

Geología

SERGIO R. RODRÍGUEZ ELIZARRARÁS · WENDY V. MORALES BARRERA



SERGIO R. RODRÍGUEZ ELIZARRARÁS

Doctor en Ciencias con especialidad en Geología, posgrado en Ciencias de la Tierra en la Universidad Nacional Autónoma de México. Es Investigador Titular en el Departamento de Geología Regional del Instituto de Geología de la UNAM. Colabora actualmente en el Centro de Ciencias de la Tierra de la Universidad Veracruzana. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores, Nivel I con la Línea de investigación: petrogénesis, estratigrafía y geocronología del vulcanismo Cenozoico en México. Tiene numerosas publicaciones en revistas de circulación nacional e internacional.

WENDY V. MORALES BARRERA

Ingeniera Geóloga egresada de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. Tiene maestría en Ciencias con especialidad en Geología. Posgrado en Ciencias de la Tierra de la UNAM. Actualmente es investigadora en el Centro de Ciencias de la Tierra de la UV. Sus líneas de investigación son: peligros y riesgos geológicos; geología aplicada a la ingeniería civil y a problemas ambientales; aplicación y uso de Sistemas de Información Geográfica. Tiene publicaciones en revistas de circulación nacional e internacional.

EL ESTADO DE VERACRUZ se ubica a lo largo de la costa del Golfo de México en la región centro-oriental de la República Mexicana. Su territorio abarca un área de 72,420 km², tiene una forma alargada muy irregular cuya longitud máxima es de 745 km. Colinda al norte con el estado de Tamaulipas, al poniente con los estados de San Luis Potosí, Hidalgo y Puebla, al sur con los estados de Oaxaca, Chiapas y Tabasco y al oriente con el Golfo de México.

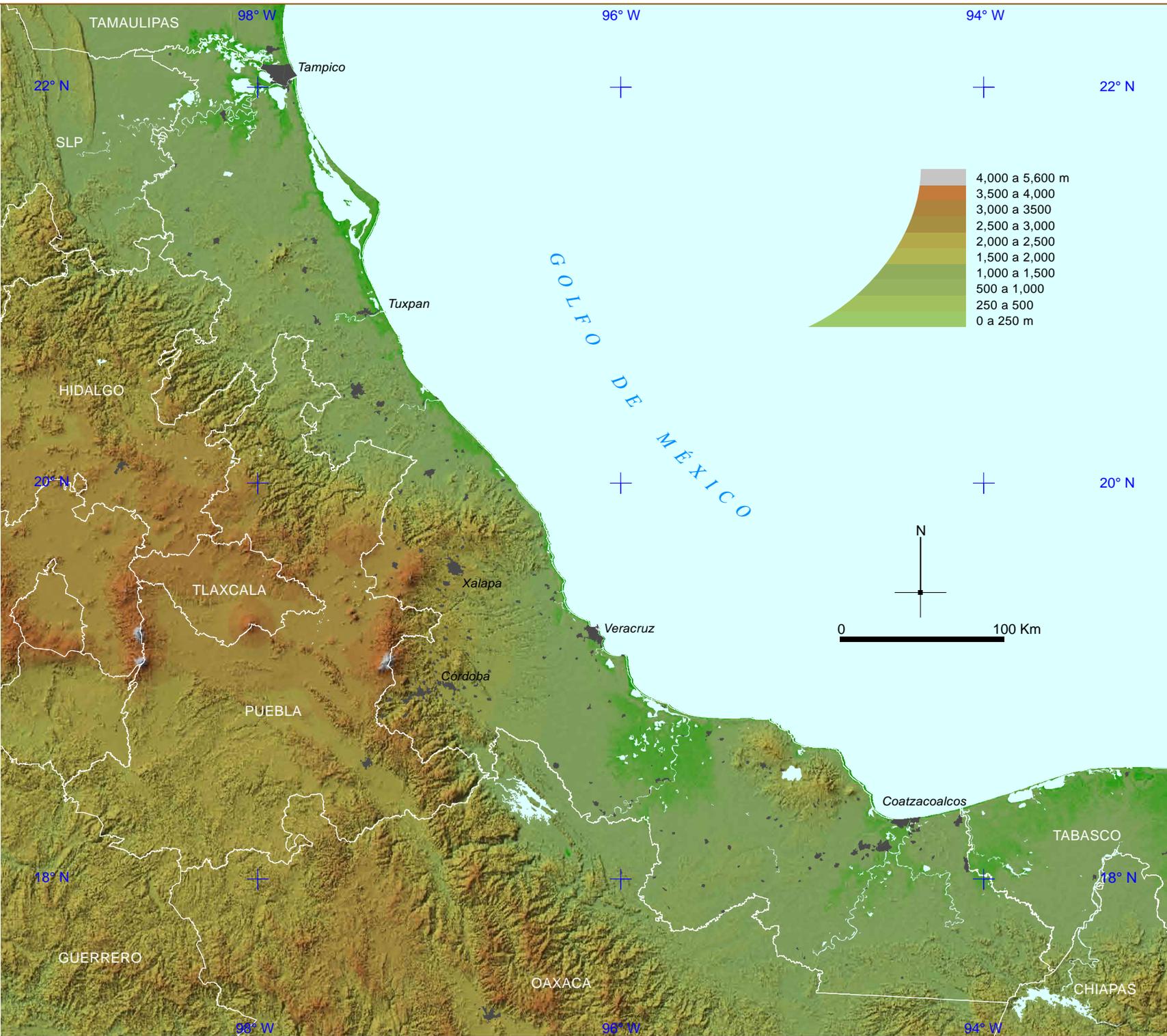
Las diferentes expresiones morfológicas de su territorio son complejas y variadas. Las tierras altas comprenden entre los 5,675 y 3,000 msnm; la primera corresponde al Pico de Orizaba o Citlaltépetl, máxima altura del país y el volcán más alto de Norteamérica. En este rango de elevaciones las pendientes suelen ser muy pronunciadas y los terrenos están cortados por valles en forma de V. Las zonas intermedias se encuentran entre los 3,000 y 500 msnm; están conformadas por mesetas, lomas redondeadas y algunas elevaciones aisladas. Aquí los ríos han formado profundas barrancas que cortan gruesas secuencias de sedimentos y depósitos volcánicos. Las tierras bajas se encuentran por debajo de los 500 msnm; se distinguen por tener lomeríos suaves, extensas planicies y ríos caudalosos que presentan patrones meándricos antes de su desembocadura al océano (**MAPA 1**).

Veracruz es un estado rico en manifestaciones y recursos naturales, se calcula que una tercera parte del agua del país escurre por sus cuencas; además, posee importantes yacimientos de petróleo y minerales no metálicos; entre estos últimos destacan los de caolín en la zona norte, los de azufre y arena sílica en el sur y los pétreos en la región central (Coremi, 1994).

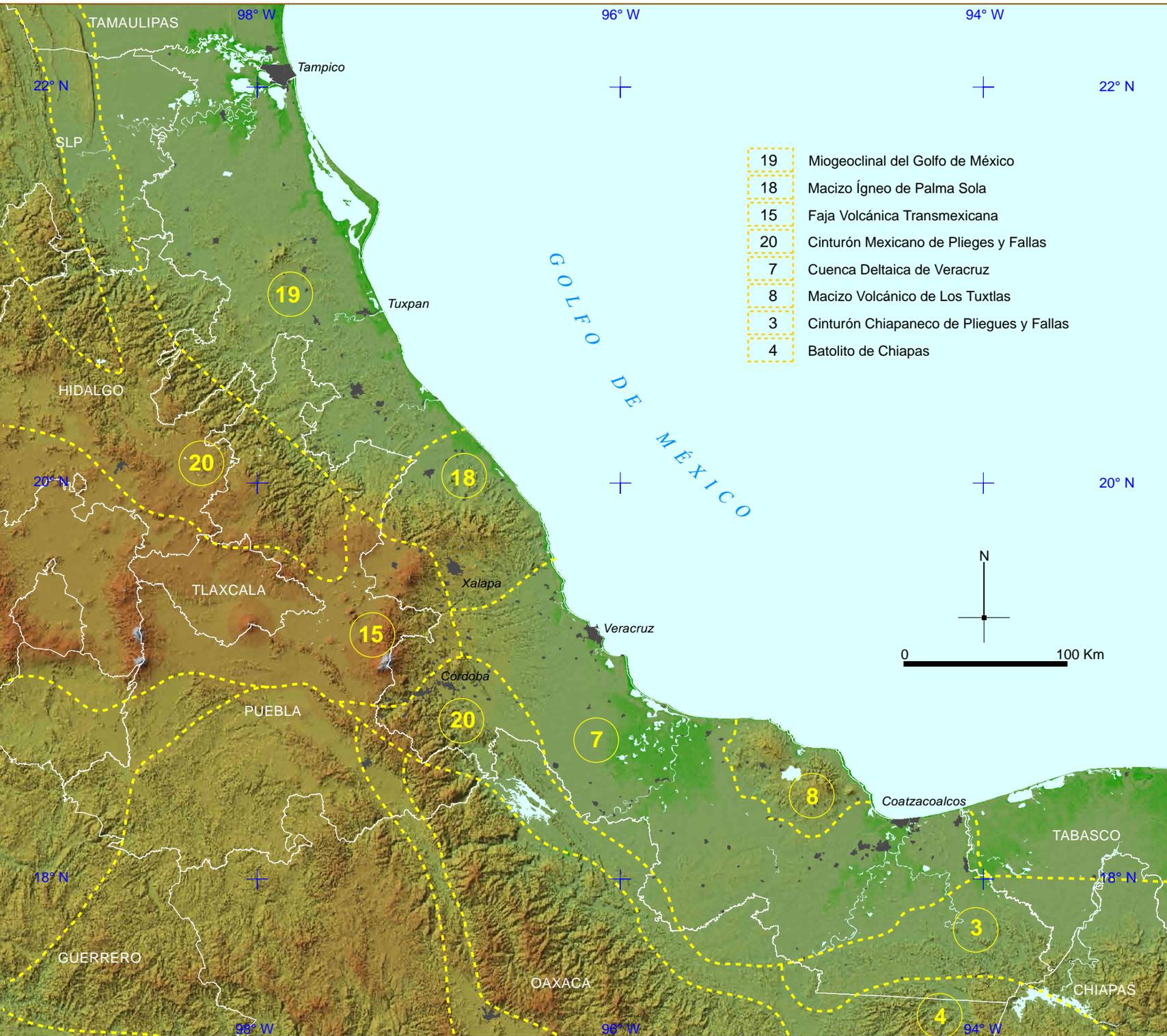
Por lo que respecta al clima, un porcentaje considerable del territorio está expuesto a precipitaciones pluviales muy intensas, generalmente asociadas con tormentas tropicales y huracanes. Ello aunado a su accidentada morfología y a los factores de origen antrópico –tales como deforestación, cortes en taludes inestables o asentamientos de poblaciones en sitios no aptos para este fin– hacen que una buena parte del estado presente una gran vulnerabilidad ante ciertos fenómenos de origen natural, como por ejemplo los deslizamientos de tierra, en toda su gama de manifestaciones. Además, dentro del territorio veracruzano existen dos volcanes activos, el Pico de Orizaba y el San Martín Tuxtla; adicionalmente, las regiones centro y sur presentan una actividad sísmica importante. En este sentido, y por lo anteriormente expuesto, el conocimiento geológico del estado resulta de trascendental importancia, ya sea para el aprovechamiento y cuidado de sus recursos, como para la prevención y mitigación de los peligros naturales.

Son varios los autores que con anterioridad han descrito, desde diferentes puntos de vista, los aspectos de la geología del estado, en particular, y de la región oriental de México, en general. En este trabajo se realizó una recopilación de los estudios más importantes, cuyos aportes han contribuido de manera significativa al entendimiento de la historia geológica de Veracruz. El objetivo es describir, siguiendo una secuencia cronológica de lo más antiguo a lo más reciente, los principales eventos geológicos que dieron origen a lo que actualmente es el estado de Veracruz, sus principales formaciones litológicas, sus estructuras y las provincias geológicas que lo conforman (**MAPA 2**). Para facilitar esta visión de conjunto, se incluye un mapa geológico regional (**MAPA 3**), el cual se elaboró a partir de datos obtenidos en campo por los autores,

MAPA 1. MAPA ALTIMÉTRICO

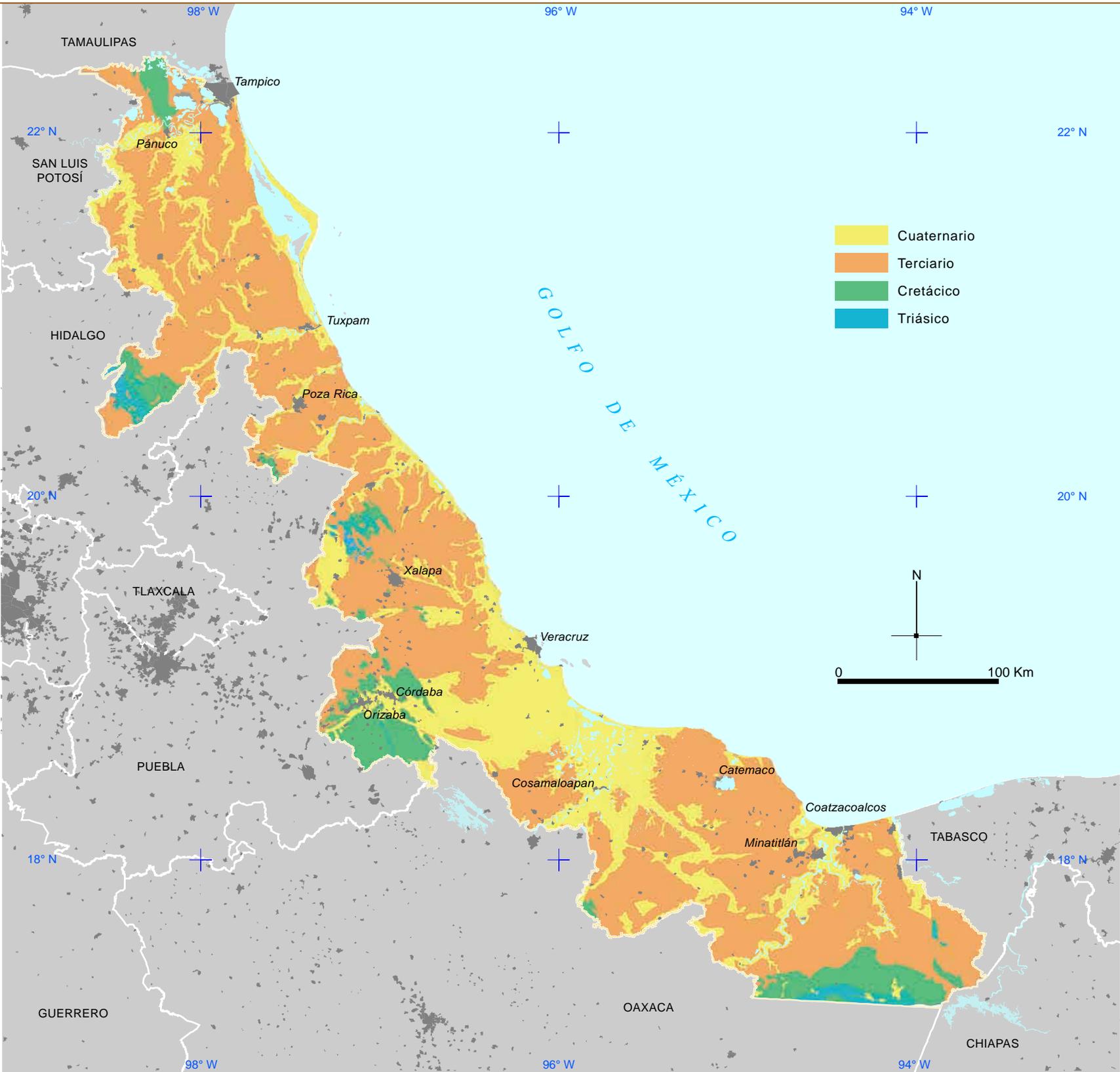


MAPA 2. PROVINCIAS GEOLÓGICAS



Fuente: Modificado de Ortega-Gutiérrez et al., 1992

MAPA 3. MAPA GEOLÓGICO



además de información bibliográfica tomada de López Ramos (1989), Coremi (1994), así como de la serie de cartas geológicas escala 1:250,000 publicadas por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI, 2002).

Los mapas utilizados en este trabajo se realizaron a partir del procesamiento de las bases topográficas editadas por el INEGI en formato vectorial escala 1:50,000. Para lo cual se utilizaron los programas Ilwis versión 3.0 y Arc Map 9.2 con los que se generó el modelo de relieve sombreado y los mapas altimétrico y geológico, los cuales están integrados en un Sistema de Información Geográfica (SIG).

Finalmente, se tratan los aspectos que tienen que ver con la geología económica del estado. Aquí se incluyen los principales recursos minerales y los usos a los que se destinan. También se enlistan algunos de los peligros geológicos más recurrentes, ya que son fenómenos naturales que inciden de manera negativa en la economía, al generar pérdida de vidas humanas y afectaciones a la infraestructura.

ESTUDIOS PREVIOS

Debido a su importancia económica, especialmente la relacionada con su riqueza petrolera, la región oriental de México, dentro de la cual se ubica el estado de Veracruz, ha sido objeto de una gran cantidad de estudios geológicos.

Uno de los estudiosos de la geología de México a finales del siglo XIX y principios del XX fue Ezequiel Ordóñez, a él se le atribuye el descubrimiento de los primeros yacimientos de petróleo dentro del estado de Veracruz (Ordóñez, 1907, 1914). Fueron varios los pozos localizados bajo su asesoría, dentro de los cuales destaca el mundialmente conocido Pozo número 4 de Cerro Azul, perforado en el año de 1916 y cuya producción se estimó en 260,000 barriles diarios. El auge de esta industria y el posterior surgimiento de Petróleos Mexicanos (Pemex) derivaron en un incremento considerable de los estudios geológicos en territorio veracruzano, de los cuales la gran mayoría son informes técnicos internos de esta empresa. Sin embargo, varios fueron publicados bajo la autoría de eminentes geólogos petroleros, como Imlay *et al.* (1948), Viniestra-Osorio (1950, 1965), Carrillo Bravo (1965, 1971), entre otros. Algunos estudios más recientes son los realizados por González-García y Holguín-Quiñones (1991), Eguiluz de Antuñano *et al.* (2000) y Ferket *et al.* (2003).

También se han realizado estudios geológicos enfocados a otros aspectos de la geología veracruzana, como es el caso de la actividad volcánica, la cual forma parte primordial de su historia. En este campo, entre los autores más importantes se encuentran los trabajos realizados por Thorpe (1977), Pichler y Weyl (1976), Robin y Tournon (1978), Cantagrel y Robin (1979), Robin y Cantagrel (1982), Ferriz y Mahood (1984), Negendank *et al.* (1985), López-Infanzón (1991), Nelson y González-Caver (1992), Carrasco-Núñez y Ban (1994), Carrasco-Núñez (2000), Hubbard (2001), Ferrari *et al.* (2005), González-Mercado (2005), Morales-Barrera (2009), Rodríguez *et al.* (en prensa), entre muchos otros.

CONCEPTOS GENERALES SOBRE EL TIEMPO GEOLÓGICO

A lo largo de la historia de la humanidad, uno de los motores del desarrollo científico ha sido sin duda el tratar de entender y explicar los fenómenos naturales, y sobre todo, ubicarlos en una escala de tiempo. Varios fueron los pensadores y filósofos que divulgaron sus versiones sobre la edad de la Tierra, la formación de las montañas o el origen de las rocas. Sin embargo, hasta antes del siglo XVIII, todas ellas estuvieron basadas en el concepto de la creación desde un punto de vista religioso.

La geología, como ciencia, se origina a partir de los conceptos del naturalista escocés James Hutton, quien en 1788 postuló su famoso principio del “uniformismo”, el cual establece simplemente que las leyes físicas, químicas y biológicas que actúan hoy, lo han hecho también en el pasado (Tarbuck y Lutgens, 2000).

Durante el siglo XIX se empezó a elaborar una escala de tiempo geológico basada en un ordenamiento secuencial de los eventos sin conocer su antigüedad en años (edad relativa), lo cual fue desarrollado aplicando el principio de la superposición, que establece que en una secuencia normal de rocas sedimentarias o coladas de lava, las capas superiores son más jóvenes que las inferiores. El surgimiento y consolidación de la paleontología, o sea el estudio de las manifestaciones de vida en el pasado geológico, fue también fundamental para establecer una cronología de los sucesos geológicos. Posteriormente, con el descubrimiento de la radiactividad a finales del siglo XIX y el perfeccionamiento de los métodos radiactivos de fechamiento, fue posible asignar edades absolutas a las rocas y por consiguiente a los fenómenos que las originaron.

La escala del tiempo geológico subdivide a los 4,600 millones de años (Ma) en los que se ha estimado la edad de la Tierra en unidades diferentes, y proporciona una estructura temporal significativa que registra los principales acontecimientos geológicos. Las unidades más grandes se denominan eras, las cuales, de la más antigua a la más reciente se conocen como Precámbrico (4600-570 Ma), Paleozoico (570-245 Ma), Meso-

zoico (245-66 Ma) y Cenozoico (66 Ma-presente). Las eras están subdivididas en períodos, que abarcan tiempos más cortos y finalmente las épocas, las cuales son las unidades de tiempo más pequeñas en la escala. El **CUADRO 1** muestra una escala de tiempo geológico con algunos de los acontecimientos más relevantes que contribuyeron a la conformación de lo que ahora es el estado de Veracruz.

Edad (Ma)	Era	Período	Época		
0.01-0	Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Erupción del Volcancillo	
0.01-1.8			Pleistoceno	Formación de los estratovolcanes Cofre de Perote y Pico de Orizaba	
5.3-1.8		Neógeno	Plioceno	Inicio del vulcanismo de la Faja Volcánica Transmexicana	
23.8-5.3			Mioceno		
33.7-23.8		Paleógeno		Oligoceno	Formación de la provincia ignimbrítica de la Sierra Madre Occidental
54.8-33.7				Eoceno	Formación de la planicie costera del Golfo
65-54.8				Paleoceno	Orogenia Laramide. Formación de la Sierra Madre Oriental
144-65		Mesozoico		Cretácico	Formación de las plataformas marinas de Córdoba, Tampico-Misantla y San Luis Valles
206-144				Jurásico	
246-206				Triásico	Transgresiones marinas, formación de depósitos evaporíticos (yesos)
290-248	Paleozoico		Pérmico	Inicio de la separación de Pangea y apertura del Golfo de México	
354-290			Carbonífero	Orogenia Marathon-Wachita	
			Mississípico	Formación de Pangea	
			Pensilvánico		
443-417			Devónico		
			Silúrico		
490-443	Ordovícico				
540-490	Cámbrico				
2500-540	Proterozoico				
4600-2500	Arqueozoico				

CUADRO 1. Tiempo geológico con algunos de los eventos más relevantes a escala global que influyeron en lo que actualmente es el territorio mexicano y en particular el estado de Veracruz.



GEOLÓGIA HISTÓRICA Y EVOLUCIÓN TECTÓNICA DE VERACRUZ

A lo largo del tiempo geológico se dan procesos que ocurren lentamente, tales como levantamientos del terreno —por ejemplo, formación de montañas—, erosión, formación de cuencas con su respectiva acumulación de sedimentos, fallas geológicas y glaciaciones, y otros que ocurren de manera rápida, tales como deslizamientos de tierra, inundaciones, terremotos o erupciones volcánicas. Muchos de estos fenómenos están relacionados con una dinámica global y otros con eventos locales, y en su conjunto han contribuido para conformar la geología y morfología de lo que actualmente es el estado de Veracruz.

La historia geológica de las rocas más antiguas que afloran en el estado comenzó desde la era Paleozoica y ellas son producto de un acontecimiento de dimensiones globales, resultante del choque de las masas continentales que posteriormente formarían el supercontinente llamado *Pangea*. Esta colisión provocó la construcción de la cordillera *Marathon-Ouachita* en el límite de los períodos Pérmico-Triásico, la cual se extiende a lo largo de la región oriental de los Estados Unidos hasta el Norte de México (Handschy *et al.*, 1987).

Durante el Triásico comienza a imperar un ambiente de distensión provocado por la apertura del Golfo de México, como consecuencia del inicio de la separación de *Pangea* (Sedlock, *et al.*, 1993). Esta etapa inicia con la formación de un *rift* continental en la parte sur de la placa norteamericana, que culminó con la separación de las placas africana y sudamericana, dando lugar al nacimiento del océano Atlántico.

En México, esta ruptura continental provocó desplazamientos que desarrollaron una morfología de fosas y pilares. En un principio, los bajos topográficos (fosas) fueron rellenados por depósitos continentales formados por abanicos aluviales y depósitos de pie de monte.

Durante el Jurásico medio comenzó una transgresión proveniente del este, del llamado mar de *Tethys*. Las depresiones que se formaron durante la apertura del Golfo de México permitieron esta incursión marina con el sucesivo depósito de potentes secuencias evaporíticas en los bordes. Mientras que los altos topográficos (pilares) fueron las fuentes de aporte de material sedimentario. Para este momento, el

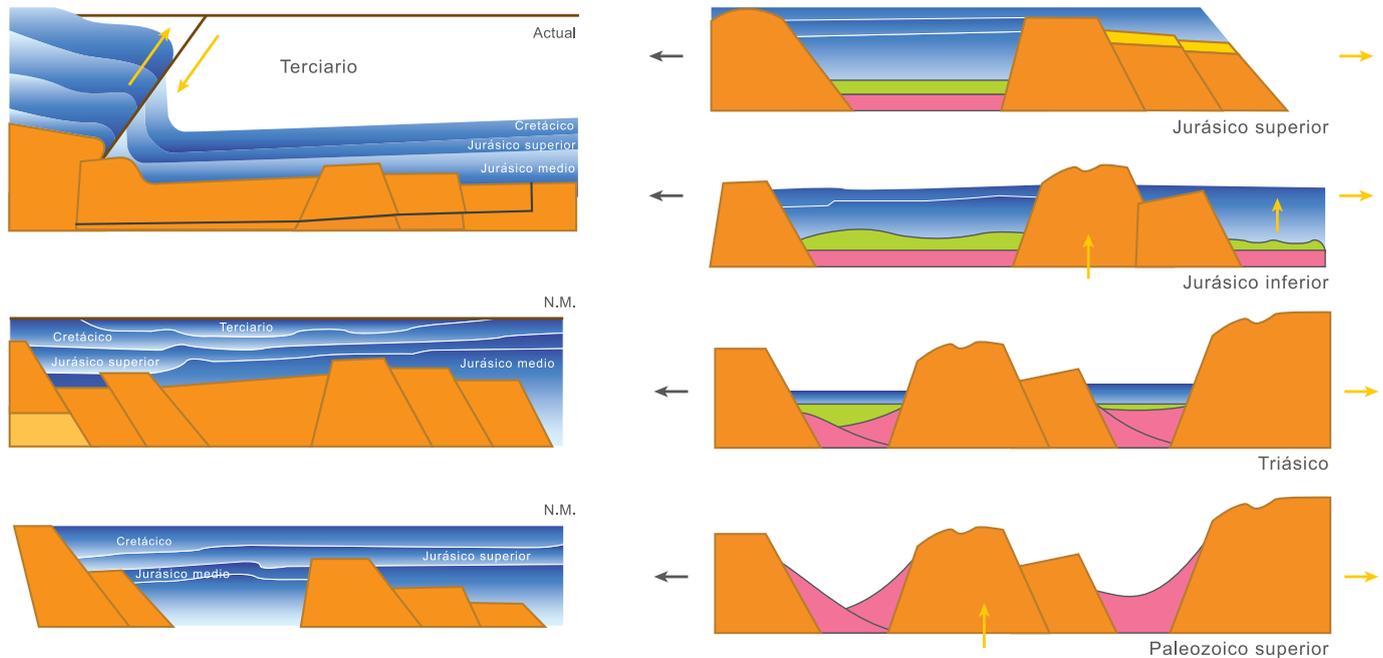


FIGURA 1. Modelo esquemático de la evolución tectónica del oriente de México a través del tiempo geológico, desde el Paleozoico hasta el Terciario.

ambiente continental que prevaleció de otras épocas comenzaba a ser un ambiente marino.

A medida que avanzó la transgresión, las aguas oceánicas inundaron las islas remanentes, conformando zonas de profundidades someras, lo cual facilitó el desarrollo de plataformas marinas que en la actualidad constituyen grandes volúmenes de rocas almacenadoras de hidrocarburos. En términos geológicos, estas estructuras se conocen como las plataformas de Tuxpan, Córdoba, Tampico-Misantla y San Luis-Valles (Ortuño-Arzate *et al.*, 2003; Carrillo-Bravo, 1971). En la medida en que el nivel del mar ascendía, las aguas someras se volvían más profundas. Este avance paulatino culminó en el Cretácico Superior, cuando todos los altos topográficos quedaron totalmente sumergidos. La **FIGURA 1** muestra una secuencia de los eventos ocurridos desde el Paleozoico hasta el Terciario.

En el límite de los periodos Cretácico Superior y Terciario, el choque entre las placas de Farallón y de Norteamérica originó la Orogenia Laramide. Como consecuencia de esto, en la parte occidental del país se emplazó un arco volcánico que formó las grandes provincias ignimbríticas de la Sierra Madre Occidental. Mientras que en la porción oriental del territorio, los efectos de dicha orogenia deformaron los sedi-

mentos marinos y provocaron su levantamiento, formando así lo que actualmente es la Sierra Madre Oriental, la cual constituye un cinturón plegado y fallado con orientación noroeste-sureste. Este evento tuvo como consecuencia el cambio de ambiente marino a continental.

En el Paleoceno, la región continental estuvo sometida a esfuerzos corticales y a una intensa erosión de la Sierra Madre Oriental, los sedimentos originados se distribuyeron en forma de abanicos submarinos que rellenaron las cuencas terciarias, formando así la planicie costera del Golfo de México, la cual fue cubierta por la última trasgresión marina. Durante el Mioceno Medio aparecen los primeros signos del vulcanismo originado por la subducción de la placa del Pacífico por debajo de la placa Norteamericana, lo cual dio origen a la formación de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM). Esta provincia geológica atraviesa al país en su parte central con una orientación este-oeste (Demant y Robin, 1975). En el sector oriental de la FVTM, este vulcanismo quedó de manifiesto con la construcción de la Sierra de Chiconquiaco, Palma Sola, los estratovolcanes Pico de Orizaba, Cofre de Perote, Las Cumbres y La Gloria, así como los campos monogenéticos de los Tuxtlas y Xalapa y las calderas de los Humeros y Chiconquiaco. El **MAPA 4** muestra el marco tectónico actual de la República Mexicana con los principales centros eruptivos.

MAPA 4. MAPA TECTÓNICO DE LA REPÚBLICA MEXICANA



Por último, la cordillera formada por los grandes estratovolcanes Cofre de Perote-Pico de Orizaba, aporta una gran cantidad de sedimentos volcánico-clásticos, los cuales se encauzan a lo largo de los ríos que desembocan en el Golfo.

GEOLOGÍA

Paleozoico

Las rocas más antiguas que se encuentran en el estado de Veracruz afloran en la región de Huayacocotla, al noroeste del estado. Allí es posible observar una secuencia de lutitas de color negro, en alternancia con capas de areniscas de grano medio y grueso a conglomerático, cementada por sílice y carbonato que contiene fusulínidos y fragmentos de

crinoides. Dicha secuencia fue definida con el nombre de Formación Guacamaya por Carrillo Bravo (1965).

Otros afloramientos de rocas del Paleozoico Superior se encuentran en los alrededores de Altotonga, en la región central, los cuales consisten de una secuencia de filitas y esquistos de biotita. Al sur del estado, en los límites con Oaxaca y Chiapas, afloran rocas intrusivas de composición granítica que pertenecen al Complejo Batolítico de Chiapas, a las cuales se les ha asignado una edad paleozoica correspondiente al Pérmico Tardío (Coremi, 1994).

Las rocas paleozoicas constituyen el basamento de la potente secuencia de rocas sedimentarias y volcánicas que se formaron durante el Mesozoico y Cenozoico.

Mesozoico

Las rocas del Mesozoico se encuentran regularmente distribuidas a lo largo y ancho del estado de Veracruz y sobreyacen discordantemente a las rocas del Paleozoico. Las más antiguas pertenecen al Triásico y están representadas por una secuencia de origen continental formada por areniscas, limolitas, conglomerados cuarcíticos de color gris, lutitas y lodolitas de colores rojo y café, conocida como los lechos rojos de la Formación Huizachal (Imlay *et al.*, 1948). La erosión en estas rocas sedimentarias ha producido una morfología de montañas escarpadas cortadas por barrancas profundas.

Durante el inicio del Jurásico ocurrió un avance de las aguas marinas que dio lugar a la sedimentación de una secuencia arcillo-arenosa conocida como Formación Huayacocotla (Carrillo-Bravo, 1965), la cual está constituida por una alternancia de lutitas negras y limolitas con intercalaciones de arenisca y conglomerado. Esta secuencia contiene abundantes fósiles de plantas y carbón hacia la cima, y en la parte media presencia de amonitas. Durante el Jurásico Medio se depositaron capas gruesas y bancos de arenisca con alto contenido de cuarzo de color gris claro, bancos gruesos de conglomerados con fragmentos de rocas ígneas cementados en una matriz areno-arcillosa. Carrillo-Bravo (1965) definió formalmente estos depósitos siliciclásticos como Formación Cahuadas. En el Jurásico Superior, las formaciones Tamán y Pimienta (Heim, 1926) representan el evento transgresivo de este período. La primera está constituida por calizas negras microcristalinas que alternan con capas de lutita gris. La segunda por calizas micríticas arcillosas de colores negro y blanco con presencia de lentes de pedernal negro y capas delgadas de bentonita (Cantú Chapa, 1984).

Tanto las rocas del Triásico como las del Jurásico, afloran en las regiones de Huayacocotla, Tlapacoyan, Altotonga y Misantla, en una estructura geológica de dimensiones regionales conocida como Anticlinorio de Huayacocotla (Carrillo Bravo, 1965; López Ramos, 1989). Mientras que al sur del estado, en los límites con Oaxaca, el Jurásico Superior está representado por la Formación Todos Santos, constituida por una secuencia de sedimentos terrígenos de conglomerado, arenisca y limolita de color rojo.

La secuencia de rocas mesozoicas continúa durante el Cretácico Inferior. Este período está caracterizado por calizas masivas de color claro con microfósiles y nódulos de pedernal.

Las principales formaciones que agrupan a esta secuencia calcárea son la Tamaulipas Superior e Inferior y la Chinameca. El Cretácico Medio queda representado por las formaciones El Abra (Kellum, 1930), Orizaba (Böse, 1899) Cuesta del Cura y Capolucan (Mena, 1962). Estas unidades litoestratigráficas constan de estratos de calizas de color blanco a gris claro, de ambientes de plataforma y arrecifal. Las primeras consisten de lodos calcáreos en estratos de 20 cm a 1 m de espesor, las segundas están formadas por corales, rudistas, gasterópodos y esponjas en estratos con espesores de 2 a 4 m. El Cretácico Superior incluye las formaciones Méndez, San Felipe, Agua Nueva, Maltrata y Guzmantla. La composición litológica de estas unidades es de calizas arcillosas color gris claro, con intercalaciones de lutitas y capas de bentonita de color verde, así como de calizas arrecifales en las que destaca la presencia de corales, algas y agrupamientos lenticulares de rudistas. Las rocas del Cretácico cubren extensas áreas en las regiones de Córdoba, Orizaba y Zongolica, mientras que al norte y sur del estado sus afloramientos son pequeños. Asimismo en los alrededores de Xalapa se observan algunas sierras conformadas por estas rocas (Chavarrillo, Jalcomulco y Jilotepec).

Ortega Gutiérrez *et al.* (1992) define como provincia geológica del Cinturón Mexicano de Pliegues y Fallas a las rocas del Mesozoico que conforman la Sierra Madre Oriental (**MAPA 2**).

Cenozoico

Durante el Terciario se depositaron sedimentos derivados de la erosión de las rocas carbonatadas del Mesozoico. Estos sedimentos fueron depositados en las llamadas cuencas terciarias de Veracruz, donde se acumularon espesores de más de 3,000 m de sedimentos terrígenos, con un predominio de areniscas de grano fino a medio con intercalaciones de lutitas, cuerpos aislados de conglomerados y estratos carbonatados.

Las principales unidades litoestratigráficas que comprenden este período son las formaciones Velasco, Chicontepec, Guayabal, Tantoyuca, Horcones, Chapopote, La Laja, Depósito, Encanto, Concepción y Paraje Solo. Los sedimentos terrígenos de estas unidades cubren una franja de norte a sur y forman lo que actualmente se conoce como la Planicie Costera del Golfo, la cual tiene una expresión morfológica de lomeríos suaves y amplias llanuras, sobre las cuales escurren los grandes ríos que desembocan al Golfo de México. Ortega-Gutiérrez *et al.*



Foto 1. Estructura en forma de conducto volcánico que forma parte del macizo de Palma Sola.

(1992) agruparon a estas formaciones en la provincia geológica de la Cuenca Deltáica de Veracruz (**MAPA 2**).

Las primeras manifestaciones de la actividad magmática y volcánica dentro de lo que ahora es el estado de Veracruz se registraron durante el Terciario Superior. Al norte, en la región de Cerro Azul, se observan cuerpos aislados de intrusivos de gabro y monzonita en forma de troncos y chimeneas volcánicas, los cuales cortan a las secuencias de lutitas y areniscas del Terciario Medio e Inferior. Las rocas extrusivas son basaltos de composición alcalina, las cuales se observan al NW de Cerro Azul, en donde su expresión morfológica más evidente es la sierra de Tantima. Al poniente de Poza Rica conforman importantes derrames de lava que cubren discor-

dantemente a los depósitos sedimentarios del Terciario Inferior. Estudios realizados por Ferrari *et al.* (2005) reportan edades que fluctúan entre los 9 y 6.6 Ma para la sierra de Tantima-Cerro Azul, y de 1.3 a 1.6 Ma para la zona de Poza Rica. Con anterioridad, Cantagrel y Robin (1979) habían determinado un rango de edades entre 5 y 2 Ma para estas rocas.

En la región comprendida entre Chiconquiaco, Juchique, Alto Lucero y Palma Sola, las rocas ígneas y volcánicas están constituidas por intrusivos y derrames de lava cuyas edades, de acuerdo con López-Infanzón (1991) y Ferrari *et al.* (2005), varían entre 2 y 14 Ma. En su conjunto, estas rocas conforman dos rasgos fisiográficos conocidos como la sierra de Chiconquiaco y el macizo volcánico de Palma Sola (**FOTO 1**). En este



Foto 2. Vista del volcán San Martín.

R. Colorado Salazar

último destacan dos conos de escoria de edad Cuaternaria muy bien preservados conocidos como Los Atlixcos, ubicados al NW de la población de Palma Sola. Los derrames de lava de composición basáltica llegan a la costa y su presencia es una clara muestra de la actividad volcánica reciente en esta zona. Otra de las regiones volcánicas costeras es la conocida como Campo Volcánico de Los Tuxtlas (CVLT), ubicada al sur del estado en los alrededores de la ciudad de Catemaco. De acuerdo con Nelson y González-Caver (1992), la actividad volcánica en el CVLT comenzó hace aproximadamente 7 Ma y ha continuado hasta tiempo reciente a través del volcán San Martín Tuxtla (FOTO 2), con las erupciones históricas ocurridas en los años de 1664 y 1793.

El CVLT está constituido por una cantidad estimada entre 200 y 300 conos de escoria, los cuales han producido lavas y productos piroclásticos de composición fundamentalmente basáltica. En la porción sur del CVLT se encuentran otros edifi-

cios volcánicos más antiguos, como los volcanes San Martín Pajapan, Santa Marta y Yohualtajapan, los cuales en su conjunto forman la llamada sierra de Santa Marta. La mayoría de los conos de escoria y estratovolcanes que conforman el CVLT se encuentran alineados en dirección NW-SE.

Además de la región de Los Tuxtlas, la actividad volcánica más reciente dentro del estado de Veracruz se concentra principalmente en la región central, entre las ciudades de Xalapa y Orizaba. Este vulcanismo está relacionado con la formación de la Faja Volcánica Trans-Mexicana (FVTM), que es una provincia geológica (Ortega *et al.*, 1992) formada por aparatos volcánicos mayores, como calderas y estratovolcanes, así como una gran cantidad de conos de escoria. La FVTM atraviesa al país de oeste a este por su parte central y es la expresión continental resultante de la subducción de las placas oceánicas de Cocos y Rivera bajo la placa continental de Norte América (MAPA 4).

Para su estudio, la FVTM ha sido dividida en tres sectores: occidental, central y oriental, los cuales presentan características particulares que los distinguen entre sí (Ferrari, 2000). El sector oriental de la FVTM abarca una porción considerable de la región central de los estados de Puebla y Veracruz, entre las ciudades de Perote, Xalapa y Coscomatepec. Uno de sus rasgos más distintivos es la cordillera formada por los volcanes Cofre de Perote-La Gloria-Las Cumbres-Pico de Orizaba, la cual tiene una orientación NE-SW y contiene a las elevaciones más importantes del estado. Esta cordillera constituye el parteaguas entre la región del Altiplano Mexicano, al poniente, y la Planicie Costera del Golfo, al oriente (MAPA 5).

Los basaltos, andesitas y riolitas de edad Cuaternaria de la FVTM, descansan discordantemente sobre rocas volcánicas del Terciario y sobre calizas y lutitas del Mesozoico. Una de

las explicaciones a la gran altura que presenta el alineamiento volcánico Pico de Orizaba-Cofre de Perote, es que estas estructuras comenzaron a formarse sobre el macizo de rocas sedimentarias plegadas, falladas y elevadas que constituye la Sierra Madre Oriental, el cual le sirvió como plataforma para su crecimiento (Concha-Dimas *et al.*, 2005; Carrasco-Núñez *et al.*, 2006).

En términos muy generales, la migración del vulcanismo ha seguido una dirección de norte a sur, de tal modo que en la actualidad el único volcán activo es el Pico de Orizaba o Citlaltépetl (5,675 msnm), el cual es un estratovolcán o volcán compuesto formado por la superposición de tres edificios volcánicos, los cuales, de acuerdo con Carrasco-Núñez y Ban (1994), son el resultado de la destrucción y reconstrucción sucesiva del edificio volcánico principal y constituyen tres

MAPA 5. MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN DE LA CORDILLERA VOLCÁNICA PICO DE ORIZABA-COFRE DE PEROTE

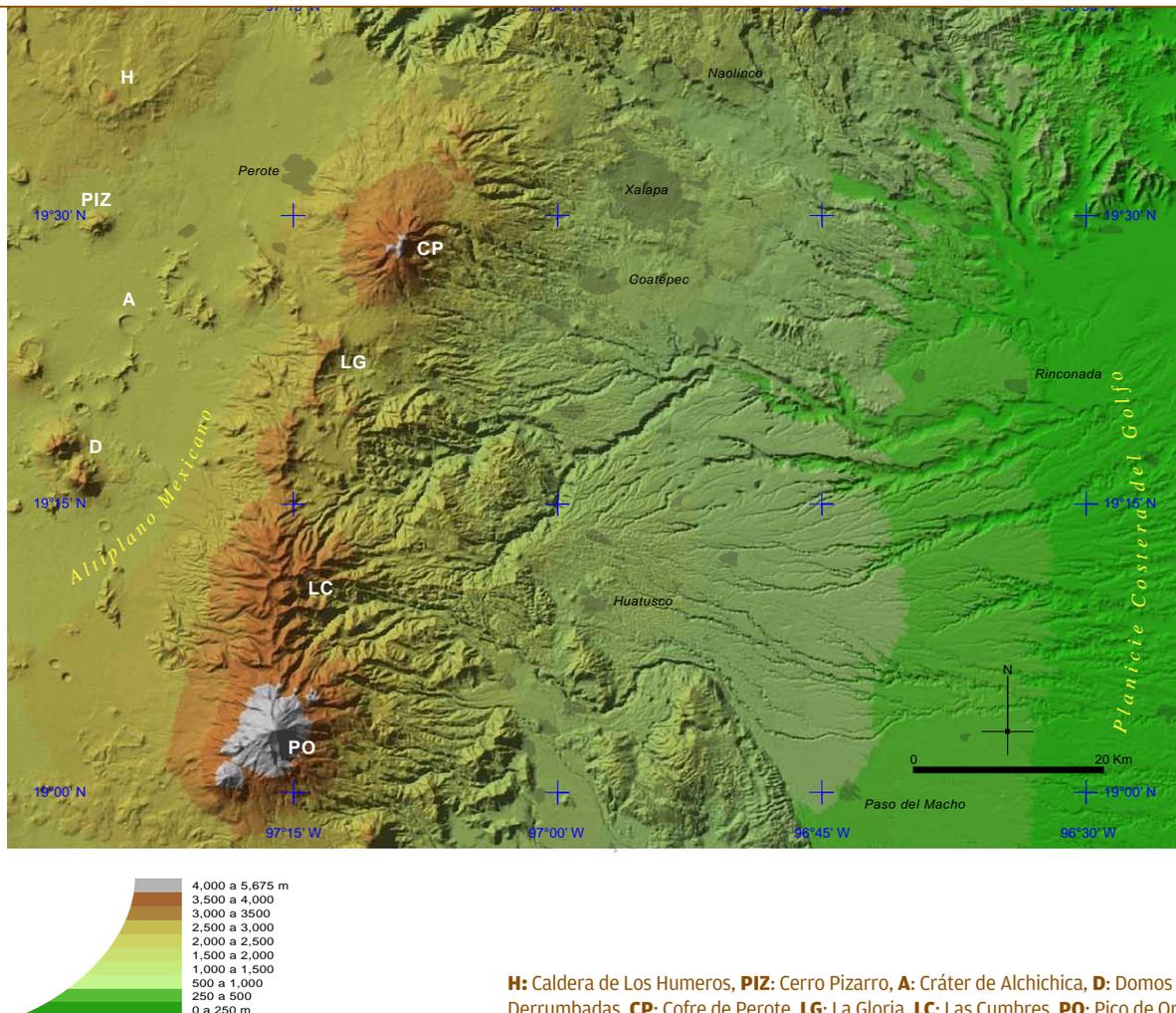




Foto 3. Vista del flanco oriental del volcán Pico de Orizaba. 1: Torrecillas, 2: Espolón de Oro, 3: Cono actual.

etapas en su historia evolutiva. Los nombres de los conos ancestrales son: Torrecillas (al sur) cuya edad estimada es de 650,000 años, Espolón de Oro (al norte) con una edad estimada en 210,000 años y finalmente el cono actual, Citlaltépetl (Carrasco-Núñez, 2000) (FOTO 3).

Varios autores se han ocupado de los diferentes centros volcánicos que conforman el sector oriental de la FVTM, de los cuales, por su cantidad, destacan aquellos que han estudiado el Pico de Orizaba, tales como: Robin y Cantagrel (1982), Höskuldsson y Robin (1993), Siebe *et al.* (1993), Carrasco-Núñez y Ban (1994), Concha-Dimas *et al.* (2005), Carrasco-Núñez *et al.* (2006).

Por su carácter de inactivos o extintos, los volcanes ubicados al norte del Citlaltépetl han sido objeto de menor atención. Aproximadamente unos 10 km al norte se encuentra el Complejo Volcánico de Las Cumbres, que agrupa una serie de centros eruptivos. La estructura principal es un cráter de aproximadamente 4 km de diámetro que contiene un domo de composición dacítica en su centro, conocido con el nombre de Cerro Gordo (MAPA 5). Este volcán se colapsó hace más de 50,000 años y sus depósitos de avalancha están distribuidos principalmente a lo largo de la actual cuenca del Río Huitzilapan-Pescados, encontrándose afloramientos en sitios muy próximos a la costa del Golfo de México (Rodríguez, 2005).

Aproximadamente 20 km al norte de Las Cumbres, se encuentra el Complejo Volcánico de La Gloria, el cual está formado por estructuras en forma de caldera que probablemente pertenecieron a un estratovolcán que fue destruido



y erosionado (MAPA 5). Sus depósitos se encuentran distribuidos en una región comprendida entre Teocelo y Huatusco y su edad aún no se ha determinado. Hacia el norte de La Gloria se localiza el volcán Cofre de Perote, o Nauhcampatépetl, el cual es un volcán extinto de composición andesítica muy erosionado, cuya forma tiende más hacia un volcán de los llamados tipo escudo (FOTO 4). La edad estimada para el inicio de la actividad volcánica en el Cofre de Perote de acuerdo con Cantagrel y Robin (1979) es de 1.5 Ma.

Un caso especial documentado recientemente por Siebert y Carrasco-Núñez (2002) es el volcán monogenético llamado El Volcancillo, localizado al NE del Cofre de Perote, cuya actividad volcánica ha sido fechada en 900 años antes del presente. Esta edad tan reciente implica que ya existían asentamientos humanos en la región cuando esta erupción tuvo

Foto 4. Vista del flanco oriental del volcán Cofre de Perote.

efecto. Además de El Volcancillo, en los alrededores de la ciudad de Xalapa existen aproximadamente 60 conos monogenéticos, los cuales son una clara evidencia de la actividad volcánica reciente en el sector oriental de la FVTM. Entre los más importantes se encuentran los de La Joya, el cerro del Macuiltépetl en Xalapa, el de Las Culebras en Coatepec, el Acamalín en Xico, Cerro Grande en la Orduña, y los de Cerro Gordo, entre otros (González-Mercado, 2005; Rodríguez *et al.* 2008; Rodríguez *et al.*, en prensa).

Uno de los centros eruptivos que más destaca en el sector oriental de la FVTM por su tamaño e importancia económica, es la caldera de Los Humeros. Su estructura principal es un cráter circular de aproximadamente 20 km de diámetro de



Foto 5. Instalaciones de la planta geotérmica de la Comisión Federal de Electricidad en la caldera de Los Humeros.

edad pleistocénica; se localiza en el límite entre los estados de Puebla y Veracruz, cerca de la ciudad de Perote. Sus productos están constituidos mayoritariamente por depósitos piroclásticos de flujo y de caída, los cuales se distribuyen en el valle de Perote y algunos alcanzan la ciudad de Xalapa, en donde son conocidos como “arenales”. Estos depósitos pertenecen a una unidad definida por Ferriz y Mahood (1984) como Ignimbrita Xáltipan, cuya edad fue estimada en 450,000 años. Actualmente la energía geotérmica producida por el calor remanente de la actividad volcánica en la caldera de Los Humeros, es una importante fuente de generación de electricidad (Foto 5).

GEOLOGÍA ECONÓMICA

Una de las aplicaciones de la geología es la búsqueda y localización de recursos naturales como petróleo, gas, yacimientos minerales o agua, entre otros.



Foto 6. Pozo petrolero en el norte del estado de Veracruz.

La importancia de la geología para estos fines radica en que sólo algunas zonas muy restringidas de la corteza terrestre presentan concentraciones económicamente redituables.

Entre los recursos naturales de mayor importancia en Veracruz destacan sus yacimientos de gas y petróleo, cuyo origen está íntimamente relacionado con los procesos geológicos que han originado las rocas que conforman el territorio del estado.

Dentro de la complejidad de un yacimiento de hidrocarburos, las rocas en el subsuelo tienen funciones distintas, ya sea como generadoras (ricas en materia orgánica), almacenas (permeabilidad y porosidad) o sello (impermeabilidad). Además, se requiere que las condiciones estructurales y estratigráficas de estas rocas se conjuguen en espacio y tiempo para constituir lo que en términos de petróleo se conoce como una trampa, que es el ambiente ideal para el almacenamiento de los hidrocarburos. Estas condiciones ocurrieron para conformar, entre otros yacimientos importantes de Veracruz, la famosa “Faja de Oro” en la región norte del estado, cuya producción de hidrocarburos ha sido una fuente importante de divisas para el país (FOTO 6).

En cuanto a su riqueza minera, Veracruz no ha sido un estado productor de minerales metálicos, particularmente si se compara con otros estados de la república como Hidalgo, Guanajuato o Zacatecas. Sin embargo, regiones como las de Tatatila-Las Minas, Chiconquiaco-Palma Sola y Los Tuxtlas tienen mineralización moderada en asociaciones de plata, plomo y zinc, aunque en la actualidad la explotación está prácticamente suspendida (Coremi, 1994).

Por otro lado, Veracruz es un importante productor de minerales no metálicos, entre los cuales puede mencionarse el caolín en la región de Huayacocotla. La materia prima de este producto es la caolinita, un mineral del grupo de las arcillas resultado de la alteración hidrotermal de las rocas volcánicas terciarias de la región (Coremi, 1994). El caolín es utilizado principalmente en las industrias de la construcción y farmacéutica, así como en la fabricación de cerámica y materiales refractarios, entre otros usos (FOTO 7). Por su cantidad y calidad, los yacimientos de caolín de Huayacocotla son los más ricos del país.

En el sur del estado, en la región conocida como cuenca salina del Istmo de Tehuantepec, sobresalen los depósitos de



Emmanuel Solís

Foto 7. Caolín en la región de Huayacocotla.



Foto 8. Sitio de extracción y beneficio de arena sílica en el sur del estado de Veracruz.

azufre, cuyo origen está asociado con cuencas evaporíticas del Jurásico. El principal centro productor se ubica entre las poblaciones de Jáltipan y Texistepec. Actualmente su producción ha disminuido considerablemente debido a las dificultades de extracción. El azufre es usado principalmente en las industrias química y farmacéutica. Otros depósitos importantes en esta región son los de arena sílica, los cuales están asociados con depósitos de arenas cuarcíferas, arcillas arenosas y lentes de arenisca, pertenecientes a la Formación Filisola del Terciario Medio (Coremi, 1994). En su conjunto, Veracruz es considerado como el principal productor de arena sílica de todo el país (FOTO 8). Este producto se destina para la fabricación de cristal, cerámica y filtros. Se utiliza también en la industria metalúrgica y de la construcción.

Otros yacimientos importantes son los materiales pétreos, los cuales están relacionados con los enormes bancos de rocas carbonatadas ubicados principalmente en la región central. Las calizas son la materia prima para la fabricación de cemento, industria que tiene una gran importancia en la economía del estado. En el área de Tatatila-Las Minas, los depósitos de caliza

fueron afectados por intrusivos graníticos terciarios, los cuales produjeron importantes bancos de mármol.

En la industria de la construcción también son utilizados materiales derivados de la actividad volcánica, como es el caso de los bancos de arena localizados en los alrededores de la ciudad de Xalapa, así como los depósitos de pómez (localmente llamado tepezil) de la región de Perote; estos últimos son utilizados como agregados para el concreto y para la fabricación de tabicones, también conocidos como “blocks” (FOTO 9).

PELIGROS GEOLÓGICOS MÁS RECURRENTES

En su conjunto, puede afirmarse que Veracruz es un estado con un alto grado de exposición a los fenómenos naturales, especialmente aquellos relacionados con el exceso de agua, derivado de las intensas lluvias que frecuentemente caen en diversas zonas. Además, las alteraciones hechas por la mano del hombre, tales como cortes para la construcción de caminos, asentamientos humanos irregulares o la tala irracional de los bosques, ayudan a incrementar la vulnerabilidad.



Foto 9. ARRIBA. a) Sitio de extracción de pómez (tepezil);
b) Proceso de fabricación de "block" o tabicón.



Foto 10. IZQUIERDA. Deslizamiento de ladera ocurrido en 1999 en la comunidad de Francisco I. Madero, en el norte del estado.

Debido a los diferentes comportamientos que las rocas y suelos pueden presentar ante estas circunstancias, el conocimiento detallado de la geología, constituye una de las bases fundamentales para entender el carácter de los peligros naturales y así poder prevenir sus efectos destructivos.

Entre los peligros naturales más recurrentes en el territorio veracruzano están aquellos relacionados con los deslizamientos o procesos de remoción en masa y hundimientos del terreno (FOTO 10). Anualmente, estos fenómenos provocan daños considerables al afectar la infraestructura económica, pero sobre todo causan la pérdida de vidas humanas. La ocurrencia de los deslizamientos está ligada a las características climáticas, morfológicas y geológicas del estado, por lo cual resulta muy complicado el evitarlos; sin embargo, sí es posible minimizar sus efectos mediante la realización de mapas de zonificación que, entre otras cosas, ayuden a tomar decisiones correctas en cuanto a políticas de crecimiento urbano.

Además de lo anterior, en Veracruz existen dos volcanes activos, el Pico de Orizaba y el San Martín Tuxtla, los cuales, aunque actualmente se encuentran en estado de reposo, tienen una historia eruptiva que los convierte en fuentes potenciales de amenaza. Esto obliga a mantener una vigilancia permanente, ya que si bien sus períodos de reposo pueden ser largos, siempre existe la probabilidad de una reactivación.

Otro factor de peligro en el estado es la actividad sísmica, la cual se concentra principalmente en las zonas centro y sur. Históricamente se tiene un largo registro de temblores ocurridos dentro del territorio veracruzano. Entre los más recientes pueden mencionarse el conocido como de Xalapa en el año de 1920 y el de Orizaba de 1973. El primero tuvo su epicentro en una región ubicada al suroeste de Xalapa. Los daños a las construcciones fueron graves en poblados como Coatepec, Teocelo, Xico y Coscomatepec; sin embargo, lo peor ocurrió a lo largo del cauce del río de Los Pescados-Huitzilapan, en donde los derrumbes de laderas sepultaron varias poblaciones (Comisiones del Instituto Geológico de México, 1922). El de Orizaba, cuyo epicentro estuvo localizado en los límites con el estado de Puebla, ocasionó severos daños y pérdida de vidas humanas.

Antes del terremoto de 1985 en la ciudad de México, estos dos temblores eran responsables del mayor número de víctimas por un sismo en México.

GLOSARIO

- Amonita.** Molusco de ambiente marino que predominó en nuestro planeta durante el Mesozoico y se extinguió a fines del período Cretácico.
- Andesita.** Roca ígnea extrusiva de color oscuro a intermedio, de grano fino. En su composición mineralógica predomina el feldespato, la plagioclasa y en menor cantidad biotita y hornblenda.
- Arenisca.** Roca sedimentaria formada por clastos de tamaño de arena (2-0.02 mm), englobados en una matriz de grano más fino.
- Caldera.** Cráter volcánico circular cuyo diámetro mide más de 5 km. La depresión topográfica asociada generalmente es causada por el hundimiento de una cámara magmática.
- Caliza.** Roca sedimentaria de origen químico. Se forma principalmente en ambientes marinos, aunque también ocurre en ambientes continentales. Su composición química es principalmente carbonato de calcio (CaCO₃) y el mineral que la forma es la calcita. Con frecuencia contiene restos de fósiles. Cuando están constituidas por lodos calcáreos de grano extremadamente fino se les denomina calizas micríticas.
- Conglomerado.** Roca sedimentaria constituida por clastos de tamaños variables entre 2 y 64 mm (y aun mayores), englobados en una matriz de grano fino.
- Cuencas evaporíticas.** Lagunas de profundidad muy somera con alto grado de salinidad. La evaporación del agua induce la precipitación química directa de los iones contenidos en el agua y forma depósitos conocidos como evaporíticos, entre los cuales se encuentran la sal y el yeso.
- Dacita.** Roca ígnea extrusiva de color intermedio a claro, de grano fino. En su composición mineralógica predomina el feldespato, la plagioclasa, biotita y en menor proporción la hornblenda, y piroxenos.
- Depósito siliciclástico.** Acumulación de sedimentos de composición mayoritariamente silicatada, que constituyen rocas sedimentarias cuyo cementante es óxido de sílice.
- Esquistos.** Grupo de rocas metamórficas foliadas, formadas principalmente por minerales laminares tales como mica, clorita, talco, hornblenda, grafito y otros.
- Estratovolcán.** Volcán compuesto por múltiples capas de lava y depósitos piroclásticos, su forma es cónica y llega a alcanzar grandes alturas. Ejemplos: Pico de Orizaba y Popocatepetl.
- Filita.** Roca metamórfica de grano fino. Sus principales componentes mineralógicos son moscovita, sericita, clorita y cuarzo.
- Gabro.** Roca ígnea intrusiva de color verde oscuro, de grano grueso. Su mineralogía está compuesta principalmente por plagioclasa, piroxenos y olivino.
- Intrusivo.** Cuerpo ígneo de forma tabular que se forma cuando el magma intrusión otra roca. Se enfría y solidifica bajo la superficie.
- Ignimbrita.** Roca volcánica formada por un flujo piroclástico de grandes dimensiones. Sus principales componentes son fragmentos de pómez y rocas englobados en una matriz de vidrio y pequeños cristales. Por lo general sus fuentes de emisión son grandes calderas. Este tipo de rocas predomina en la provincia ignimbrita que constituye la Sierra Madre Occidental.
- Limolita.** Roca sedimentaria formada por lodos finos (limo) cuyo cementante es por lo regular carbonato de calcio. También se conocen como lodolitas.
- Lutita.** Roca formada por sedimentos del tamaño de la arcilla y limo. Generalmente tienen un alto contenido de materia orgánica, lo que les confiere un color oscuro. Se les considera como una de las rocas generadoras de petróleo.
- Mineral.** Material cristalino inorgánico de origen natural con una estructura química definida.
- Migración volcánica.** Desplazamiento lateral de la actividad volcánica en una determinada dirección. El resultado de este proceso es la formación de volcanes alineados. Ejemplo: Cofre de Perote, Las Cumbres y Pico de Orizaba.
- Monzonita.** Roca ígnea intrusiva de textura granular y colores claros a intermedios. Su mineralogía está compuesta principalmente por ortoclasa, feldespato, plagioclasa, hornblenda, augita y biotita.
- Orogenia.** Conjunto de procesos geológicos que se producen en los bordes de las placas tectónicas y que dan lugar a la formación de grandes cadenas montañosas.
- Orogenia Laramide.** Proceso de formación de montañas (orogénesis) que comenzó en el Cretácico superior hace aproximadamente 65 millones de años y terminó durante el Eoceno, hace 35 millones de años. Como resultado de esta orogenia se formó la Sierra Madre Oriental y su continuación hacia el norte, es decir las montañas Rocallosas.
- Piroclastos.** Fragmentos individuales de roca volcánica que son expulsados durante una erupción. Ejemplos: pómez y escoria. En conjunto constituyen los depósitos piroclásticos de flujo o caída, según sea su mecanismo de emplazamiento.
- Rift continental.** Región de la corteza terrestre a lo largo de la cual se está produciendo extensión o apertura. Como resultado de este proceso se forma una depresión lineal o rift sobre la cual se encauzan ríos o se forman lagos.
- Roca ígnea.** Roca formada por el enfriamiento y cristalización del magma.
- Roca metamórfica.** Roca formada por la modificación de otras rocas preexistentes en el interior de la Tierra mediante calor, presión y o fluidos químicamente activos.
- Rocassedimentarias.** Rocas formadas a partir de los diferentes procesos de intemperismo en rocas preexistentes. Los productos resultantes son transportados, depositados y litificados.
- Sedimentos volcánoclasticos.** Partículas de roca constituidas de material proveniente de los volcanes.
- Subducción.** Proceso de hundimiento de una placa tectónica bajo otra. Los esfuerzos generados son de compresión y ocurre en los límites convergentes entre dos placas.
- Sílice.** Compuesto químico muy abundante en la corteza terrestre y cuya composición química es óxido de silicio (SiO₂). Su expresión mineralógica más común es el cuarzo.
- Volcán monogenético.** Volcanes de tamaño pequeño que por lo general presentan la forma de un cono truncado. Se forman como resultado de una sola erupción.