Ledezma-Guerrero, 1981; Labarthe *et al.*, 1982; Padilla y Sánchez, 1983; Anderson *et al.*, 1987). No obstante, se puede formular una idea general sobre su constitución geológica.

Las sierras y cerros aislados de la Meseta Central están alineados en dirección NW-SE, y mayoritariamente corresponden a estructuras anticlinales, localmente modificadas por cabalgaduras, formadas en calizas del Cretácico Inferior. Algunas de las prominencias topográficas mayores son estructuras anticlinales, en cuyos núcleos afloran rocas más antiguas, incluyendo metamórficas, sin que sepamos hasta ahora con certeza sus edades geológicas. A menudo, estas sierras están también intrusionadas por cuerpos graníticos menores; no obstante,

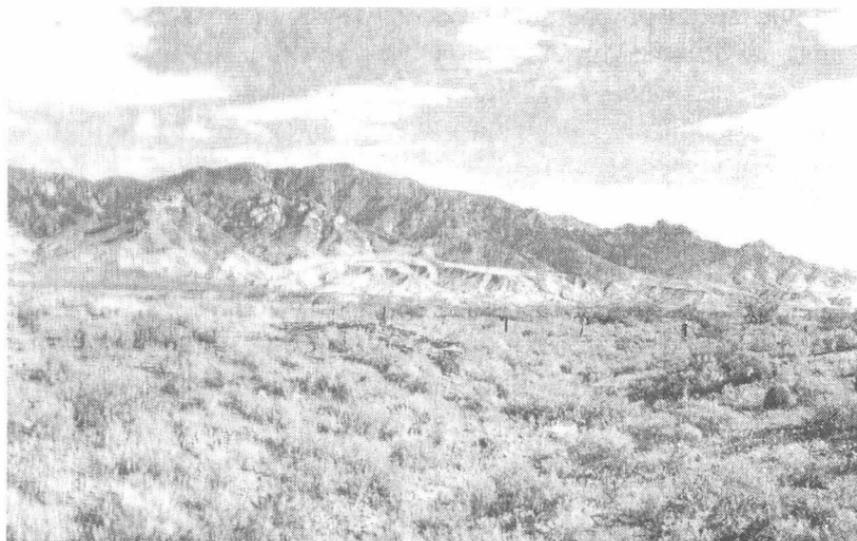


Figura 12. Vista panorámica de un bolsón entre dos sierras formadas por calizas del Cretácico Inferior, que constituyen las elevaciones altas, a la derecha e izquierda en el fondo de la fotografía, donde se observa también la pendiente suave (*bajada*) que desciende desde la sierra localizada en la izquierda. Se puede apreciar el relleno del bolsón (en tonalidad clara) que se extiende entre las dos sierras. No obstante, hacia el primer plano de la fotografía, es decir, hacia el observador, este relleno ya no es continuo y está presente en forma de pequeñas mesetas aisladas (*buttes*) coronando lutitas y areniscas del Cretácico Superior que fueron truncadas por una superficie de erosión correspondiente a una superficie de arrasamiento (*pediment surface*), que se desarrolló antes de la acumulación del relleno del bolsón. Estos vestigios del relleno del bolsón que forman las pequeñas mesetas evidencian que este particular bolsón o cuenca endorreica logró tener desagüe a raíz de que el nivel de base hidrográfico descendió en algún sitio hacia la derecha de la fotografía, probablemente debido a fallamiento muy reciente, permitiendo la erosión y acarreo de gran parte del relleno original del bolsón. (Fotografía del Dr. Zoltan de Cserna.)

las estructuras evidencian los efectos de deformación compresiva que resultó en plegamiento y, en menor grado, en cabalgamiento. En algunos sitios se observa la presencia de restos de rocas sedimentarias continentales de color morado y de rocas volcánicas, ambas del Terciario. La anchura de los valles entre las sierras y cerros, o de las cuencas endorreicas, permite inferir la presencia de numerosas fallas que resultaron de una fragmentación regional en tiempos posteriores al plegamiento, evento tectónico muy importante que aún sigue sin documentación geológica (cf. Faulds y Stewart, 1998, lám. 1). Esta fragmentación produjo bloques levantados o hundidos; los primeros forman las sierras y cerros, mientras que los segundos, los valles y cuencas endorreicas. Se muestran las fallas y fracturas mayores de esta región en la Figura 14, y su presencia ha sido interpretada a partir de imágenes de satélite y de modelos topográficos digitales.

Independientemente de la trayectoria del antiguo *camino real* que se dirigía durante la época colonial a la ciudad de Santa Fe, hoy del estado de Nuevo Mexico en los Estados Unidos de América, y que atravesaba la Meseta Central, el desarrollo geográfico de esta región tuvo su verdadero inicio con la construcción del ferrocarril hacia finales del siglo XIX, impulsada en buena parte por la actividad minera (Coll-Hurtado, 2000). Fue así como empezaron a establecerse asentamientos humanos y rancherías, y se llevó a cabo la explotación más intensiva de algunos yacimientos minerales, esencialmente plomo y zinc con buenos contenidos de plata y algo de oro. Este desarrollo dependía en buena medida de una agricultura de temporal, auxiliada por agujajes y manantiales, así como por la construcción de pequeñas presas o “tanques” de tierra para almacenar las aguas de la lluvia del verano. En forma simultánea a este desarrollo, debe mencionarse el proceso de deforestación desmesurada, provocado en gran medida por la minería, que necesitaba la madera para ademe y también para sus fundiciones. Por otra parte, la población en constante aumento necesitaba combustible. Sin embargo, aun con este progreso, un análisis general del desarrollo geográfico de la Meseta Central nos indica que es una región subdesarrollada, si se considera su potencial

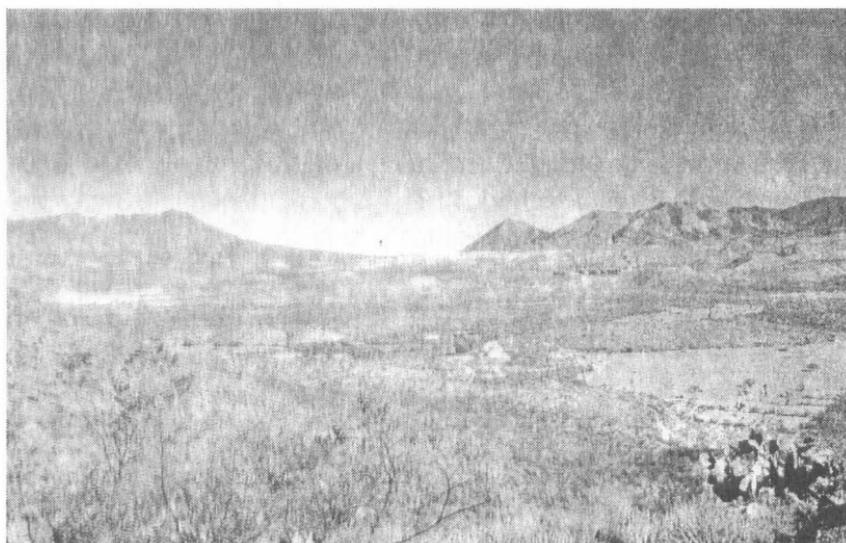


Figura 13. En el fondo de esta vista panorámica, la sierra está formada por calizas del Cretácico Inferior plegadas e intrusionadas por un tronco granítico un poco hacia la izquierda del centro de la fotografía. El complejo montañoso está severamente afectado por la erosión. En el primer plano de la fotografía se puede observar estratos formados principalmente por conglomerados (conglomerado rojo del Terciario) que están inclinados hacia la sierra y típicamente cubiertos por vegetación xerófila, sobre todo gobernadora (*Larrea*), biznaga (*Echinocactus*), huizache (*Mimosa*) y palmas. La inclinación de estos estratos implica la presencia de una falla mayor localizada probablemente a lo largo del frente de esta sierra, que permitió el ladeo o basculamiento de estos estratos contra la sierra. En algún tiempo más reciente, toda la región quedó cubierta por el relleno de bolsón, cuyos vestigios o reliquias se observan inmediatamente enfrente de la sierra (en tonalidades más claras). En resumen, esta fotografía muestra un nivel de erosión inferior al que se observa en la Figura 12. (Fotografía del Dr. Zoltan de Cserna.)

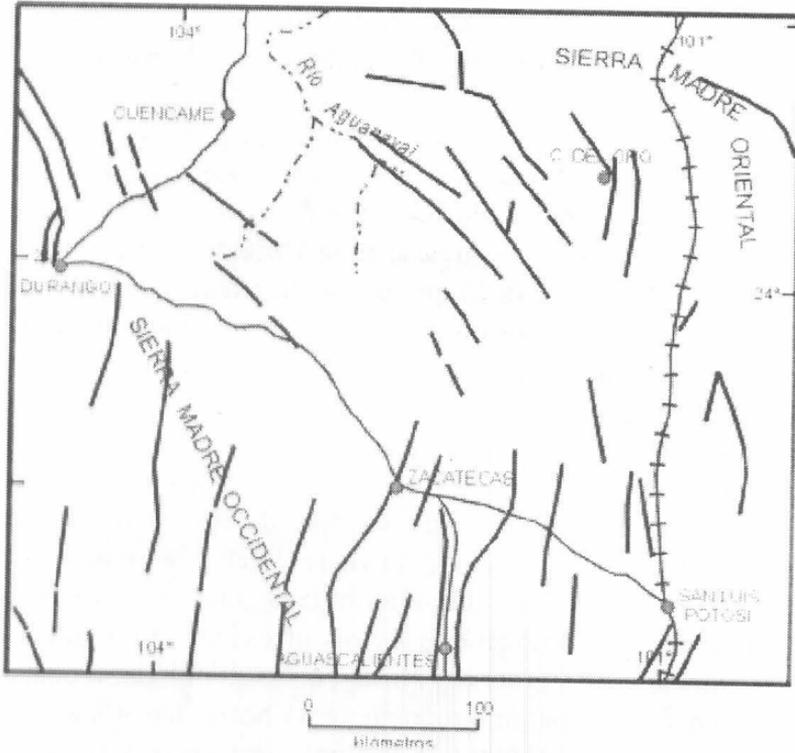


Figura 14. Croquis que muestra las fallas y fracturas de las regiones centro-septentrional y central de México, interpretadas a partir de datos geológicos, imágenes de satélite y topografía digital.

real en términos geológicos y en términos de la tecnología disponible en los albores del siglo XXI.

En la Meseta Central, al igual que en la parte noroccidental de Sonora, la disponibilidad del agua es el factor fundamental para su desarrollo geográfico. A diferencia de Sonora, las condiciones geológicas del subsuelo para encontrar agua en acuíferos más profundos son menos complicadas. Esta diferencia radica en que la secuencia cretácica sufrió menos erosión en los bloques hundidos, quedando como consecuencia, en buena parte preservadas las areniscas y lutitas del Cretácico Superior sobre las calizas del Cretácico Inferior, básicamente por la cubierta aluvial del Terciario-

Cuaternario (*cf.* Figura 1). Inclusive, esta situación promete encontrar, en algunos sitios, condiciones artesianas en acuíferos calizos del Cretácico Inferior.

Para la localización de pozos profundos, sin embargo, es preciso utilizar la geología del subsuelo de la forma en que se señaló para Sonora y Sinaloa, empleando métodos de exploración directos e indirectos. El agua que se obtuviese en la Meseta Central tendría un costo elevado también, por lo que su administración requeriría del empleo de una agricultura moderna, que aprovechara tecnologías exitosas de países áridos como, por ejemplo, la de Israel.

En las sierras y cerros formados por calizas, que están ampliamente distribuidos en la Meseta Central, existen millares de manifestaciones de mineralización metálica. Si bien éstas fueron observadas por los gambusinos y lugareños, en la mayoría de los casos han sido descartadas por pequeñas y por no representar interés económico (Figura 15). Afortunadamente, durante la segunda mitad del siglo xx, el estudio de la metalogénesis tuvo avances muy importantes —no necesariamente en América del Norte— que nos obligan a observar las cosas en forma diferente a como se ha hecho hasta ahora. Las manifestaciones de mineralización, insignificantes en realidad, pueden representar halos geoquímicos en torno a yacimientos minerales muy importantes y grandes en el subsuelo (De Cserna, 1976), en cuya exploración la geología del subsuelo forzosamente debe auxiliarse con métodos geoquímicos y geofísicos. A su vez, los yacimientos localizados y puestos en explotación pueden cambiar por completo la geografía de algunas partes de la Meseta Central.

Otro aspecto íntimamente relacionado con la geología es el de las cuencas endorreicas o bolsones, cuya parte central constituye los barriales, y se caracteriza por la acumulación de sedimentos clásticos de granulometría fina a muy fina, como las arcillas, así como evaporitas, particularmente sal (Figura 16). De buenas arcillas se fabrican buenos tabiques, ladrillos, tejas y otros productos para la industria de la construcción. Es imperativo abandonar el empleo de ladrilleras con fogones de leña (porque ya no hay), y en su lugar

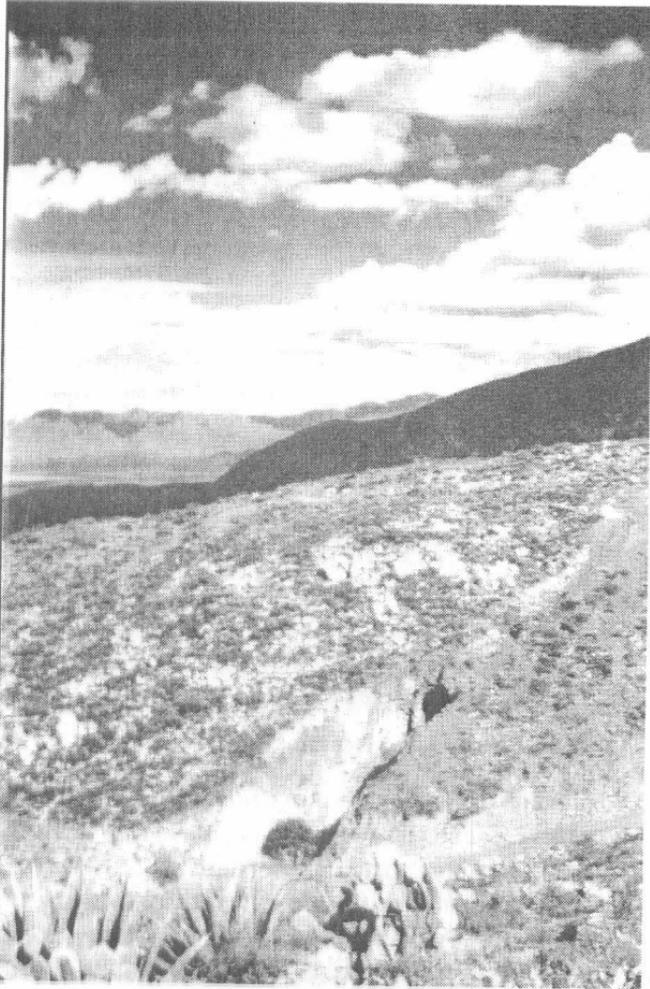


Figura 15. Una pequeña mina abandonada que fue abierta en la zona de contacto entre areniscas y lutitas del Cretácico Superior y un intrusivo granítico del Terciario, siguiendo mineralización de plomo argentífero. Obviamente, por razones económicas, ya que la mineralización no era costeable, la pequeña mina quedó abandonada. Existen centenares de estas minas abandonadas en la Meseta Central. (Fotografía del Dr. Zoltan de Cserna.)

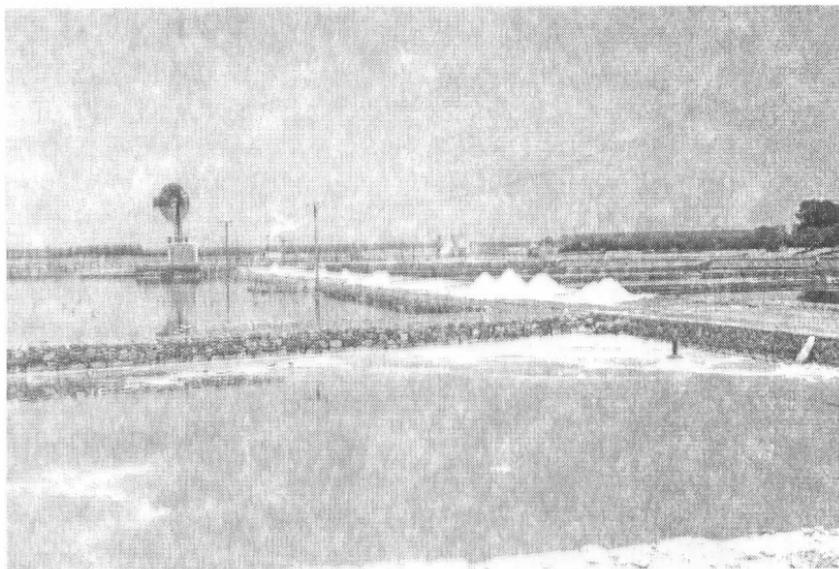


Figura 16. El poblado de Salinas se ubica a medio camino entre las ciudades de San Luis Potosí y Zacatecas, estando en la parte central de los bolsones más grandes de la Meseta Central. Las evaporitas, en este caso la sal, se forman en las partes centrales de las cuencas endorreicas. En esta localidad la sal comenzó a explotarse en forma *quasi* industrial para extraer los metales mediante el Proceso de Patio de Medina, en las menas de las minas de Zacatecas en tiempos coloniales. La fotografía muestra los estanques de evaporación, de los cuales se recolecta la sal. (Fotografía del Dr. Zoltan de Cserna.)

utilizar piedra de carbón proveniente de la región septentrional del estado de Coahuila, transportada por la vía férrea que atraviesa la Meseta Central.

Consideramos conveniente mencionar unas palabras referentes a la relación que existe en algunas partes de esta región entre la Geografía de la salud y la Geología. En la región de la ciudad de Durango, es notorio observar que la población tenía, y creemos siga teniendo, dientes con tintes de color café o marrón. Los odontólogos denominan esta manifestación *hiperfluoridía*, provocada por el consumo de agua con contenidos altos de flúor. Este fenómeno, pues, no debe extrañar a nadie, ya que los acuíferos explotados para suministrar el agua potable en esta región contenían, y posiblemente sigan conteniendo, altas concentraciones de flúor, que provienen de las rocas volcánicas del Terciario ampliamente distribuidas en la zona limítrofe oriental de la Sierra Madre Occidental con la Meseta Central. La presencia de flúor abundante en las rocas de esta región está evidenciada en forma espectacular en la mina Cerro de Mercado, en las inmediaciones de la ciudad de Durango, donde la mena de hierro contiene cantidades importantes de fluorapatita en cristales grandes. Esta situación, obviamente, requiere la reconsideración de las fuentes del sistema de agua potable para esa región, tanto en términos geológicos como tecnológicos, para el bien de la salud de la población involucrada.

La parte central de la Zona Neovolcánica Transmexicana

Esta extensa región atraviesa prácticamente toda la República en dirección este-oeste y comprende la parte más densamente poblada del país (unos 30 millones) entre los paralelos 19 y 20° N, abarcando un territorio de unos 90 000 km² (Figura 2). Este rasgo morfológico ya fue observado por von Humboldt hace dos siglos durante su estancia en México; no obstante, su naturaleza tectónico-volcánica la dio a conocer más tarde (von Humboldt, 1845-1861). Desde entonces, este rasgo morfológico quedó arraigado en la literatura geográfica y

geológica mexicana con los nombres de “Eje Neovolcánico”, “Cordillera de Anáhuac” o “Zona Neovolcánica Transmexicana”. Investigaciones más recientes sobre la abertura del Golfo de California en cuanto a su marco tectónico regional, en torno de la subducción a lo largo de la costa meridional de México, y en cuanto a la naturaleza petrológica y geoquímica de los volcanes que se encuentran burdamente entre la ciudad de Guadalajara y la costa de Nayarit, permitieron considerar ese sector occidental como una de las subprovincias morfotectónicas de la Zona Neovolcánica Transmexicana (*cf.* De Cserna, 1961 *vs.* De Cserna, 1992). Por consiguiente, en este ensayo no trataremos la totalidad de la Zona Neovolcánica Transmexicana, sino solamente su sector central, que se encuentra entre las ciudades de Guadalajara, en el poniente, y Puebla, en el oriente (Figura 17) y que se considera íntimamente relacionado con el proceso de la subducción de la Placa Cocos debajo de la Placa América del Norte, a lo largo de la costa meridional de México.

La altura promedio de este sector central es de unos 2 000 msnm en su mitad oriental, mientras que en su parte occidental disminuye paulatinamente a 1 000 msnm o menos. En la mitad oriental se encuentra la segunda prominencia topográfica más alta de México, el Popocatepetl (5 452 m) que está a corta distancia de la capital de la República (Figura 18). El clima de esta región es subhúmedo con precipitación principalmente durante los meses de junio a septiembre, que registra un promedio anual entre 800 y 1 400 mm (Coria y Mendoza, 1952). La vegetación de esta región corresponde a *bosque de coníferas* y *Quercus*, principalmente, y colinda por el norte con áreas de extensión considerable de *bosque espinoso*, y en menor grado, con áreas de *pastizal*; por el sur, la región limítrofe de esta parte de la Zona Neovolcánica Transmexicana se caracteriza por *bosque tropical caducifolio* (Rzedowski, 1978).

Geológicamente, este sector central de la Zona Neovolcánica Transmexicana es una región relativamente joven, tectónicamente aún activa (Suter *et al.*, 2001), formada mayoritariamente por rocas

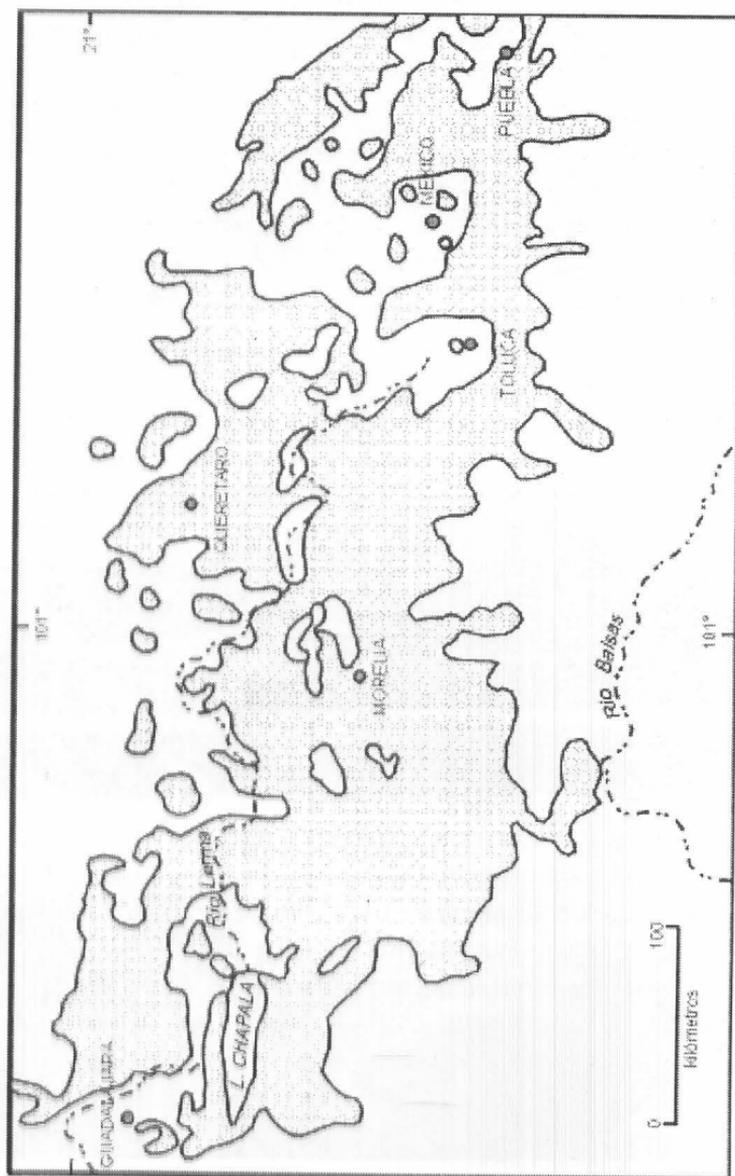


Figura 17. Mapa de la parte central de la Zona Neovolcánica Transmexicana.

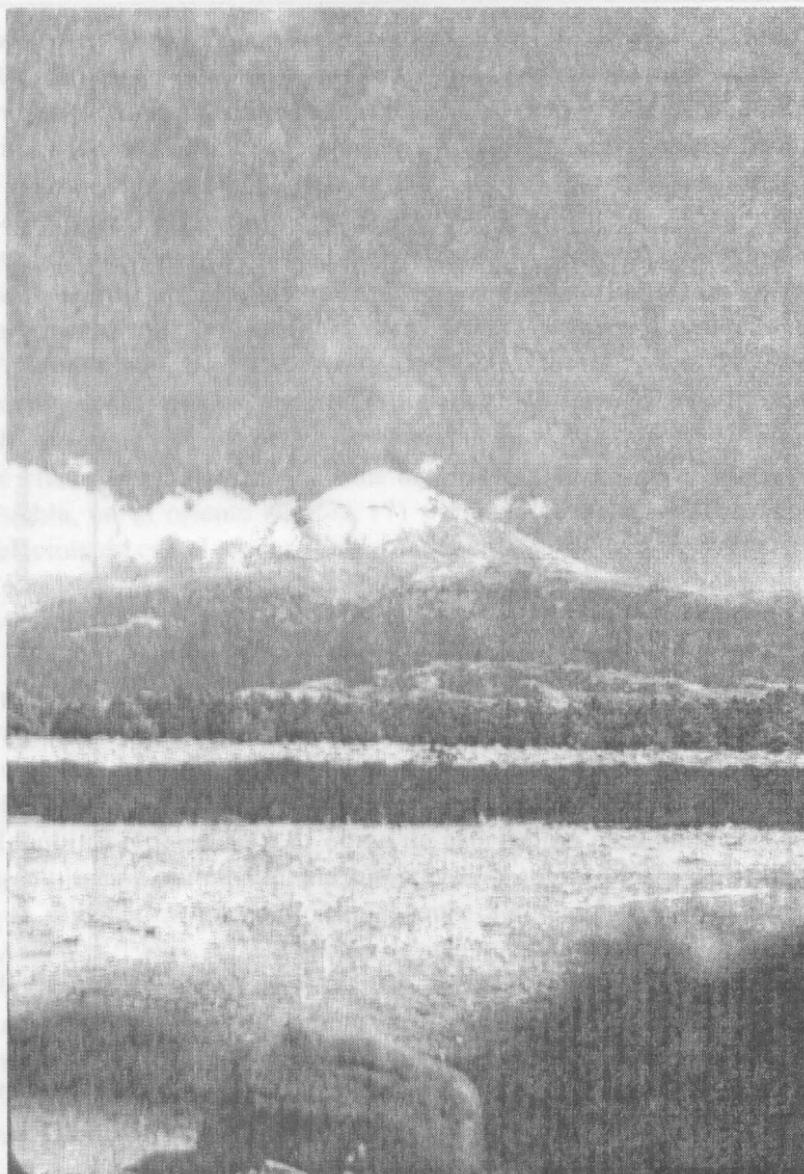


Figura 18. El volcán Popocatépetl. Fotografía tomada en 1952 desde las cercanías de Amecameca, por el Dr. Zoltan de Cserna.

del Plioceno-Holoceno, aunque en algunos sitios se registran rocas del Mioceno tardío (*cf.* Figura 1). Esta subprovincia morfotectónica (Guzmán y De Cserna, 1963), a grandes rasgos corresponde a un altiplano volcánico formado por estratovolcanes poligenéticos, volcanes monogenéticos con conos cineríticos relacionados (Figura 19), calderas complejas, cráteres de explosión (*xalapascos* y *axalapascos*; Figura 20) e innumerables derrames de lavas y depósitos piroclásticos, que se edificaron sobre rocas mesozoicas plegadas y cabalgadas, y sobre depósitos clásticos continentales que contienen, en menor grado, también rocas volcánicas. La mayor parte de todos estos rasgos y productos volcánicos corresponde en composición a andesitas basálticas; no obstante, existen manifestaciones riolíticas, riódacíticas y hasta basálticas (Williams, 1950; Demant, 1978; Robin, 1982; Hasenaka y Carmichael, 1985; Pasquaré *et al.*, 1991).

Como resultado del régimen climático de esta provincia, las rocas principalmente andesítico-basálticas se prestaron al desarrollo de buenos suelos (*andosoles*, *vertisoles*, *feozems* y *luvisoles*; Aguilera-Herrera, 1989). Estos suelos, a su vez, facilitaron la proliferación de bosques sobre los rasgos topográficos más elevados. En las áreas más bajas y relativamente planas, sobre sedimentos lacustres, se desarrolló la agricultura, principalmente el cultivo de maíz y sorgo y, desde luego, diferentes variedades de *agave*.

Se considera muy importante tomar en cuenta que el entorno geográfico de esta región no ha sido creado únicamente por rasgos geológicos volcánicos, ya que existen regiones o áreas de extensión considerable que tuvieron como escenario natural grandes lagos, cuyos remanentes de algunos aún existen en esta región, como son *Chapala*, *Cuitzeo*, *Pátzcuaro*, por mencionar sólo algunos (Figuras 21 y 22). De hecho, en un estudio relativamente reciente (De Cserna y Álvarez, 1995) se consideró que existía un paleolago de tamaño considerable, el *Lago Xalisco*, cuya extensión pudo haber abarcado la cuenca hidrográfica del actual río Lerma, basándose esa interpretación paleogeográfica en la presencia de sedimentos lacustres, que en algunos sitios o áreas alcanzaron espesores considerables. En



Figura 19. Un cono volcánico cinerítico al sur de la ciudad de Cuernavaca, Morelos, que constituye una de las manifestaciones más meridionales del sector oriental de la parte central de la Zona Neovolcánica Transmexicana. La naturaleza reciente de este cono se deduce de la mínima erosión que se manifiesta en el flanco del mismo. (Fotografía Dr. Zoltan de Cserna.)

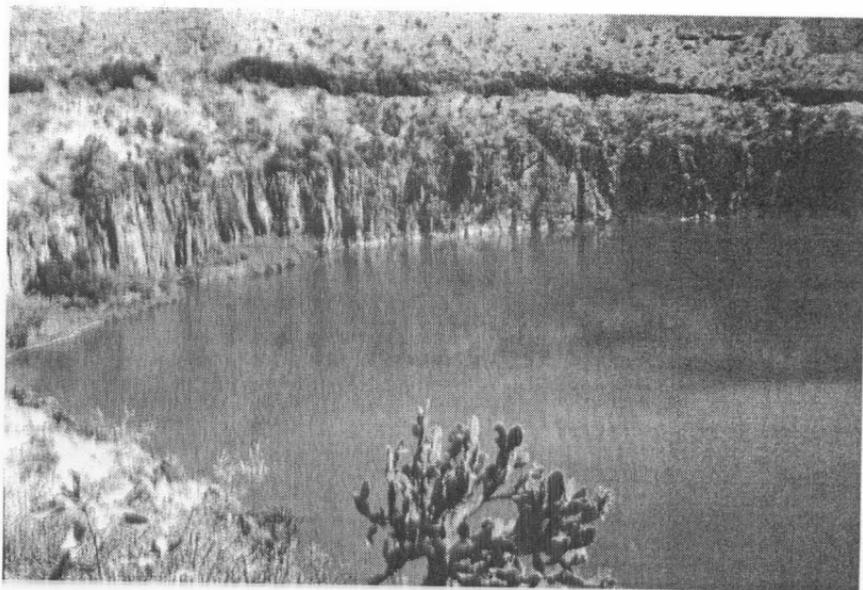


Figura 20. Cráteres de explosión (*Maar*) con laguna adentro (*xalapasco*) o sin laguna (*axalapasco*); existen en varios sitios de la Zona Neovolcánica Transmexicana y también en la Meseta Central. La caldera junto al poblado de Valle de Santiago, Guanajuato, es uno de estos cráteres de explosión. (Fotografía del Dr. Zoltan de Cserna.)



Figura 21. Paisaje de la parte central de la Zona Neovolcánica Transmexicana al noroeste del Lago de Pátzcuaro, en Michoacán. Los cerros corresponden a volcanes en escudo, mientras que las planicies están formadas por depósitos aluviales y lacustres que se prestan para la agricultura. El poblado en el centro de la fotografía es Matugeo, Michoacán. (Fotografía tomada en 1958 por el Dr. Zoltan de Cserna.)

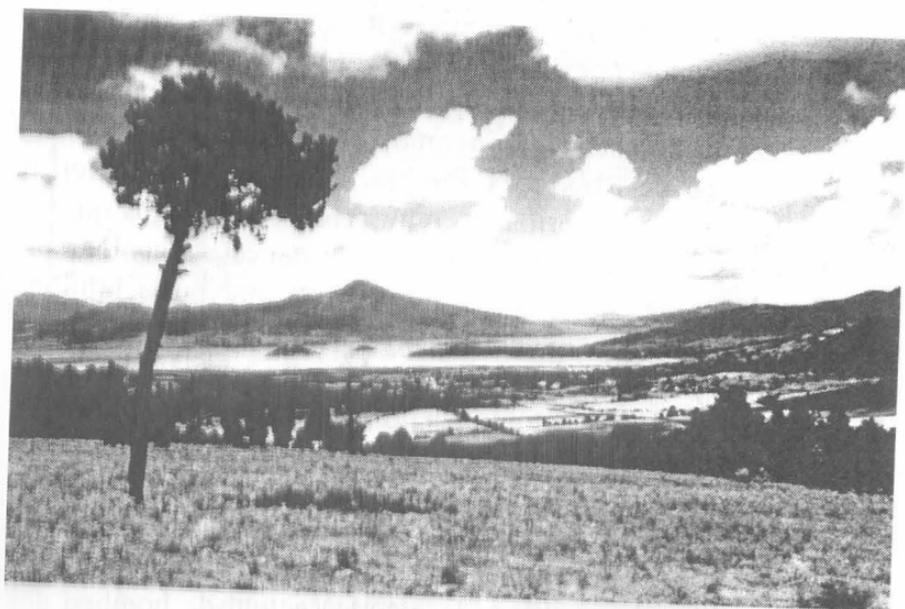


Figura 22. Vista panorámica del Lago de Pátzcuaro. En el fondo se destaca el volcán en escudo Cerro El Bosque, mientras que la isla mayor dentro del lago es Janitzio. El lago en sí se formó sobre el cauce de un río y de sus afluentes que fluyeron hacia el sur, pero que quedó bloqueado por la formación de volcanes y sus productos asociados que fueron constituyendo una presa natural, cuyo reservorio es el actual Lago de Pátzcuaro. (Fotografía del Dr. Zoltan de Cserna.)

este caso, como en otros, la formación de lagos es consecuencia de la obstrucción del drenaje natural hacia el mar. En esta parte de la Zona Neovolcánica Transmexicana, la obstrucción del drenaje natural fue consecuencia, mayoritariamente, de la actividad volcánica, aunque intervinieron también fallas geológicas de orientación E-W (Figura 23; Israde-Alcántara *et al.*, 1992; Garduño-Monroy *et al.*, 2001).

Al observar la distribución de los principales asentamientos humanos dentro de esta región, como son Guadalajara, Morelia, Toluca, Ciudad de México y Puebla, éstos se establecieron prácticamente sobre las orillas, o muy cerca de los lagos que se formaron en esta extensa región, naturalmente por causas geológicas.

El problema más grave de esta región es también la falta de agua, debida fundamentalmente a su relativa sobrepoblación (sobre todo en las áreas urbanas), a las industrias y a su agricultura cada vez más intensiva. Estos factores han propiciado la sobreexplotación del agua de la cuenca hidrográfica del río Lerma y su desmesurada contaminación. La complejidad de este escenario fue abordada en su conjunto por De Cserna y Álvarez (1995) y todo parece indicar que mientras la ciudad de Guadalajara no resuelva su abastecimiento de agua potable, abandonando la práctica actual de bombeo del Lago de Chapala, la situación seguirá empeorando. El entorno geológico de la región occidental de este sector central de la Zona Neovolcánica Transmexicana necesariamente indica que el abastecimiento de agua potable de la ciudad de Guadalajara debe contemplar al río Juchipila y, posiblemente, al río Verde también. Por otra parte, la reducción de la contaminación del río Lerma requiere de un sistema moderno de conducción y distribución de aguas obtenidas de pozos, y la conducción de las aguas negras y contaminadas por un canal directamente al río Grande de Santiago.

La cuenca endorreica de la Ciudad de México (Cuenca de Tenochtitlan)

La cuenca endorreica de la Ciudad de México forma parte del sector central de la Zona Neovolcánica Transmexicana y es la que mayor

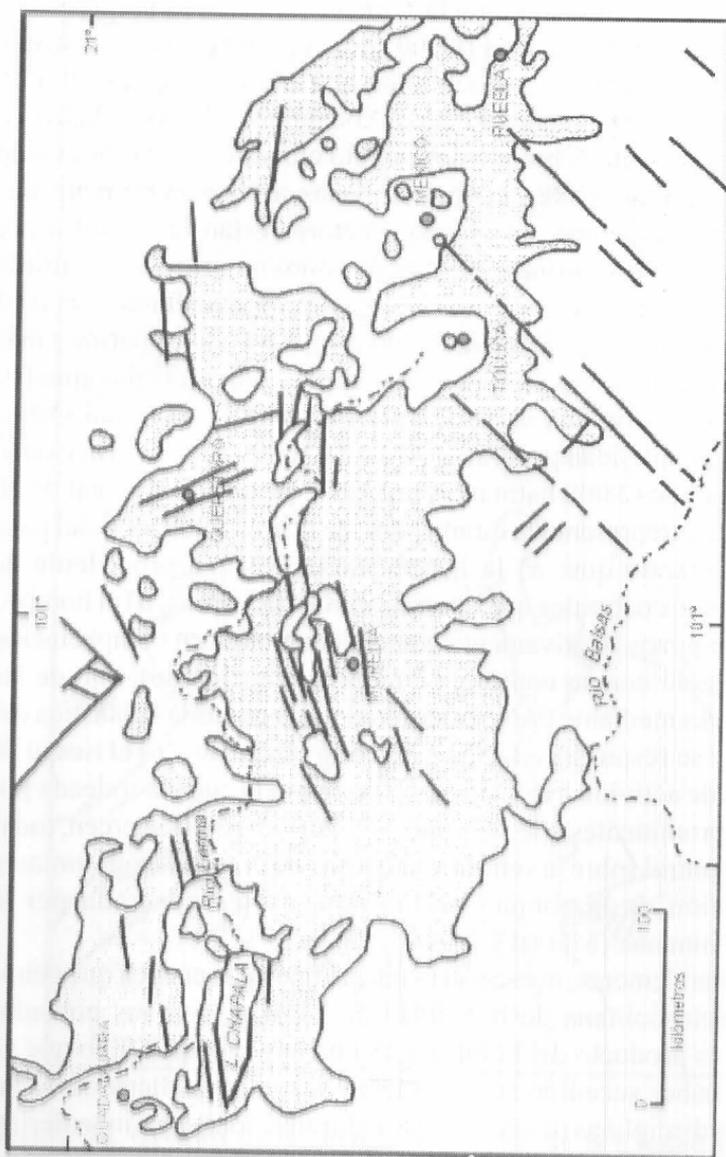


Figura 23. Croquis que muestra las fallas y fracturas de la parte central de la Zona Neovolcánica Transmexicana, interpretadas a partir de datos geológicos, imágenes de satélite y topografía digital.

complejidad representa para la geografía *sensu lato* en cuya parte centrooccidental se encuentra la Ciudad de México (Figura 24). Abarca una superficie de unos 10 000 km² y su parte plana fue ocupada por un lago grande (Lago Tenochtitlan) que, con el tiempo, se dividió en cinco lagos más pequeños (Chalco, Xochimilco, Texcoco, Xaltocan y Zumpango), como resultado del cambio climático y de la actividad humana (Anónimo, 1888). Las partes planas, antiguamente ocupadas por agua de la cuenca, en algunos sectores están tachonadas por aparatos volcánicos, principalmente de conos cineríticos. La altitud general de la cuenca es de unos 2 240 msnm y actualmente registra una precipitación media anual de 700 mm, teniendo el periodo más húmedo entre junio y septiembre. La temperatura promedio anual es de unos 18° C, con una variación diurna de 10° C (Jáuregui-Ostos, 2000). La complejidad geográfica de esta región se debe a la densidad de su población (2 000 habitantes por km²), llegando a un total de 20 millones, que representa la quinta parte de la población total del país.

Considerando que: *a*) la insuficiencia de agua procedente de escurrimientos naturales que desembocan en la cuenca; *b*) el bombeo de agua de pozos relativamente someros que inducen compactación en el subsuelo con su constante hundimiento; *c*) el desalojo de las aguas negras mediante drenaje artificial; *d*) la naturaleza plástica del subsuelo y su respuesta adversa a las ondas sísmicas; *e*) el riesgo de aparición de actividad volcánica y *f*) estando la cuenca rodeada por serranías prominentes que alcanzan 3 000 msnm o más, ejercen, todas éstas, un control sobre la ventilación natural de la cuenca, que aminora la dispersión de la contaminación atmosférica generada por la actividad humana (Marsal y Mazari, 1959).

Lamentablemente, el escenario geográfico de la cuenca que ocupa el área metropolitana de la Ciudad de México, con sus poblados satélites, es producto del hombre y es un claro ejemplo de lo que no debía de haber sucedido si se hubieran seguido los dictados de las diferentes disciplinas de las ciencias naturales, sociales e ingenieriles (Lemoine-Villicaña, 1978). Las décadas venideras, por consiguiente, tendrán que estar enfocadas a las actividades para remediar o

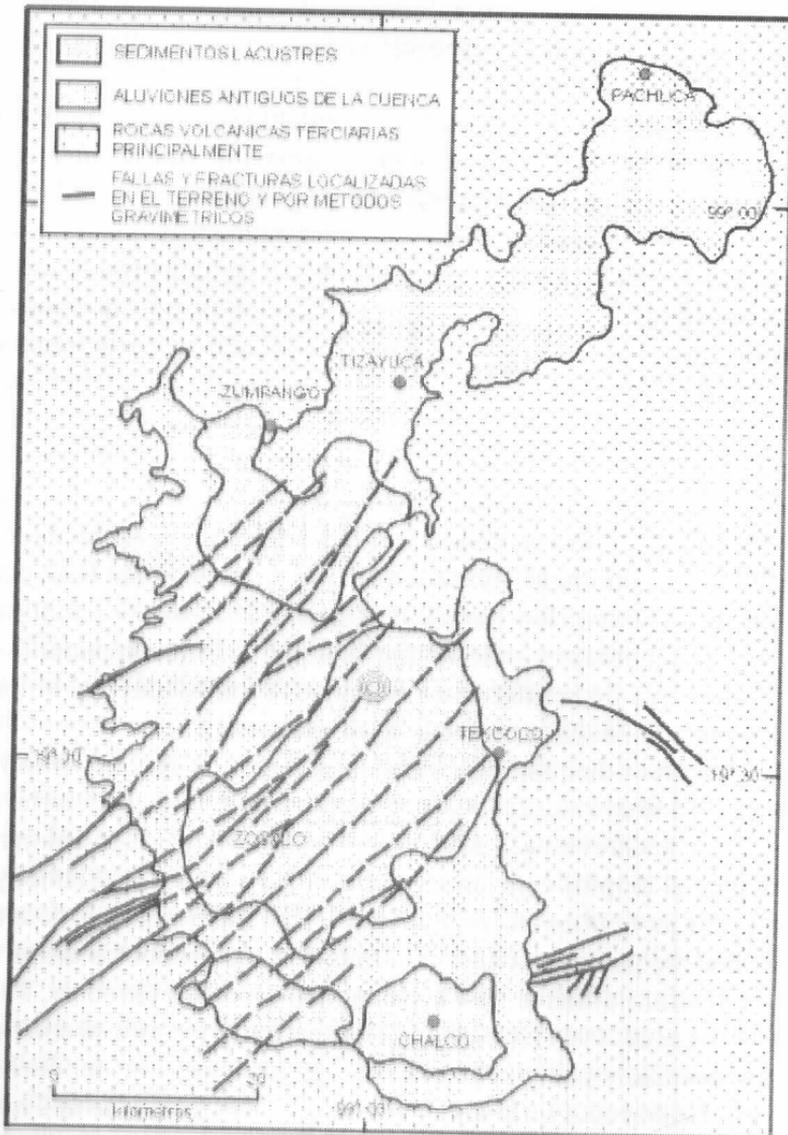


Figura 24. Croquis de la cuenca endorreica de la Ciudad de México (Cuenca de Tenochtitlan).

“enderezar” los graves errores cometidos, básicamente durante el siglo xx, por la ausencia de planeación adecuada, motivada por afanes económicos o políticos.

Los cimientos de un desarrollo sustentable son la constitución o configuración geológica de un área o región y su aprovechamiento racional, en cuanto a los recursos que la geología provee. ¿De qué recursos estamos hablando? –La presencia y tamaño de los acuíferos; la calidad del subsuelo para el soporte de las construcciones; el desagüe o drenaje adecuados de la región; los riesgos que pueden representar la sismicidad y la actividad volcánica. Estos recursos constituyen los parámetros básicos geológicos para los cimientos de un desarrollo sustentable de un área o región, que va a traducirse en la geografía *sensu lato*, que incluya el tamaño de la población que podrá alojar y las edificaciones que podrá soportar. Todo lo demás dependería del clima y de la actividad del hombre, incluyendo el empleo de la tecnología. Es claro que en la cuenca donde se ubica la Ciudad de México, los parámetros geológicos básicos han sido rebasados con creces y todo lo que está por delante dependerá casi exclusivamente de la intervención humana (control del crecimiento de la población, economía, tecnología, etcétera).

Mucho antes de que apareciera el hombre en la región central de México, el drenaje natural desde la Sierra de Pachuca en el norte, era hacia el sur, hacia el estado de Morelos (Osorio-Tafall, 1946), alojando este cauce el amplio valle entre la Sierra Nevada, en el oriente, y la Sierra de Las Cruces, en el poniente. Hace medio millón de años, este valle fue paulatinamente obturado por los productos eruptivos que edificaron la Sierra de Chichinautzin en el sur (Mooser, 1961; De Cserna *et al.*, 1987). De esta manera, el antiguo valle se convirtió en una cuenca, y por ello es un error hablar o escribir del *Valle de México*. Lo correcto sería utilizar el nombre de *Cuenca de la Ciudad de México*, o mejor aún *Cuenca de Tenochtitlan* (De Cserna y Álvarez, 1995).

Consideramos innecesaria la descripción de todos los problemas que afectan a la Cuenca de Tenochtitlan, porque cometeríamos repe-

ticiones de artículos ya publicados en los diversos medios. Quisiéramos señalar, sin embargo, que todos los problemas que existen, o que están latentes, forman una cadena larga, cuyos eslabones requieren reparación o adecuación, siguiendo un orden racional. En vista de que un problema grave de la cuenca atañe a la Geografía de la población controlada por factores demográficos y económicos, en nuestro concepto la reparación debiera iniciarse en el ámbito de las ciencias sociales. Una vez que se haya controlado el crecimiento desmesurado de la población, y de preferencia inducido su disminución paulatina, sería cuando podrían tomarse medidas relacionadas con la Geología, para el mejoramiento de los demás aspectos.

Suponiendo que en la Cuenca de Tenochtitlan pudiera lograrse un crecimiento cero de población, o mejor aún, una disminución paulatina, entonces el abastecimiento de agua potable tendría que resolverse por dos caminos, que podrían ser geológica y tecnológicamente factibles. El primero contempla la perforación de pozos profundos, teniendo como meta las calizas cretácicas saturadas con agua proveniente de la vertiente del Golfo de México, mediante la recarga de estas rocas en la Sierra Madre Oriental. Para tener éxito, primeramente sería necesario llevar a cabo estudios hidrogeológicos regionales, apoyados por la perforación de sondeos de exploración, para determinar el flujo subterráneo regional. Cuando se obtenga agua de los pozos profundos, paulatinamente deberá reducirse el bombeo en los pozos someros actualmente existentes, con objeto de detener el hundimiento de muchas partes de la superficie de la cuenca, proceso que sí está íntimamente relacionado con la compactación diferencial del subsuelo y con la respuesta de ésta a las ondas sísmicas que afectan las obras de ingeniería civil (edificios, vías de comunicación, redes de agua potable y drenaje). El segundo contempla la introducción de agua desde la región que se encuentra al nororiente, concretamente desde la cuenca hidrográfica del río Tecolutla, que tiene agua abundante, y no de la cuenca hidrográfica del río Cutzamala, porque la extracción de agua de esa cuenca afecta negativamente la agricultura de Tierra Caliente. Habrá que tomar paralelamente ambos caminos

para abastecer de agua a la Cuenca de Tenochtitlan, para lograr la solución definitiva. De cualquier manera, la propuesta que se esboza definitivamente aumentaría el costo de vida en la Ciudad de México, en forma notablemente desproporcionada en comparación con el resto del país. Por ello es que, aun cuando desde el punto de vista geológico exista solución para este problema, es absolutamente necesario que geógrafos, geólogos, ingenieros y economistas se sienten a una mesa y con intenciones honestas logren el acuerdo necesario.

Una vez estabilizado el tamaño de la población en la cuenca, y de acuerdo con ello, el abastecimiento de agua potable, podrán ser tomadas las medidas correctivas relacionadas con la red de drenaje, enfocadas a la reducción de bombeo de las aguas negras y los peligros que representan las inundaciones en las temporadas de lluvia. Estas medidas correctivas estarían íntimamente relacionadas con la estabilización del subsuelo de la cuenca, que implicaría no más hundimiento. Para lograr estos objetivos, probablemente tendríamos que considerar unos diez años, necesarios para la consolidación del nuevo entorno mecánico del subsuelo.

La modernización y/o adecuación de las redes de vialidad debería emprenderse con base en la zonificación geotécnica de la cuenca, conforme a la nueva realidad, con objeto de evitar en lo posible futuras reparaciones y las erogaciones fiscales consecuentes.

De cualquier manera, veamos el entorno fisiográfico donde se ubica la metrópoli actualmente más grande del mundo. La Ciudad de México corresponde a una cuenca cerrada, aunque tenga drenaje de salida artificial. Este hecho tiene implicaciones muy importantes en relación con las condiciones ambientales reinantes, sobre todo atmosféricas. El encanto que tenían antiguamente la cuenca y la ciudad, se debía fundamentalmente a sus lagos, que amortiguaban el clima. En este contexto, consideramos conveniente recordar al Dr. Nabor Carrillo y sus más cercanos colaboradores, quienes reconocieron en los años sesenta del siglo pasado, la necesidad de reconstruir paulatinamente las condiciones ambientales de antaño. Para llevar a cabo esa tarea, se emprendió "El proyecto Texcoco" como primera

etapa, que lamentablemente no recibió el apoyo necesario, aun cuando hubo avances (SHCP, 1969). A raíz de los trágicos acontecimientos provocados por los sismos de 1985, el asunto del escenario lacustre fue retomado, en el sentido de que una extensión del Lago de Texcoco hacia el poniente-surponiente —el cinturón urbano que quedó más afectado por los sismos— quedaría bajo el agua, dividiéndose así la Ciudad de México en dos partes, una al norte y la otra al sur de ese “golfo alargado” del lago de Texcoco. Esa propuesta tampoco recibió el beneplácito de los que tomaron las decisiones entonces sobre la reconstrucción de la ciudad. Para nosotros fue muy grato conocer que recientemente un grupo joven de arquitectos de la Universidad Nacional Autónoma de México se interesa en el escenario lacustre de la cuenca; ojalá tenga éxito.

REFLEXIÓN

Esperamos que el lector no erudito en geología pueda percibir, de este breve ensayo, la interrelación que existe entre la Geografía y la Geología. Asimismo, que haya podido apreciar que las decisiones tomadas con base en afanes políticos y/o económicos no conducen necesariamente a un desarrollo real, sino más bien efímero, y que producen en la mayoría de los casos daños ambientales prácticamente irreversibles.

Existe un aspecto que requiere un examen cuidadoso, y es la omisión sistemática de la Geología en la toma de decisiones. Obviamente, se descarta esta disciplina porque no existe una base de datos suficientemente detallada y confiable, lo cual es indiscutiblemente cierto y, en este punto, procede preguntarse el por qué existe esta ausencia de datos geológicos para el país. La enseñanza de la Geología en México comenzó hace dos siglos en el Real Seminario de Minería; prosiguió con los altibajos propios de la historia misma de México. Sin embargo, cuando el siglo **xxi** está iniciando, aún no existe una comisión geológica del Gobierno Federal que publique sistemáticamente, y con regularidad, mapas geológicos de escala de 1:50 000 o 1:100 000, que pudieran ser utilizados por quienes están involucrados directamente en las tareas de asentamientos humanos, ambientales y de exploración de aguas subterráneas, recursos minerales y energéticos. Como consecuencia de esta falta, no es sorprendente, pues, que los geógrafos hagan esfuerzos extraordinarios para recabar los datos geológicos esparcidos en México, y poder así cumplir con éxito sus tareas.

RECONOCIMIENTOS

Durante la elaboración del presente ensayo varios colegas del Instituto de Geología brindaron amablemente su colaboración, facilitando modelos digitales de terreno, orientación para resolver las artimañas de la computadora y observaciones muy atinadas. Estas personas fueron Arturo Gómez-Caballero, Max Suter, Jorge J. Aranda-Gómez y la Srita. Alejandra Bonilla, a quienes expresamos nuestras gracias más cumplidas. J. L. Rodríguez-Castañeda y Alberto Burques-Montijo, gentilmente proporcionaron algunas fotografías.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, J. G. (1905), "Reseña del desarrollo de la Geología en México", *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, v. 1, México, pp. 35-117.
- Aguilera-Herrera, N. (1989), *Tratado de Edafología de México*, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología, UNAM, México.
- Albritton, C. C. (1958), "Quaternary stratigraphy of the Guadiana Valley, Durango, Mexico", *Geological Society of America Bulletin*, v. 69, pp. 1197-1216.
- Anderson, B. D., D. A. Córdoba y Lee Keenan (1987)(1988), Hoja San Juan de Guadalupe 13R-I(8), con Resumen de la geología de la Hoja San Juan Guadalupe, estados de Durango y Coahuila: Instituto de Geología, UNAM, Carta Geológica de México, Serie de 1:100 000, mapa con texto.
- Anónimo (1888), *Carta hidrográfica del Valle de México*, ¿México, D.F.?, escala 1:200 000.
- Burkart, J. (1836), *Aufenthalt und Reisen in Mexiko in den Jahren 1825 bis 1834*, Stuttgart, Schweizerbart, t. 1 y 2.
- Coll-Hurtado, A. (2000), *México; una visión geográfica*, (Colec. Temas Selectos de Geografía de México, II.1), Instituto de Geografía y Plaza y Valdés Editores, UNAM, México.
- Córdoba, D. A. (1965), Hoja Apizolaya 13R-I(9), con Resumen de la geología de la Hoja Apizolaya, estados de Zacatecas y Durango, Carta Geológica de México, Serie de 1:100 000, mapa con texto, Instituto de Geología, UNAM, México.

- Coria-S., A. y Á. Mendoza-M. (1952), *Precipitación media anual en milímetros en la República Mexicana, periodo 1921-1951*, Secretaría de Recursos Hidráulicos, Dirección General de Hidrología, mapa a colores, escala aprox. 1:10 000 000, México.
- Cserna, Z. de (1961), *Tectonic map of Mexico*, Geological Society of America, escala 1:2 500 000, New York.
- Cserna, Z. de (1976), *Mexico-Geotectonics and mineral deposits*, Geological Society, Special Publication 6, New Mexico, pp. 18-25.
- Cserna, Z. de (1989), "An outline of the geology of Mexico", in Bally, A. W. and A. R. Palmer (eds.), *The Geology of North America-An overview*, Geological Society of America, The Geology of North America, v. A, Boulder, Colorado, pp. 233-264.
- Cserna, Z. de (1990), "La evolución de la Geología en México (1500-1929)", *Revista*, v. 9, Instituto de Geología, UNAM, México, pp. 1-20.
- Cserna, Z. de (1992), "Tectónica", en García de Fuentes, A. (ed.), *Atlas Nacional de México*, Instituto de Geografía, v. 2, cap. 4, sec. 2, escala 1:4 000 000, UNAM, México.
- Cserna, Z. de, y R. Álvarez (1995), "Quaternary drainage development in Central Mexico and the threat of an environmental disaster; a geological appraisal", *Environmental and Engineering Geoscience*, v. 1, no. 1, pp. 29-34.
- Cserna, Z. de, M. De la Fuente-Duch, M. Palacios-Nieto, L. Triay, L. M. Mitre-Salazar y R. Mota-Palomino (1987) (1988), "Estructura geológica, gravimetría, sismicidad y relaciones neotectónicas regionales de la Cuenca de México", *Boletín*, Instituto de Geología, núm. 104, UNAM, México.
- Demant, A. (1978), "Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación", *Revista*, v. 2, Instituto de Geología, UNAM, México, pp. 172-187.

- Devlin, W. J., J. M. Cogswell, G. M. Gaskins, G. H. Isaksen, D. M. Pitcher, D. P. Puls, K. O. Stanley y G. R. T. Wall (1999), "South Caspian Basin; young, cool, and full of promise", *GSA Today*, v. 9, no. 7, pp. 1-9.
- Dunbier, R. (1968), *The Sonoran Desert, its geography, economy and people*, The University of Arizona Press, Tucson.
- Faulds, J. E. y J. H. Stewart (eds.; 1998), "Accommodation zones and transfer zones: The regional segmentation of the Basin and Range Province", Special Paper 323, 1 lám., Geological Society of America.
- Ferrill, D.A., J. Winterle, G. Wittmeyer, D. Sims, S. Colton, A. Armstrong y A. P. Morris (1999), *GSA Today*, v. 9, no. 5, Stressed rock strains groundwater at Yucca Mountain, Nevada, pp. 1-8.
- Flores, T. (1930), "Reconocimientos geológicos en la región central del Estado de Sonora", *Boletín* 49, Instituto de Geología, UNAM, México.
- García-Calderón, J. (1976), "Investigación hidrogeológica de la región de "El Cardito", Zacatecas", *Boletín* 98, Instituto de Geología, UNAM, México.
- García de Fuentes, A. (ed.; 1992), *Atlas Nacional de México*, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Garduño-Monroy, V. H., E. Arreygue-Rocha, I. Israde-Alcántara y G. M. Rodríguez-Torres (2001), "Efectos de las fallas asociadas a sobreexplotación de acuíferos y la presencia de fallas potencialmente sísmicas en Morelia, Michoacán, México", *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 18, México, pp. 37-54.
- Garfias, V. R. y T. C. Chapin (1949), *Geología de México*, Editorial JUS, México.
- Garza, V. de la, B. Noguez, L. Novelo y J. Mayor (1998), "Geology of La Herradura gold deposit, Caborca, Sonora, México", in Clark, K.F. (ed.), *Gold Deposits of Northern Sonora, México* Society of Economic Geologists, Guidebook Series, v. 30, pp. 133-146.

- Gastil, R. G. y D. Krummenacher (1974), *Reconnaissance geologic map of coastal Sonora, between Puerto Lobos and Bahía Kino*, Geological Society of America Map and Chart Series, MC-16.
- González-Reyna, J. (1946), "La industria minera en el estado de Zacatecas", *Boletín* 4, Comité Directivo para la Investigación de los Recursos Minerales de México (actualmente Consejo de Recursos Minerales).
- Gortari, E. de (1963), *La ciencia en la historia de México*, Fondo de Cultura Económica, México.
- Guzmán, E. J. y Z. de Cserna (1963), "Tectonic history of Mexico", in Childs, O.E. y B. W. Beebe (eds.), *Backbone of the Americas*, American Association of Petroleum Geologists Memoir 2, pp. 113-129.
- Hasenaka, T. and I. S. E. Carmichael (1985), "The cinder cones of Michoacan-Guanajuato, central Mexico; their age, volume and distribution, and magma discharge rate", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 25, pp. 105-124.
- Humboldt, A. de (1808), *Essai politique sur le Royaume de la Nouvelle Espagne*, F. Schoell, París.
- Humboldt, A. de (1845-1861), *Kosmos; Entwurf einer physischen Weltbeschreibung*, 4 t., Stuttgart, J. O. Cotta.
- Israde-Alcántara, I. V. H. Garduño-Monroy y M. Ferrari (1992), "El origen transtensivo de la depresión del lago de Cuitzeo, México", *VIII Congreso Latinoamericano de Geología*, Actas de las sesiones científicas, v. 4, Salamanca, España, pp. 127-131.
- Jáuregui-Ostos, E. (2000), *El clima de la Ciudad de México*, (Colec. Temas Selectos de Geografía de México, I. 4), Instituto de Geografía y Plaza y Valdés, Editores, UNAM, México.
- Kotlyakov, V. M. et al. (eds.; 1999), *World atlas of resources and environment*, Geographical Institute, Editorial Holzel, Ltd., 2 vols., Viena, Austria.

- Labarthe-Hernández, G., M. Tristán-González y J. Aranda-Gómez (1982), "Revisión estratigráfica del Cenozoico de la parte central del estado de San Luis Potosí", *Folleto Técnico* 85, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Instituto de Geología y Metalurgia.
- Ledezma-Guerrero, O. (1981), Hoja Camacho 13R-I(12), con Resumen de la geología de la Hoja Camacho, estados de Durango y Zacatecas, *Carta Geológica de México*, Serie de 1:100,000, mapa con texto, Instituto de Geología, UNAM, México.
- Lemoine-Villicaña, E. (1978), "El desagüe del Valle de México durante la época independiente"; *Cuaderno*, Serie Historia 20, Instituto de Investigaciones Históricas, UNAM, México.
- Marsal, R. J. y M. Mazari (1959 (1969)), *El subsuelo de la Ciudad de México*, Facultad de Ingeniería, UNAM, México.
- Meadows, D. L., J. Randers y W. W. Behrens III (1972), *The limits to growth*, The New American Library, Inc., New York.
- Meneses de Gyves, J. (1999), "Breve reseña de la exploración petrolera en México", *Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros*, v. 48, núms. 1-2, México, pp. 49-74.
- Mooser, F. (1961), *Informe sobre la geología de la cuenca del Valle de México*, Secretaría de Recursos Hidráulicos, Comisión Hidrológica de la cuenca del Valle de México, México.
- Morán-Zenteno, D. J. (1984), *Geología de la República Mexicana*, Secretaría de Programación y Presupuesto, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- Ortega-Gutiérrez, F. et al. (1992), *Carta Geológica de la República Mexicana*, 5ª edición, Instituto de Geología-UNAM, Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, Consejo de Recursos Minerales, mapa con texto explicativo, escala 1:2 000 000, México y Pachuca, Hidalgo.

- Ortega-Gutiérrez, F., R. C. Speed y R. L. Sedlock (1994), "Phanerozoic tectonic evolution of Mexico", in Speed, R. C. (ed.), *Phanerozoic evolution of North American Continent-Ocean Transitions*, Geological Society of America, DNAG Continent-Ocean Transect, vol. 13, Boulder, Colorado, pp. 265-306.
- Ortlieb, L. y J. Roldán-Quintana (eds.; 1981), *Geology of northwestern Mexico and southern Arizona*, Instituto de Geología, UNAM, Estación Regional del Noroeste, Hermosillo, Sonora.
- Osorio-Tafall, B. F. (1946), "Anotaciones sobre algunos aspectos de la hidrología mexicana", *Revista*, v. 7, núms. 1-4, Sociedad Mexicana de Historia Natural, pp. 139-165.
- Padilla y Sánchez, R. J. (1983), Hoja La Ventura 14R-j(8), con Resumen de la geología de la Hoja La Ventura, estados de Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí y Zacatecas, *Carta Geológica de México*, Serie de 1:100 000, mapa con texto, Instituto de Geología, UNAM, México.
- Pasquaré, G., L. Ferrari, V. H. Garduño, A. Tibaldi y L. Vezzoli (1991), "Geologic map of the central sector of the Mexican Volcanic Belt, States of Guanajuato and Michoacán, Mexico", Map and Chart Series, MCH-072, escala 1:300 000, texto, Geological Society of America.
- Robin, C. (1982), "Relations volcanologie-magmatologie-géodynamique; application au passage entre volcanismes alcalin et andésitique dans le sud mexicain", *Annales Scientifiques (Géologie, Minéralogie)*, v. 70, Université Clermont Ferrand II.
- Rodríguez-Torres, R. y D. A. Córdoba (eds.; 1978), *Atlas geológico y evaluación geológico-minera del estado de Sinaloa*, Instituto de Geología-UNAM y Secretaría de Desarrollo Económico del Estado de Sinaloa, 24 mapas a color, escala 1:100 000 y texto explicativo, México y Culiacán, Sinaloa.
- Rzedowski, J. (1978), *Vegetación de México*, Editorial Limusa, México.

- Santiago-Acevedo, J., J. Carrillo-Bravo y B. Martell-Andrade (1984), in Schlumberger, (ed.), *Evaluación de formaciones en México*, Schlumberger Offshore Services y Petróleos Mexicanos, México, pp. I-1-I-36.
- SHCP (1969), *Proyecto Texcoco, memoria de los trabajos realizados y conclusiones*, Secretaría de Hacienda y Crédito Público, Nacional Financiera, S. A., México.
- Selby, M. J. (1985), *Earth's changing surface*, Clarendon Press, Oxford.
- Suter, M., M. López-Martínez, O. Quintero-Legorreta y M. Carrillo-Martínez (2001), "Quaternary intra-arc extension in the central Trans-Mexican volcanic belt", *Geological Society of America Bulletin*, v. 113, pp. 693-703.
- Trabulse, E. (1983), *Historia de la ciencia en México*, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, y Fondo de Cultura Económica, México.
- West, R. C. (1964), "Surface configuration and associated geology of Middle America", in Wauchope, R. (ed.), *Handbook of Middle American Indians*, University of Texas Press, v. 1, Austin, pp. 33-83.
- Williams, H. (1950), "Volcanoes of the Paricutin region, Mexico", *Bulletin 965-B*, United States Geological Survey, pp. 165-279.

OBRAS PUBLICADAS DENTRO DE LA COLECCIÓN

I. Textos Monográficos

1. Historia y Geografía

1. *Europa y el urbanismo neoclásico en la Ciudad de México. Antecedentes y esplendores*
Federico Fernández Christlieb
2. *México a través de los mapas*
Héctor Mendoza Vargas (coord.)
3. *La Geografía, arma científica para la defensa del territorio*
Luz Ma. O. Tamayo P. de Ham
4. *Cartografía de las divisiones territoriales de México, 1519-2000*
Áurea Commons

2. Naturaleza

1. *¿Geografía sin Geología?*
Zoltan de Cserna, Magdalena Alcayde Orraca
y Esteban Monroy Soto

3. Sociedad

1. *Aspectos sociales de la población en México: educación y cultura*
Lilia Susana Padilla y Sotelo
2. *Aspectos sociales de la población en México: Vivienda*
Lilia Susana Padilla y Sotelo

4. Urbanización

1. *El clima de la Ciudad de México*
Ernesto Jáuregui Ostos
2. *Geohistoria de la Ciudad de México (siglos XVI a XIX)*
María Teresa Gutiérrez de MacGregor
y Jorge González Sánchez

5. Economía

1. *La ganadería en México*
Gregorio Villegas Durán et al.
2. *La minería en México, geografía, historia, economía y medio ambiente*
Atlántida Coll-Hurtado, María Teresa Sánchez Salazar y Josefina Morales
3. *Plantas de importancia económica en las zonas áridas y semiáridas de México*
Marta Concepción Cervantes Ramírez

6. Medio ambiente

1. *Los ciclones tropicales de México*
María Engracia Hernández Cerda (coord.)
2. *Áreas Naturales Protegidas de México en el siglo XX*
Carlos Melo Gallegos

7. Relaciones Internacionales

1. *Las relaciones diplomáticas de México*
Mercedes Pereña-García

9. Las costas y los mares de México

1. *Características físico-químicas de los mares de México*
Guadalupe de la Lanza Espino

II. Textos de Carácter General

1. *México: una visión geográfica*
Atlántida Coll-Hurtado

III. Métodos y Técnicas

1. *Los mares mexicanos a través de la percepción remota*
Raúl Aguirre Gómez
2. *El paisaje en el ámbito de la Geografía*
Arturo García Romero y Julio Muñoz Jiménez

¿GEOGRAFÍA SIN GEOLOGÍA?

Se terminó de imprimir en el mes de
Agosto del 2003, en los talleres de
Punto Gráfico, Calle Tejocotes 175-3
Col. Del Valle. Tiraje de 500 ejemplares

TEMAS SELECTOS DE GEOGRAFÍA DE MÉXICO

Coordinación General

Dr. José Luis Palacio Prieto
Dra. Ma. Teresa Sánchez Salazar

Secciones:

I. Textos monográficos

Dra. Atlántida Coll-Hurtado

1. Historia y Geografía
Dr. José Omar Moncada Maya
2. Naturaleza
Dr. Mario Arturo Ortiz Pérez
3. Sociedad
Dra. Ma. Inés Ortiz Álvarez
4. Urbanización
Dr. Javier Delgado Campos
5. Economía
Dra. Atlántida Coll-Hurtado
6. Medio Ambiente
Mtra. Oralia Oropeza Orozco
7. Relaciones Internacionales
Dra. Atlántida Coll-Hurtado
8. La Cuenca de México
Dr. José Lugo Hubp
9. Costas y Mares
Dr. Mario Arturo Ortiz Pérez

II. Textos de carácter general

Dra. Ma. Teresa Sánchez Salazar

III. Métodos y técnicas

Dr. José Luis Palacio Prieto

Redactor cartográfico

Lic. Ma. del Consuelo Gómez Escobar

Este ensayo tiene el propósito de mostrar de manera breve que a principios del siglo XXI el estudio de la Tierra se concibe como el estudio del Sistema Planeta Tierra. Con este enfoque, varias disciplinas juegan un papel importante, tanto de las ciencias naturales como de las ciencias sociales. La Geología es fundamental para entender el origen y los rasgos físicos de la superficie de la Tierra, los cuales inciden en el desarrollo de los demás aspectos que son temas de estudio y, sobre todo, integración de la Geografía. Con unos ejemplos de carácter regional, procedentes de México, se intenta llamar la atención de los estudiosos de la Geografía a esta relación entre la Geología y la Geografía.



ISBN 970-32-0511-9

