Fenómeno Geológico

Marco conceptual

Índice

Fenómenos Geológicos 1
Inestabilidad de Laderas (Deslizamientos, flujos y Caídos o Derrumbes) 1
Sismos 4
Tsunamis 7
Erupciones Volcánicas 9
Hundimiento, Subsidencia, Agrietamientos y Fallas Geológicas 13
Los Riesgos Geológicos 17
Riesgo 17
Peligrosidad 18
Vulnerabilidad 18
Geología del Estado de Guanajuato 18
Provincias Fisiográficas del Estado de Guanajuato 20
Riesgos en la actividad Minera 21
Impacto Socio Económico de los desastres geológicos en México 22
Fuentes 24

Fenómenos Geológicos

Agente perturbador que tiene como causa directa las acciones y movimientos de la corteza terrestre. A esta categoría pertenecen los sismos, las erupciones volcánicas, los tsunamis, la inestabilidad de laderas, los flujos, los caídos o derrumbes, los hundimientos, la subsidencia y los agrietamientos.

Inestabilidad de Laderas (Deslizamientos, flujos y Caídos o Derrumbes)

Se manifiesta como el rompimiento o pérdida de una porción de los materiales que constituyen una ladera y se deslizan pendiente abajo por la acción de la gravedad.

Estas inestabilidades se caracterizan porque los materiales que componen la masa fallada se pueden mover por derrumbe o caída, deslizamientos, flujo y desplazamiento lateral, algunos deslizamientos son rápidos porque ocurren en segundos, mientras que otros pueden tomar horas, semanas, meses, o lapsos mayores para que desarrollen.

Características y partes que componen una ladera y un deslizamiento

Corona. - Es el material de la parte más alta de la escarpa principal y que permanecen en el lugar después de producirse un deslizamiento.

Superficie original del terreno. - Es la superficie inclinada o talud de una ladera antes de que ocurra el movimiento de deslizamiento.

Hombro. - Es la zona de transición entre la superficie original del terreno y la corona.

Pie de Ladera. - Parte más baja de la ladera.

Pie de la superficie de falla. - Es la línea de intersección (en ocasiones cubierta) entre la superficie de falla y la superficie original del terreno.

Escarpa principal de falla. - Es el escalón o superficie abrupta localizada en la parte superior de la ladera y contigua a la corona (forma parte de la superficie de falla).
Superficie de falla o de ruptura. - Zona o lugar geométrico donde se pierde el equilibrio de una porción de los materiales componentes de una ladera y tienen un deslizamiento por la acción de la gravedad.

Cuerpo Principal. - Es la parte de material desplazado sobre la superficie de ruptura, ocasionalmente permanece sobre la superficie de deslizamiento (falla contenida), pero otras veces se “vacía” totalmente ocasionando flujos.

Flanco. - Es el costado de un deslizamiento de tierras, se denomina izquierdo o derecho refiriéndose al deslizamiento observado desde la corona.

Zona de acumulación o base. - Es el área dentro de la cual el material desplazado queda encima de la superficie original del terreno, o es el área cubierta por el material fallado, abajo del píe de la superficie de falla.

Plataforma. - porción superior del talud que se encuentra más allá de la corona.

Punta o Uña. - Es el punto de la base del deslizamiento que se encuentra más distante de la corona.

Existen tres tipos básicos de deslizamientos:

1. **Caídos o Derrumbes (desplomes).**
2. **Deslizamientos.**
3. **Flujos**.

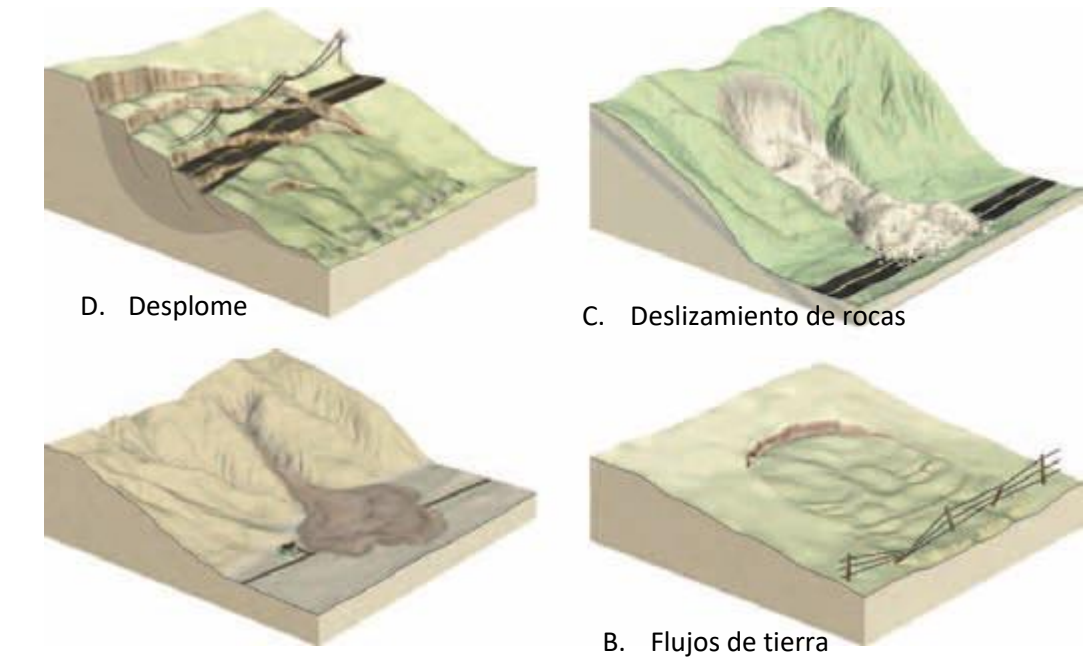


Ilustración 1.- Procesos gravitacionales que puede sufrir una ladera. Fuente: Tarbuck and Lutgens 2005.

1. Deslizamientos.
Son movimientos de una masa de materiales térreos pendiente abajo, sobre una o varias superficies de falla, delimitadas por la masa estable o remanente de una ladera, por su profundidad y forma se clasifican en:
Deslizamiento Planar o Trasnacional: Son aquellos en los cuales la masa de suelo o roca se desplaza hacia fuera y hacia abajo, siguiendo una superficie de falla relativamente plana, se asocia a suelos gruesos y roca, son poco profundos.

Los factores que inciden en la ocurrencia del deslizamiento de laderas y colapso de suelos, por mencionar los más significativos, son:

- El interperismo
- La actividad sísmica (cargas horizontales)
- La actividad volcánica
- Deshielo Composición de la roca (litología)
- Discontinuidades (tipo, número, dirección, buzamiento)
- Sobrecargas horizontales
- Presión de poros para cargas no drenadas
- Altura del talud
- Ángulos del talud (pendiente) y geometría
- Pesos unitarios de los suelos del talud y su base
- Presencia de agua fuera del talud
- Influencia de las aguas subterráneas

2. Flujos
Son masas de suelo y agua que fluye pendiente abajo muy rápidamente y contiene por lo menos 50% de granos de arena, limo y partículas arcillosas, pueden generarse en laderas o quebradas y estar asociadas o no a un deslizamiento, se comportan como fluido viscoso.

En el Estado de Guanajuato existe un alto riesgo de flujos de lodo por contar con presas de jales en las partes altas de localidades rurales y urbanas, tales como San Luis de la Paz, Xichú, Atarjea, Victoria, Guanajuato y algunos otros, asimismo en el municipio de Valle de Santiago los asentamientos humanos irregulares han invadido las áreas de cráteres de los volcanes, en donde también se está extrayendo material “in situ”, lo que podría originar un lahar.

En estos casos, la vulnerabilidad está en función directa de los elementos de riesgo existentes en el área de estudio, y resultaría muy conveniente realizar un análisis de la estimación del riesgo con levantamientos georreferenciados de cada uno de los elementos encontrados.

3. Caídos o Derrumbes.
Son movimientos abruptos de suelos y fragmentos aislados de rocas, que se originan en pendientes muy fuertes y acantilados, por lo que el movimiento es prácticamente de caída libre, rodando y rebotando, se clasifican principalmente en:

Desprendimientos: Es la caída de suelos producto de la erosión o de bloques rocosos, atendiendo a discontinuidades estructurales como grietas, planos de estratificación o fracturamiento y que tienden a la inestabilidad.

Vuelcos o Volteos: Caída de bloques rocosos con un giro hacia delante y hacia fuera, propiciado por la presencia de discontinuidades estructurales como grietas de tensión, formaciones columnares o diaclasas que tienden a la vertical.

Sismos

Los Sismos o Terremotos se manifiestan en la litosfera terrestre por la liberación súbita de energía, acumulada dentro o entre los límites de las placas tectónicas por su dinámica de desplazamiento, originando vibraciones o movimientos bruscos de corta duración e intensidad variable, en todas direcciones a partir del epicentro (foco).

De acuerdo con sus características, se entiende como sismo al temblor de tierra que no causa daños humanos y materiales de importancia. El Terremoto, en cambio, se entiende como un temblor de gran intensidad, catastrófico y devastador.
Algunos otros movimientos telúricos se registran por efectos del vulcanismo, hundimiento de cavidades subterráneas, explosiones nucleares subterráneas de origen humano y aforo de grandes presas.

La mayor actividad sísmica del planeta se concentra en el cinturón circumpacífico (conocido como El Cinturón de Fuego), que incluye las costas Orientales de Asia y Occidentales de América; México está en este cinturón en la que interactúan las cuatro placas tectónicas, la de Norteamérica, la del Pacífico, la de Cocos y la de Rivera.

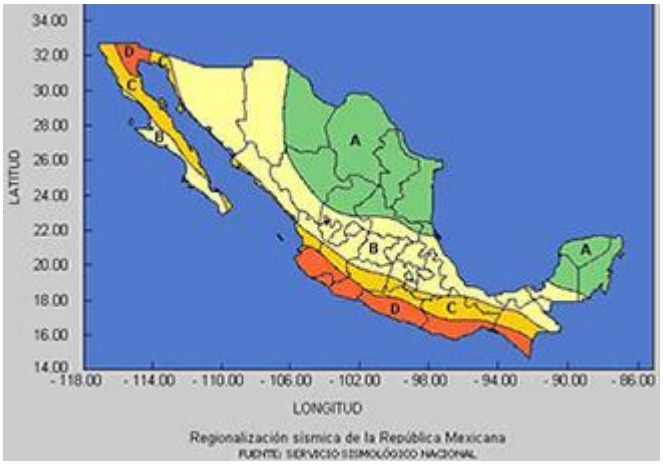
Las placas de Rivera y Cocos se desplazan por debajo de la placa Norteamericana, ocasionando la subducción en las costas de Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas.

Entre las placas del Pacífico y Norteamérica se manifiesta un corrimiento lateral que registra movimientos sísmicos y desplazamientos en la superficie costera, denominándose este fenómeno como Falla de San Andrés.

La vulnerabilidad sísmica se podría considerar como una expresión que relaciona las

consecuencias probables de un movimiento de tierra sobre una construcción, una obra de ingeniería o un conjunto de bienes o sistemas expuestos con la intensidad del temblor que podría generarlas.

Con fines de diseño antisísmico, la República Mexicana se encuentra dividida en cuatro zonas sísmicas, esto de acuerdo con los catálogos de sismos de la República Mexicana desde inicios de siglo, en base a la ocurrencia de grandes sismos que aparecen en los registros históricos y los registros de aceleración del suelo de algunos de los grandes temblores, ocurridos en el siglo pasado.



ZONA	CARACTERÍSTICAS
A	Zona donde no hay registros históricos de sismos en los últimos 80 años y no se esperan aceleraciones del suelo mayores a un 10% de la aceleración a causa de temblores.
B y C	Zonas intermedias, donde se reportan sismos no tan frecuentes o afectaciones por altas aceleraciones, pero no sobrepasan el 70% de la aceleración del suelo.
D	Zonas donde se han reportado grandes sismos históricos, donde la ocurrencia del sismo es muy frecuente y las aceleraciones del suelo pueden sobrepasar el 70% de la aceleración de la gravedad.

Tabla 1.- Tabla de regionalización sísmica de la República Mexicana. Fuente: CFE 2015.

El Estado de Guanajuato se ubica dentro de la zona B, en donde se han reportado sismos no tan frecuentes los cuales se han sentido con carácter leve. Para caracterizar el comportamiento del suelo Guanajuatense, los estudios ecológicos en el Estado de Guanajuato, en su mayoría, han sido encaminados para evaluación de recursos mineros con interés económico.

Actualmente el Servicio Sismológico Nacional cuenta con cerca de 102 equipos para el registro de temblores, los cuales se encuentran distribuidos estratégicamente por todo el territorio nacional, cada uno está equipado con un sismógrafo y un acelerógrafo de alta sensibilidad controlados por computadora, esta red, es una de las más avanzadas en el mundo, para consultar la localización de Red Sismológica te invitamos a que visites la siguiente página.

La magnitud de un sismo es un número que busca caracterizar el tamaño de un sismo y la energía sísmica liberada. Se mide en una escala logarítmica, de tal forma que cada unidad de magnitud corresponde a un incremento de raíz cuadrada de 1000, o bien, de aproximadamente 32 veces la energía liberada. Es decir que, un sismo de magnitud 8 es 32 veces más grande que uno de magnitud 7, 1000 veces más grande que uno de magnitud 6, 32,000 veces más grande que uno de magnitud 5, y así sucesivamente.

El cálculo de la magnitud es un proceso iterativo. La magnitud reportada inicialmente, tanto por el Servicio Sismológico Nacional (SSN) como por otras agencias internacionales (por ejemplo, el Servicio Geológico de Estados Unidos, USGS), es calculada por algoritmos computacionales de forma automática. Para que se tenga una estimación de manera expedita, estos algoritmos emplean pocos datos sismológicos. Además, el tipo de datos que se toman difiere entre las agencias, por lo que las metodologías utilizadas en el cálculo de la magnitud también difieren (ver Tipos de magnitud). Esta es la razón por la que los valores preliminares de magnitud son diferentes entre las agencias.

Tras unos minutos de haber ocurrido el sismo, se cuenta con un mayor número de datos sismológicos (i.e., sismogramas registrados en las redes de observación). Entonces, un analista experimentado se da a la tarea de obtener una nueva estimación de magnitud. Este valor sigue siendo de carácter preliminar, pues aún no se cuenta con el total de los datos registrados. Por otro lado, existen también metodologías que requieren de menor tiempo de cómputo y de menor cantidad de datos, por lo que son utilizadas para una determinación manual rápida.

Finalmente, cuando se dispone de la mayoría de los datos y con más tiempo de cómputo, se revisa nuevamente la estimación de la magnitud para reportar entonces la magnitud final del sismo. En general, los valores finales de magnitud que reportan las diversas agencias coinciden; sin embargo, pueden existir pequeñas diferencias debido al tipo de datos que se usan.

Contexto Sísmico de Guanajuato

De acuerdo a los registros sísmicos históricos con los que cuenta el Servicio Sismológico Nacional en Guanajuato se han presentado 103 eventos sísmicos comprendidos en la zona del Bajío Guanajuatense principalmente aunque también con menor presencia en el Norte y Sur del Estado, sin embargo algunas percepciones

sísmicas de la población, así como algunos procesos geológicos y afectaciones que suelen derivarse de actividad sísmica externa al territorio de Guanajuato no son cuantificados ni analizados. Dentro de los sismos registrados de mayor magnitud se pueden destacar los sismos registrados el 13 de julio de 1996 en el municipio de Valle de Santiago registrando una magnitud coda de 4.3 y el registrado el 1 de mayo de 1992 en el municipio de Acámbaro con una magnitud coda de 4.2, tan solo en el año 2017 el único sensor sísmico en el Estado de Guanajuato detecto 4 sismos de magnitudes entre los 3.7 a 4 grados en los Municipios de León y Romita, esto sin considerar aquellas percepciones sísmicas que no fueron posibles detectar o ubicar con exactitud, como un hecho histórico en el municipio de San Felipe, Guanajuato se registraron un total de 64 sismos entre el periodo de septiembre a noviembre de 2021, generados posiblemente por liberación de esfuerzos tectónicos regionales.

Tsunamis

La mayoría de los tsunamis se originan por terremotos en el fondo del mar; sin embargo, decenas de tsunamis históricos de origen volcánico han causado numerosas muertes y grandes daños a las propiedades a lo largo de las playas marinas y lacustres, aun a grandes distancias de las erupciones.

La estadística de maremotos ocurridos en la costa occidental de México se dificulta porque: a) excepto algunos lugares como Acapulco, antes del siglo XIX permaneció casi deshabitada, y b) la operación de la red de mareógrafos, en que tradicionalmente se registran los tsunamis, comenzó hace apenas 53 años (1952), y contiene vacíos notorios de datos. El Catálogo de Tsunamis en la Costa Occidental de México, documenta 49 tsunamis arribados desde 1732 hasta 1985: 16 de origen lejano y 33 de origen local, que se detallan cronológicamente.

De 1986 a 1991, en México no hubo registros; tal vez porque ninguno llegó, o por operación deficiente de los mareógrafos. A partir de 1992, el CICESE y la Secretaría de Marina de México, en colaboración con la Administración Nacional del Océano y de la Atmósfera de los Estados Unidos de América (por sus siglas en inglés NOAA) y el Sistema de Alerta de Tsunamis del Pacífico (de la UNESCO) instalaron y mantienen 3 mareógrafos, equipados para transmisión inmediata de señales a satélite, en Manzanillo, isla Socorro y Cabo San Lucas.

Fecha	Epicentro del Sismo (°N, °O)	Zona del Sismo	Magnitud del Sismo	Lugar Registrado del Tsunami	Altura Máx. de Olas (m)
25, Feb. 1732	No Definido	Guerrero		Acapulco.	4.0
01, Sep.1754	No Definido	Guerrero		Acapulco	5.0
28, Mar. 1787	No Definido	Guerrero	> 8.0	Acapulco	3.0 – 8.0
03, Abr. 1787	No Definido	Oaxaca		Juquila Pochutla	4.0 4.0
04, May. 1820	17.2° 99.6°	Guerrero	7.6	Acapulco	4.0
10, Mar. 1833	No Definido	Guerrero		Acapulco	N/D
11, Mar. 1834	No Definido	Guerrero	7.9	Acapulco	N/D
07, Abr. 1845	16.6° 99.2°	Guerrero		Acapulco	N/D
29, Nov. 1852	No Definido	B. California		Río Colorado	3.0
04, Dic. 1852	No Definido	Guerrero		Acapulco	N/D
11, May. 1870	15.8° 96.7°	Oaxaca	7.9	Puerto Ángel	N/D
23, Feb. 1875	No Definido	Colima		Manzanillo	N/D
14, Abr. 1907	16.7° 99.2°	Guerrero	7.6	Acapulco	2.0
30, Jul. 1909	16.8° 99.9°	Guerrero	7.2	Acapulco	N/D
16, Nov. 1925	18.0° 107°	Guerrero	7.0	Zihuatanejo	7.0-11.0
22, Mar. 1928	15.670° 96.100°	Oaxaca	7.5	Puerto Ángel	N/D
16, Jun. 1928	16.330° 96.700°	Oaxaca	7.6	Puerto Ángel	N/D
03, Jun. 1932	19.570° 104.420°	Jalisco	8.2	Manzanillo San Pedrito Cuyutlán San Blas	2.0 3.0 N/D N/D
18, Jun. 1932	19.5° 103.5°	Jalisco	7.8	Manzanillo	1.0
22, Jun. 1932	18.740° 104.680°	Jalisco	6.9	Cuyutlán Manzanillo	9.0 – 10.0 N/D
29, Jun. 1932		Jalisco		Cuyutlán	N/D
03, Dic. 1948	22.0° 106.5°	Nayarit	6.9	Islas Marías	2.0-5.0
14, Dic. 1950	17.220° 98.120°	Guerrero	7.2	Acapulco	0.3
28, Jul. 1957	17.110° 99.100°	Guerrero	7.8	Acapulco Salina Cruz	2.6 0.3
11, May.1962	17.250° 99.580°	Guerrero	7.2	Acapulco	0.8
19, May. 1962	17.120° 99.570°	Guerrero	7.1	Acapulco	0.3
23, Ago. 1965	16.178° 95.877°	Oaxaca	7.3	Acapulco	0.4
30, Ene. 1973		Colima	7.6	Acapulco Manzanillo Salina Cruz La Paz Mazatlán	0.4 1.1 0.2 0.2 0.1
29, Nov. 1978	16.013° 96.586°	Oaxaca	7.6	P. Escondido	1.5
14, Mar. 1979	17.750° 101.263°	Guerrero	7.4	Acapulco Manzanillo	1.3 0.4
19, Sept. 1985	18.419° 102.468°	Michoacán	8.1	Lázaro Cárdenas Ixtapa-Zihuatanejo Playa Azul Acapulco Manzanillo	2.5 3.0 2.5 1.1 1.0
21, Sept. 1985	17.828° 101.681°	Michoacán	7.6	Acapulco Zihuatanejo	1.2 2.5

Tabla 2.- Tsunamis de origen local observados o registrados en México. Fuente CENAPRED.

Por la ubicación del Estado de Guanajuato dentro de la República Mexicana, este aspecto de los fenómenos geológicos resulta irrelevante en los efectos y consecuencias de manera directa, sin embargo, no deja de tener una gran importancia, una manifestación de este tipo, en cualquier lugar del mundo, por las repercusiones económicas y sociales que desencadenaría, por lo que es conveniente tener ubicados los lugares que pudieran tener afectaciones dentro del marco nacional.

Erupciones Volcánicas

La actividad volcánica es una manifestación de la energía interna de la tierra, a través de una abertura en la litósfera terrestre, con expulsión de roca fundida, denominada magma, acompañada de fumarolas o productos hidro-gaseosos provenientes de una profundidad de 70 a 150 kilómetros.

En México gran parte del vulcanismo está relacionado con la zona de subducción formada por las placas de Rivera y Cocos, con la gran placa Norteamericana, y tiene su expresión volcánica en la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM). Producto de esta interacción de las placas en el territorio mexicano existen más de 2,000 volcanes, de los cuales alrededor de 12 se consideran activos o peligrosos.

Ilustración 2.- Localización de volcanes activos en el territorio nacional. Fuente: Departamento de vulcanología de la UNAM

.

NOMBRE	LOCALIZACIÓN	ALTURA	ERUPCIONES
Bárcena	Isla San Benedicto, Colima	375 m.	Nace el 1 de agosto de 1952. Provocó daños ecológicos considerables; su actividad se prolongó hasta marzo de 1953
Ceboruco	Nayarit	2,164 m.	1870-1875
Pico de Orizaba	Veracruz	5,700 m.	De 1537 a 1687
Volcán de Fuego de Colima	Jalisco y Colima	4,100 m.	Cerca de 25 erupciones de 1560 a 1991
El Chichón	Chiapas	1,000 m.	En los años 300, 623 y 1300. En 1982 destruyó varias poblaciones, hubo 2,000 víctimas y más de 2,000 damnificados
Everman o Socorro	Isla Socorro, Colima	1,235 m.	1848, 1896, 1905, 1951 y 1993
Nevado de Toluca	Estado de México	4,690 msnm	1330
Paricutín	Michoacán	3,170 m.	Nace el 20 de febrero de 1943; su actividad eruptiva termina en 1952
Popocatépetl	México, Puebla, Morelos	5,450 m.	Actividad moderada de 1347 a 1920; al parecer la actividad explosiva mayor ocurrió en 1539 y 1720
San Martín Tuxtla	Veracruz	1,550 m.	Erupciones explosivas en 1664 y erupciones menores en 1797
Tres Vírgenes	Baja California Sur	2,054m	Julio 6 del 2001

Tabla 3.- Información de los principales volcanes activos en el territorio nacional. Fuente: Departamento de vulcanología de la UNAM.

Es importante tener la certeza, cuando se tiene la seguridad de la cercanía de un volcán al lugar donde se ubican elementos de riesgos, de saber si es activo o inactivo. Un volcán activo presentará varios fenómenos que son fáciles de reconocer: fumarolas, Azufre, Sismos, Deslaves o Desgajamientos.

Aunque todos estos fenómenos son comunes en volcanes activos, la presencia de uno solo de estos no necesariamente significa que un volcán está activo, pero la combinación de ellos si pueden significar algo acerca del estado del volcán.

Aunque la actividad volcánica en el Estado no es muy frecuente, y los efectos son menos complicados de manejar, en comparación con otros fenómenos, es conveniente conocer algunos de los peligros volcánicos que se pudieran presentar, así como los periodos de alerta, la capacidad para causar daño y la probabilidad de lesiones y/o muertes.

PELIGROS	DISTANCIAS HASTA LAS CUALES SE HAN EXPERIMENTADO EFECTOS		ÁREA AFECTADA		VELOCIDAD		TEMPERATURA (°c)
	PRO-MEDIO (Km)	MÁXIMO (Km)	PRO-MEDIO (Km2)	MÁXIMO (Km2)	PRO-MEDIO (m/s)	MÁXIMO (m/s)	
Caída de ceniza (Tefra)	20-30	800 +	100	100,000+	15	30	Usualmente la del medio ambiente
Proyectiles balísticos	2	15	10	80	50-10	100	1000
Flujos piroclásticos, derrumbes o avalanchas	10	100	5-20	10,000	20-30	100	600-800
Lahares	10	300	5-20	200-300	3-10	30+	100
Flujos de lava	3-4	100+	2	1,000+	5	30	700-1,150
Lluvia ácida y gases	20-30	2,000+	100	20,000	15	30	Medio ambiente
Ondas de choque	10-15	800+	1,000	100,000+	300	500	Medio ambiente
Rayos	10	100+	300	3,000	$12x10^5$	$12x10^5$	Por encima del punto de incandescencia

Tabla 4.- Características de las principales manifestaciones volcánicas. Fuente: CENAPRED 2014

Si la actividad volcánica representara un peligro, será necesario elaborar y utilizar un mapa de peligros en el que se determinarán las zonas vulnerables, lo anterior bajo la supervisión de un especialista, a partir de la información obtenida del análisis de los registros geológicos, se dibujará en el mapa, utilizando distintos colores, los diferentes tipos de productos eruptivos originados por el volcán y se determinaran las diferentes amenazas en la zona de estudio, su distribución y máxima distancia alcanzada.

El Estado de Guanajuato se ubica en la provincia fisiográfica del eje Neovolcánico, y aunque no son muy frecuentes estos fenómenos, existen lugares en donde se manifiestan algunos tipos de actividad volcánica, como es el caso de Palo Huérfano en Allende, El Culiacán y La Gavia en Cortázar, La Batea y Las Hoyas en Valle de Santiago, Rancho de Guadalupe en Apaseo el Grande en donde existe una actividad geotérmica importante en una zona de aproximadamente 1.5 hectáreas, y en general en la región Valle de Santiago-Yuriria-Moroleón, por lo que resulta importante tomar en consideración las apreciaciones antes descritas.

Por su morfología, en el Estado de Guanajuato, se manifiestan tres tipos de volcanes:

1. **Estratovolcán**. -Son los formados por capas de material fragmentario y corrientes de lava intercaladas, lo que indica que surgieron en épocas de actividad explosiva, seguidas por otras donde se arrojaron corrientes de lava fluida, ejemplos, El Popocatépetl y El de Fuego de Colima, en el ámbito Nacional, y en el Estado de Guanajuato, el Palo Huérfano de Allende y El Culiacán de Cortazar.

2. **Volcanes en Escudo**. - Son aquellos cuyo diámetro es mucho mayor que su altura, se forman por la acumulación sucesiva de corrientes de lava muy fluidas, por lo que son de poca altura y pendiente ligera, ocasionalmente se observan este tipo de volcanes con un cono de ceniza o escoria en su cúspide, como el caso del volcán Teutli en Milpa Alta, D.F., un ejemplo de este tipo de volcanes en el Estado de Guanajuato, es La Gavia en Cortazar.

3. **Cono Cinerítico o de Ceniza**.- Se forman por el apilamiento de escorias o ceniza durante las erupciones basálticas en las que predominan los materiales calientes solidificados en el aire, y que caen en las proximidades del centro de emisión, las paredes de un cono no pueden tener en este caso pendientes muy altas, por lo que generalmente tienen ángulos de entre 30° y 40°, son de forma cónica, base circular, no pocas veces exceden los 300 metros de altura, por ejemplo el volcán Xitle, ubicado en las faldas del Ajusco, y en el Estado de Guanajuato se consideran los volcanes ubicados en Valle de Santiago.

Otras clasificaciones de volcanes son por su actividad y el tipo de erupción.

Por su actividad:

1. **Activos**. - Son de erupción casi permanente.

2. **Intermitentes**. - Su erupción es periódica.

3. **Apagados**. - Son los que hasta el presente no han hecho erupción, o bien tuvieron, pero su actividad cesó por completo.

Por su tipo de erupción:

1. **Hawaianos**. - Son aquellos de lava poco espesa, muy fluida, con temperaturas muy elevadas (800° a 1,200° centígrados), en estos la lava fluye por las laderas del cono y, el enfriarse, forma una costra, no hay escape explosivo de gas ni porciones de materia sólida.

2. **Strombolianos**. - Son los que tienen efusiones de lava fluida o viscosa y explosiones muy violentas acompañadas de gases incandescentes.

3. **Vulcanianos**. - Tienen explosiones muy fuertes, arrojan lava viscosa y oscura, acompañada de gases y material sólido abundante, los trozos de mayor tamaño se les denominan "Bombas Volcánicas", el tamaño varía desde una pelota de tenis, denominada "Cenizas", hasta la de una pelota de fútbol, aunque pueden llegar a tener más de un metro de ancho.

4. **Peléanos**. - Denominados así por el monte Peleé en Martinica, y su desastrosa erupción en 1902. Son de explosiones muy fuertes, en los que prácticamente no hay lava, pero si abundante material sólido, se caracteriza por nubes ardientes, es decir, nubes formadas por partículas de lava ardientes lanzadas a gran altura que después descienden con violencia rodando por las faldas del cono del volcán.

Hundimiento, Subsidencia, Agrietamientos y Fallas Geológicas

Hundimiento-Subsidencia

Son fenómenos generados por la compactación diferencial de suelos blandos, donde se forman fallas producidas por las pérdidas de volumen en la disminución de nivel estático, ocasionados por la sobreexplotación de las aguas subterráneas.
Comparativamente, una falla geológica debida a la compactación por sobre extracción de agua, puede moverse a ritmos de hasta 10 centímetros por año, y por otro lado, un fallamiento tectónico, el cual no puede evitarse, actúa a ritmos por lo general muy lentos, en el orden de los 10 centímetros por siglo.

El abatimiento del nivel freático, y por consiguiente, el hundimiento y agrietamiento de bloques, provoca, entre otras cosas, daños severos en las construcciones, en las vías de comunicación, en las tuberías de agua y drenajes, así como en los bordos, lechos de ríos y canales de riego agrícola, y aunado a esto la sistemática contaminación de los mantos freáticos.

El Estado de Guanajuato cuenta con una cartografía digital contenida en el Estudio de Hundimientos del Suelo por Subsidencia en el Estado de Guanajuato, el cual aplica la técnica DinSAR (Interferometría Diferencial con Radar de Apertura Sintética), para detectar y cuantificar los desplazamientos verticales del terreno, basándose en la estimación de la variación de la fase entre dos imágenes de satélite de la misma zona en diferente tiempo entre la toma de las imágenes, y en donde se estiman las modificaciones y deformaciones de las propiedades del terreno.
Los municipios que manifiestan un fallamiento activo son Abasolo, Celaya, Irapuato, Juventino Rosas, Salamanca, San Felipe, Silao, Pueblo Nuevo, Villagrán, Cuerámaro, Dolores Hidalgo, Guanajuato, Huanímaro, Ocampo, Romita, Tarimoro, San Diego de la Unión, San Miguel de Allende, San Luis de la Paz y Valle de Santiago, la actualización de las fallas y de los pozos existentes en el Estado es indispensable para regular el uso

de suelos y minimizar los efectos problemáticos registrados, de igual manera la elaboración y actualización de una base de datos de estos mismos considerando el gasto y la profundidad de los mismos.

Agrietamientos y Fallas Geológicas

Carta Geológica Estructural del Estado de Guanajuato

Para elaborar esta carta se interpretaron imágenes de satélite a escala de visualización 1:500,000, con esta base se trazaron las principales estructuras, conforme a los lineamientos requeridos por el Estado de Guanajuato.

Los lineamientos interpretados a ésta escala normalmente corresponden a estructuras mayores presentes en la corteza terrestre, como fallas, más aún, en el caso del Estado de Guanajuato, en donde se han elaborado análisis de lineamientos a escalas más grandes y en su gran mayoría, corresponden en el terreno a fallas geológicas de origen tectónico.

Del análisis efectuado se trazaron 499 estructuras mayores, las cuales corresponden en general a límites de bloques tectónicos, así como a estructuras presentes dentro de bloques tectónicos levantados, y en mínima proporción dentro de bloques tectónicos hundidos.

Es decir, las estructuras se reflejan más en las zonas montañosas, en donde la erosión está presente y en donde no se cuenta con una cubierta de sedimentos que las oculte, como es el caso de los valles tectónicos y planicies.

En las zonas montañosas del Estado, el control estructural de ríos y arroyos es patente, pudiendo decirse que casi cualquier arroyo corresponde a una estructura geológica (falla o zona de fractura).

La orientación principal de las estructuras interpretadas a escala 1:500,000 es NE 85° SW y NE 45° SW, así como NE 55° SW, NE 65° SW, N-S y NE 5° SW, por lo que es claro que la gran mayoría de las estructuras mayores del Estado de Guanajuato tiene una orientación NE-SW. Las estructuras que más destacan son la falla de Allende y la de El Bajío, así como los graben de Villa de Reyes, de La Sauceda y el de Celaya.

Con base en un análisis estructural más detallado se han podido definir tres dominios estructurales para el Estado de Guanajuato, a los que se les ha denominado Dominio del Norte, Dominio del Sur y Dominio del Noreste.

El denominado Dominio del Norte comprende la región de la Sierra de Guanajuato, y coincide en general con el área abarcada por la Provincia Geológica de la Sierra Madre Occidental en el Estado de Guanajuato. El Dominio del Noreste coincide también con la Provincia Geológica de la Sierra Madre Oriental; de esta misma manera se observa la coincidencia entre el Dominio del Sur y la Provincia Geológica del Eje Neovolcánico.

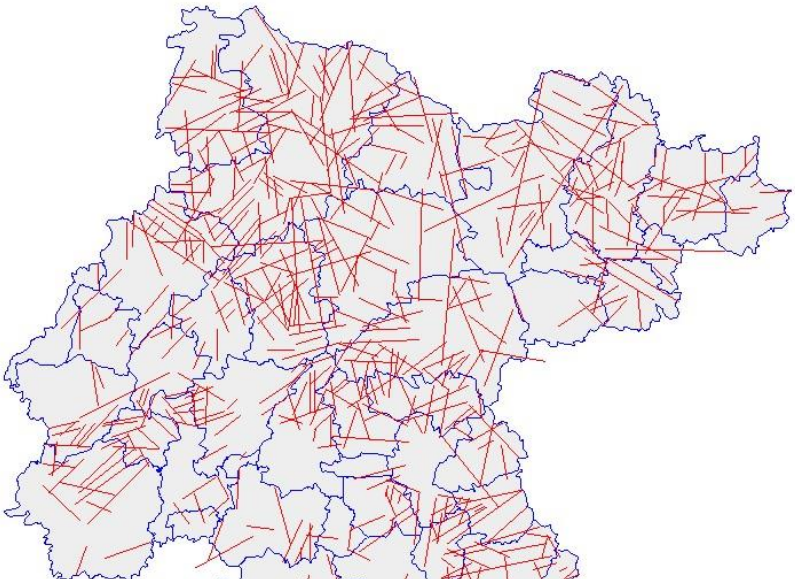


Ilustración 3.- Mapa de estructuras geológicas interpretadas a escala 1:500,000, del Estado de Guanajuato. Fuente: Carta Geológica Estructural del Estado de Guanajuato

Con base en esto podemos inferir que la actividad tectónica marcó de forma característica a cada una de estas áreas, sin embargo, en el Dominio del Norte se encuentran súper impuestos los Dominios Estructurales del Noreste y del Sur, sobre lo que parece ser la dirección principal (NW 20° SE) de las estructuras del Dominio del Norte, ocasionando que este último Dominio aparezca con varias direcciones principales de estructuras.

DOMINIO ESTRUCTURAL	DIRECCIÓN PRINCIPAL	DIRECCIONES SECUNDARIAS
Dominio del Norte	NW 20° SENE 55° SW	NE 05° SW NE 40° SW NW 05° SE NW 15° SE NE 75° SW NE 65° SW NE 45° SW NE 30° SW NW 10° SE

Dominio del Sur	NE 75° SWNE 65° SWNE 45° SW	NW 80° SE
Dominio del Noreste	N-S	NW 45° SE NW 55° SE NE 87.5° SW

Tabla 5.- Dominios estructurales del Estado de Guanajuato. Fuente: Carta Geológica Estructural del Estado de Guanajuato

Del cuadro anterior podemos concluir que el patrón NW cercano al Norte es característico del Dominio del Norte, el patrón Noreste (> 45º) es característico del Dominio del Sur, y el patrón N-S es afín al Dominio del Noreste.

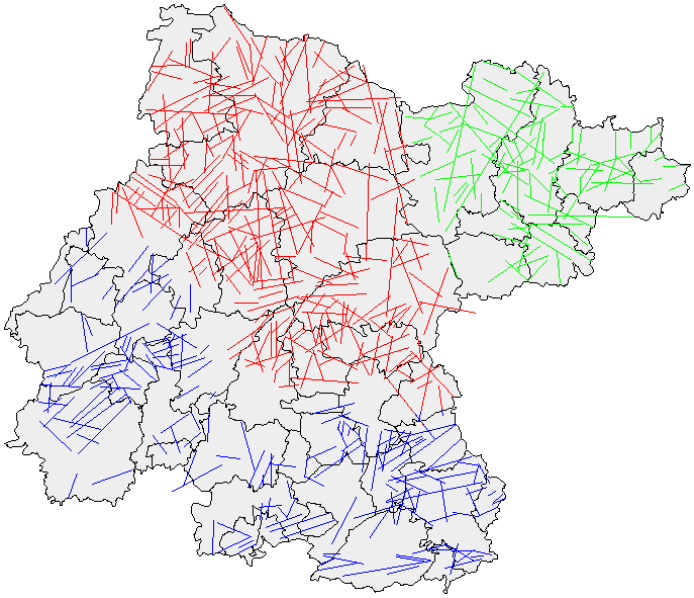


Ilustración 4.- Mapa de estructuras geológicas interpretadas a escala 1:500,000, del Estado de Guanajuato. Fuente: Carta Geológica Estructural del Estado de Guanajuato

El patrón E-W resalta como estructura secundaria tanto en el Dominio del Sur como en el del Noreste, así mismo, el patrón NW (45º) es de aparente naturaleza secundaria y es característico del Dominio del Noreste, a esta escala, todas las estructuras interpretadas son de origen tectónico, así mismo se puede decir que las más jóvenes e importantes, y que podrían considerarse de cierta forma activas, son las estructuras que limitan bloques mayores (sierras o zonas con elevación destacada y con límites bien definidos con respecto a la planicie o valle circundante).

En general, se puede decir, que las estructuras ubicadas dentro de los bloques son estructuras secundarias y que son menos propensas a moverse, ya que primero existen ajustes intrabloques antes de existir dentro de un mismo bloque morfotectónico.

El arreglo morfotectónico actual de los bloques en Guanajuato se debe aparentemente y de forma simplificada a que el Estado se encuentra ubicado en el límite Norte de la proyección de la Placa de Cocos, la cual está subduciéndose bajo la corteza del Sur de México y produciendo esfuerzos de empuje horizontal y ascendentes; así mismo, hacia el Norte de ese mismo límite y hacia el occidente, se tiene la zona de transformación y apertura del Golfo de California.
En general, se recomienda no construir obras mayores de infraestructura como presas o incluso ciudades, sobre las estructuras que limitan bloques, ya que son las más propensas a presentar movimiento, además, y en caso de que los límites de bloques estén cubiertos por sedimentos y se tenga extracción de agua subterránea, se puede esperar que los sedimentos se compacten, produciéndose fallamiento en dichos sedimentos de forma que la estructura mayor se refleja sin que efectivamente se haya registrado movimiento de origen tectónico.

Los Riesgos Geológicos

Los procesos geodinámicos que afectan a la superficie terrestre dan lugar a movimientos del terreno de diferente magnitud y características, que pueden constituir riesgos geológicos al afectar, de una forma directa o indirecta, a las actividades humanas.

Los riesgos naturales son parte de la vida en la Tierra, sus manifestaciones son inevitables, por lo que es importante aprender a convivir con ellas, sin embargo, es necesario minimizar los efectos de la ocurrencia de estos eventos y en algunos casos evitar el daño a las vidas humanas, sus bienes y su entorno.

Cada día afectan de forma adversa literalmente a millones de personas en todo el mundo y son responsables de daños asombrosos. Entre los procesos terrestres peligrosos que generan agentes perturbadores, se cuentan los volcanes, los terremotos, los deslizamientos, así como las fallas geológicas. Por supuesto, los riesgos geológicos son simplemente procesos naturales, sólo se vuelven peligrosos cuando las personas intentan vivir donde estos procesos suceden.

Riesgo

El riesgo se puede definir como los daños o pérdidas probables sobre un agente afectable, resultado de la interacción entre su vulnerabilidad y la presencia de un agente perturbador. La evaluación del riesgo geológico resulta compleja, por la variedad de factores que intervienen en su determinación. El riesgo se evalúa a partir de la peligrosidad correspondiente a un determinado proceso (causa) y de los efectos de este sobre los elementos expuestos al peligro (consecuencias).

Peligrosidad

La peligrosidad se refiere al proceso geológico, el riesgo a las pérdidas y la vulnerabilidad a los daños.

La peligrosidad hace referencia a la frecuencia de ocurrencia de un proceso y al lugar. Se define como la probabilidad de ocurrencia de un proceso de un nivel de intensidad o severidad determinado, dentro de un periodo de tiempo dado y dentro de un área específica (Vames, 1984; Barbat, 1998). Para su evaluación es necesario conocer:

- Dónde y cuándo ocurrieron los procesos en el pasado.
- La intensidad y magnitud que tuvieron.
- Las zonas en que pueden ocurrir procesos futuros.
- La frecuencia de ocurrencia.

El último punto sólo puede ser estimado si se conocen las pautas temporales del proceso (por ejemplo, el periodo de retorno de los terremotos o inundaciones, a partir de datos y series históricas y/o instrumentales) o de los factores que lo desencadenan (el periodo de retorno de las precipitaciones que desencadenan deslizamientos en una zona).

Vulnerabilidad

La vulnerabilidad es el grado de daños o pérdidas potenciales en un elemento o conjunto de elementos como consecuencia de la ocurrencia de un fenómeno de intensidad determinada. Depende de las características del elemento considerado (no de su valor económico) y de la intensidad del fenómeno; suele evaluarse entre 0 (sin daño) y 1 (pérdida o destrucción total del elemento) o entre 0 % y 100% de daños.

Geología del Estado de Guanajuato

Geología del Eje Neovolcánico

La parte Sur del Estado corresponde al Eje Neovolcánico, presenta un afloramiento principalmente de rocas volcánicas de tipo basáltico de color negro, fracturadas, las cuales provienen de grandes aparatos volcánicos de forma cónica que constituyen algunos de los cerros más prominentes de la zona, la edad de estas rocas pertenece al Terciario Superior – Cuaternario.

Los altos valles del Norte del Estado están ocupados por grandes rellenos aluviales y lacustres formados por gravas, arenas y arcillas que le dieron a la región el aspecto de grandes planicies.

Los amplios valles ínter montañosos que constituyen la región del Bajío están rellenos por sedimentos aluviales y lacustres formados por gravas, arenas y arcillas que tienen

espesores de cientos de metros los cuales fueron depositados durante el Terciario Superior - Cuaternario.

Geología de la Mesa Central

La mesa central está constituida principalmente por rocas volcánicas de tipo riolítico, que se presentan como tobas suaves de color gris rosado claro y/o como ignimbritas duras de color café rojizo.

Las rocas riolíticas constituyen las principales elevaciones de la zona, tendiendo a formar altas mesetas por la manera en que fueron depositadas como lluvia de cenizas, algunas tan calientes que llegaron a soldarse formando ignimbritas.

La edad de las rocas riolíticas pertenece al Terciario Medio y Superior, y su espesor es de varios cientos de metros, la edad de los depósitos aluviales y lacustres de la mesa central pertenece al Terciario Superior y Cuaternario, y su espesor es de varios cientos de metros.

Dentro del ámbito de la mesa central se encuentra la Sierra de Guanajuato, la cual es una cordillera montañosa de dirección Noroeste – Sureste. La estructura geológica de la Sierra de Guanajuato está formada por un núcleo integrado por rocas intrusivas de tipo granítico y granodiorítico, que levantaron a las capas que las cubrían, provocándoles metamorfismo y emplazando yacimientos minerales, los cuales aún no se explotan.

Estas rocas son del Terciario y su espesor se desconoce, pero pueden ser de varios cientos de metros, cubriendo a las rocas intrusivas descritas, se observan grandes afloramientos de rocas metamórficas representados por esquistos y gneises de color gris verdoso, los cuales son el resultante del calor y la presión a la que fueron sometidas las calizas arcillosas de origen marino que se vieron afectados por el cuerpo intrusivo.

Descansando sobre las rocas metamórficas e inclusive sobre el propio intrusivo, se observan en la zona extensos afloramientos de conglomerado rojos, los cuales están formados por fragmentos semiredondeados embebidos en una matriz formada por limolitas y lutitas de color rojo, los cuales también fueron afectados por el cuerpo intrusivo.

Su edad pertenece al Terciario Inferior y su espesor en la localidad tipo, en el área urbana de la ciudad de Guanajuato, es de 1,600 metros. Descansando sobre la secuencia descrita se observan grandes depósitos de rocas riolíticas de color gris rosado y café rojizo, las cuales tienden a formar extensas mesetas y que además ocupan las partes más elevadas de la Sierra de Guanajuato.

Geología de la Sierra Madre Oriental
La Sierra Madre Oriental está formada por una serie de pliegues anticlinales y sinclinales de dirección Noroeste – Sureste coincidente con el rumbo general de la Sierra Madre Oriental paralela a la zona del Golfo de México.

Las rocas que predominan en esta zona son sedimentarias de origen marino representadas por calizas, lutitas y areniscas en capas bien estratificadas que se presentan intensamente plegadas dando lugar a estructuras geológicas muy complejas.

Por la susceptibilidad de estas rocas a ser disueltas por el agua de lluvia al infiltrarse pueden desarrollarse sistemas cársticos, posiblemente en la porción Nororiental, donde los afloramientos son más extensos y en donde las condiciones estructurales permitan llegar a formar acuíferos.

Provincias Fisiográficas del Estado de Guanajuato

Eje Neovolcánico
La porción Sur del Estado pertenece a esta provincia fisiográfica, y está caracterizada por un típico paisaje volcánico, donde coexisten mesetas formadas por colados de lava, altos aparatos volcánicos de forma cónica, con extensos valles ínter montañosos que están ocupados por grandes espesores de sedimentos lacustres.

Mesa del Centro
Comprende la porción Norte del Estado en la zona de sierras y llanuras incluyendo la Sierra de Guanajuato, es una zona de gran variedad morfológica ya que existen tanto extensas llanuras como importantes sistemas montañosos formados por rocas ígneas, intrusivas, extrusivas y rocas metamórficas.

Sierra Madre Oriental
Se ubica en el extremo Nororiental del Estado y ocupa una pequeña área denominada Carso Huasteco en donde destaca una morfología de sierras y cañones escarpados, constituidos en su mayoría por rocas sedimentarias que fueron plegadas por procesos endógenos a fines del cretácico, dando como resultado estructuras anticlinales y sinclinales en los cuales ocurren recumbencias y cabalgaduras, hacia el Poniente las rocas sedimentarias marinas están cubiertas por grandes espesores de rocas volcánicas de tipo riolítico, aunque la zona es muy abrupta y montañosa, las elevaciones no son muy importantes dado que se localizan en la cuenca del Río Pánuco, el cual desciende rápidamente hacia la costa del Golfo de México, los cerros más altos tienen elevaciones entre los 2,000 y 2,500 msnm, los valles y terrenos planos aptos para la agricultura son pocos y de dimensiones reducidas.

Riesgos en la actividad Minera

En las regiones en donde se ha detectado la presencia de mineralización económicamente explotable, se han desarrollado obras mineras, estas pueden ser de dos tipos en general, obras mineras subterráneas y obras mineras a cielo abierto.

Tradicionalmente y por el tipo de mineralización presente en México, se puede decir que los minerales preciosos (plata y oro) se explotan mediante obras subterráneas, y los minerales no metálicos (caolín) y metálicos industriales (cobre) se extraen mediante obras a cielo abierto (tajos).

En el Estado de Guanajuato se explotan principalmente yacimientos de minerales preciosos (oro y plata), que tienen como subproducto minerales metálicos industriales (zinc, plomo y cobre), así como yacimientos de minerales metálicos como casiterita, y de no metálicos como ópalo, fluorita, caolín y arena sílice, siendo la explotación de todos ellos mediante obras subterráneas.

En el caso de algunas minas de caolín y alunita, así como en todos los casos de bancos de material, la explotación es a cielo abierto.
El riesgo por la presencia de obras mineras es distinto para minas con obras subterráneas que para aquellas con obras a cielo abierto, en general, estas últimas presentan relativamente un menor riesgo debido a que están expuestas en superficie y son prácticamente visibles, sus riesgos son por lo general sus taludes, que en la mayoría de los casos son de casi 90 grados, y en casos extremos taludes con inclinación negativa o con zonas colgadas por completo, en estos últimos casos el riesgo de accidentes es mayor, tanto para las personas y animales que llegan a acercarse al talud, como para las personas que siguen explotando estas minas, pues en ocasiones se han colapsado sobre ellas la parte colgada, llegando a ocasionarles la muerte.

Las obras más peligrosas, sin embargo, son las obras mineras subterráneas, ya que muchas personas a sabiendas o no de su existencia construyen sobre ellas, sin conocer que existe el riesgo de colapso por falta de mantenimiento o mala explotación, así como de que personas caigan por las obras mineras no protegidas y ocultas por la maleza.

Este último riesgo, es sobre todo preocupante en la Sierra de Guanajuato, en donde cada vez se fomenta más el turismo alternativo, y en donde existe la mayor concentración de obras mineras subterráneas en el Estado de Guanajuato.

Mención aparte requiere las presas de jales, generadas del producto resultante de la separación del mineral económicamente aprovechable (Oro, Plata, Zinc, Cobre, Plomo, etc.) del mineral de desecho o ganga (material de la veta y roca encajonante, principalmente), lo anterior forma parte de un proceso metalúrgico, con base en

procesos químicos, una vez realizada la separación, el material de desecho, denominado jal, es el más abundante, y al no ser un material económicamente aprovechable, se deposita en zonas cercanas a las plantas de procesamiento, lo que se denomina Presa de Jales, el jal al momento de depositarse es, por su contenido en agua, un lodo fluido que se deposita para su posterior decantación, secado, consolidación y almacenamiento "in situ", en la denominada Presa de Jales.

Derivado de lo anterior, es pertinente mencionar que, las Presas de Jales, representan tres riesgos principales potenciales:

1. Contaminación. - Se da principalmente en cauces de arroyos y ríos, por minerales y químicos utilizados en el proceso de separación del mineral económicamente aprovechable, aunque actualmente, la mayoría de las sustancias utilizadas para el proceso son poco contaminantes.

2. Deslizamiento y flujo de lodos. - Por la saturación de las Presas de Jales y la consecuente formación de un flujo de lodo con afectación catastrófica a los asentamientos cercanos, aunque la ocurrencia es difícil por los bordos y desviadores laterales, así como por los túneles de decantación construidos bajo de ellas, podría, en un caso extraordinario, provocarse esta contingencia.

3. Nubes de Polvo. - Regularmente los vientos provocan nubes de polvo en las Presas de Jales, los materiales depositados son inhalados por seres vivos y consecuentemente provocan afectaciones en las vías respiratorias, y aunado a que son residuos químicos, la gravedad sería muy importante, actualmente las empresas mineras recubren las presas de jales con capas de rocas y suelo con el objetivo de reforestar con pastos y árboles propios del área, aunque no siempre ocurre de esa manera.

Impacto Socio Económico de los desastres geológicos en México

2018 fue un año marcado por varios desastres de origen natural y antrópico. El monto de los daños y pérdidas contabilizados como consecuencia de tales eventos superó los 15 010.5 millones de pesos corrientes en 583 diferentes eventos registrados. Esto implica una disminución de 83.1 % en el valor de los estragos con respecto a 2017 y fue equivalente a 0.061 % del Producto Interno Bruto (pib) de 2018. Por supuesto se debe tomar en cuenta que en 2017 acontecieron los sismos del 7 y 19 de septiembre que generaron considerables daños.

En 2018 el porcentaje de daños y pérdidas totales por el fenómeno geológico en México representó el 9.9%, solo seguido de los efectos y daños totales que representan los fenómenos hidrometeorológicos en el país.

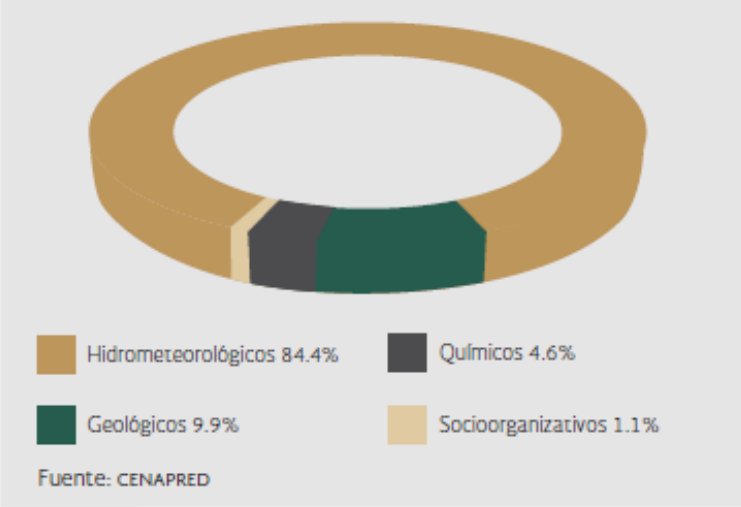


Ilustración 5.- Porcentaje de daños y parciales totales por fenómeno en 2018. Fuente: CENAPRED.

Los fenómenos geológicos representaron en 2018 una perdida aproximada de 1, 482.67 millones de pesos, posicionándose como uno de los fenómenos con mayores pérdidas económicas en el país.

Tabla 1.1 Resumen de los daños y pérdidas materiales y económicos que dejaron los desastres en 2018

Fenómeno	Defunciones	Población afectada	Viviendas dañadas	Escuelas dañadas	Unidades de salud dañadas	Unidades económicas dañadas	Total de daños (millones de pesos)
Hidrometeorológicos	108	702 554	72 863	1 217	21	1 604	12 665.47
Geológico	20	63 164	187	0	0	2	1 482.67
Químico	57	87 093	71	0	2	29	692.93
Socioorganizativo	316	9 749	173	1	0	8	169.44
Total	**501**	**802 560**	**73 294**	**1 218**	**23**	**1 643**	**15 010.51**

Ilustración 6.- Resumen de los daños y pérdidas materiales y económicas que dejaron los desastres en 2018. Fuente: CENAPRED.

Fuentes

Cámara de Diputados; H. Congreso de la Unión. Ley General de Protección Civil. D. Of. 1 18 (2012)

Centro Nacional de Prevención de Desastres 2018. *Proyecto Caso de Estudio para la elaboración del Mapa Nacional de Susceptibilidad a Caídos de Roca y Derrumbes: Estado de Guanajuato, Mapa de Susceptibilidad a Caídos de Roca y Derrumbes del Estado de Guanajuato.* Secretaría de Gobernación, CENAPRED, México, pp.40- 44.

CENAPRED. Características del impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México Resumen ejecutivo 2018. (2018).

Luis I. González de Vallejo, Mercedes Ferrer, Luis Ortuño, Carlos Oteo (2002) Ingeniería Geológica. Madrid, España: Editorial PEARSON PRENTICE HALL.

Servicio Geológico Mexicano, 2019. *Provincias y terrenos tectonoestratigráficos* [atlas en línea]. Escalas diversas. GEOINFOMEX-SGM [consulta: 25 noviembre 2018]. Disponible en: https://www.sgm.gob.mx/GeoInfoMexGobMx/

Servicio Geológico Mexicano, 2019. *Estructuras geológicas* [atlas en línea]. Escalas diversas. GEOINFOMEX-SGM [consulta: 25 noviembre 2018]. Disponible en: https://www.sgm.gob.mx/GeoInfoMexGobMx/

Servicio Sismológico Nacional, 2019. *Catálogo de Sismos* [en línea]. [consulta: 25 noviembre 2018]. Disponible en: http://www2.ssn.unam.mx:8080/catalogo/

Servicio Sismológico Nacional. *Magnitud de un sismo y cálculo de la magnitud* [en línea]. [consulta: 25 enero 2019]. Disponible en: http://www.ssn.unam.mx/jsp/reportesEspeciales/Magnitud-de-un-sismo.pdf

Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica, 2015. *Distribución de Anomalías Geotérmicas en México: Una guía útil en la prospección geotérmica.* [en línea]. [consulta: 25 agosto 2019]. Disponible en: http://riiit.com.mx/apps/site/files/anomalias_geotrmicas_v1.pdf

Sistemas de Inteligencia Geográfica Aplicados S.C. (SIGA) 2014. *Estudio de Hundimientos del Suelo por Subsidencia en el Estado de Guanajuato.* Guanajuato, pp. 21- 39.

Secretaría de Gobernación; Centro Nacional de Prevención de Desastres. Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos Fenómenos Geológicos. (2014).

Tarbuck, E. J.; Lutgens, F. K., y Tasa, D. (2005) Ciencias de la Tierra. Madrid, España: Editorial PEARSON PRENTICE HALL.