

Origen del sistema de galerías (grietas) en la zona de Tesistán (Santa Lucía-Nextipac), Zapopan, Jalisco

LUIS VALDIVIA ORNELAS, M. DEL ROCÍO CASTILLO AJA, JOSÉ G. ROSAS ELGUERA, ANA T. ORTEGA MINAKATA, PATRICIA ZAMORA GUZMÁN, MARTÍN BALTAZAR MOJICA

El 29 de junio de 2004 se formó, de manera repentina, una grieta de 1 245 m de longitud en las inmediaciones de Nextipac, en el municipio de Zapopan. La galería afloró durante una intensa tormenta que había anegado toda el área. Afectó principalmente zonas de cultivo, y en menor medida, viviendas. Este fenómeno no ha sido el único, ya que por lo menos se ha presentado en cinco ocasiones durante los últimos noventa años. El origen de estas grietas se ha asociado con una serie de variables, en donde la sufosión e hidrocompactación son unas de las principales variables. Es importante entender e identificar el fenómeno para cartografiar zonas susceptibles de presentarlo, y así definir mejor las posibilidades para asignar uso del suelo en el Valle de Tesistán.

RESUMEN - ABSTRACT

In June 29, 2004 a crack of 1 245 m length was suddenly formed in the area around Nextipac, Zapopan municipality. The gallery emerged during a heavy storm, which flooded the whole area. It mainly affected cultivation areas and, in a lesser degree, dwellings. This event has been repeated at least five times during the last ninety years. The origin of the cracks has been associated with a series of variables, where suffusion and hydrocompaction are some of the main variables. It is important to understand and identify this event in order to carry out the cartographic process in the areas where it may appear, defining in this way the best possibilities to allocate the use of the soil in Valle de Tesistán.

Palabras clave: Grietas, vulnerabilidad, riesgos, amenazas, Nextipac.

Introducción

En el Valle de Tesistán se han presentando, de manera esporádica (por lo menos en cinco ocasiones durante los últimos noventa años), grietas de diversas dimensiones que afloran durante la época de lluvias. Existe una discusión en torno a su origen porque se les relaciona con fallas sísmicas, grietas de tensión por subsidencia, zonas de concentración de agua debido a paleocauces, altas tasas de extracción de agua, sufosión, e incluso se les ha ligado con la presencia de antiguas galerías filtrantes que irrigaban la zona agrícola. Los eventos históricos reconocidos son los siguientes:

- *Grieta de Santa Lucía.* Después de una intensa tormenta, ocurrida en agosto de 1987, se formó una grieta con orientación SSW-NNE, con una longitud de más de 500 m; en algunas secciones la grieta tuvo un ancho de 5 m, mientras que en otros segmentos aparecía como fisura de menos de 5 cm;

la parte más profunda alcanzó los 12 m. Al momento de aflorar se escuchó un estruendo.

- *Grieta de la Base Aérea (Falla Ordóñez).* Esta grieta se formó en 1918, cinco años después de que Guadalajara fuera afectada por una gran cantidad de sismos que se presentaron entre mayo y diciembre de 1912. Menciona Díaz (1984) que surgió después de una lluvia muy intensa. Díaz (op. cit.) la bautizó como “Falla Ordóñez”, ya que asoció este fenómeno con los intensos sismos que se presentaron algunos años antes. Al tercer año de su aparición, la grieta desapareció sin dejar rastro visible.

- *Galería de la Tuzanía.* El periódico *El Sol de Guadalajara*, con fecha de 23 de junio 1978, tiene registrada la formación de una grieta de más de 500 m de longitud, por 3 a 5 m de ancho, y 5 m de profundidad.

- *Galerías de Valle Real.* Se han identificado por lo menos dos galerías localizadas en las inmediaciones del

Luis Valdivia Ornelas es profesor-investigador del Departamento de Geografía y Ordenación Territorial, CUCSH, UdeG. Correo electrónico: lvaol2003@yahoo.com.mx. M. del Rocío Castillo Aja es profesora-investigadora del Departamento de Geografía y Ordenación Territorial, CUCSH, UdeG. Correo electrónico: rocasaja@yahoo.com. José G. Rosas Elguera es doctor en Ciencias Geográficas y Director de la División de Ingenierías, CUCEI, UdeG. Correo electrónico: jrosaselguera@yahoo.com. Ana T. Ortega Minakata, Patricia Zamora Guzmán y Martín Baltazar Mojica son auxiliares de investigación del Departamento de Geografía y Ordenación Territorial del CUCSH UdeG.

Figura 1
Galería (grieta) de Santa Lucía



Se formó en 1987. Actualmente está cubierta casi totalmente por basura. Algunas viviendas se han construido encima de ella.

fraccionamiento del mismo nombre; la primera mide 50 m de longitud, se manifiesta en superficie como una pequeña fisura. La segunda se observó en las fotografías aéreas del año de 1970, en donde presentaba una orientación N-S, con una longitud aproximada de 350 m, se formó en la parte alta de la barranca que pasa a un costado del museo “Trompo Mágico”, actualmente esta zona ya se encuentra urbanizada.

• *Grieta de El Bajío*. En el año de 1976 se formó una grieta en el piso de la depresión, cercana a una zona de extracción de arena de río. No se cuenta con mayores datos.

Figura 2
Galería que se formó en 1978 en la zona de la Tuzanía



Figura 3
Galería en las inmediaciones del arroyo La Campana



También existen otro tipo de galerías, producto de la actividad humana en los siglos XVIII, XIX y principios del XX. En esos años se realizaron diferentes obras de ingeniería con el objeto de captar agua para las actividades agrícolas y para uso humano, entre estas obras se han identificado las siguientes:

• *Galerías de La Venta del Astillero*. De acuerdo con Beekman et al. (2000) esta galería constituye un *quant*.¹ Está formada por un par de galerías principales, de las cuales se desprenden una serie de ramales. El sistema alcanza una longitud superior a los 8 km. Las galerías se dirigen hacia la zona del cerro El Tepopote. Esta fuente menciona que existen otros canales en las inmediaciones de Guadalajara, como en La Gotera.

• *Galerías de la Hacienda (fábrica) La Escoba*. En varias zonas de Tesistán, particularmente en las inmediaciones de las haciendas, se han identificado sistemas filtrantes, construidos con objeto de recoger agua para la agricultura. Fue una técnica ampliamente usada en estas zonas, ya que el subsuelo se prestaba para realizar este tipo de obras, que originalmente se hacían en zonas desérticas de España y Marruecos.

• *Galerías de la zona de la Basílica de Zapopan y La Tuzanía*. Existen galerías en la zona centro de la cabecera municipal de Zapopan, particularmente en las inmediaciones de la Basílica; estas galerías en parte se utilizaron para llevar agua al balneario denominado “El Profundo Zapopan”, que se localizaba a una cuadra de la basílica.

Factores generadores de las galerías (grietas)

Como se comentó al principio de este artículo, existe una discusión en torno al origen de estas grietas, las cuales son un fenómeno común en subsuelos poco consolidados y en lugares con un patrón de precipitaciones pluviales de tipo torrencial. El nombre que reciben, desde el punto de vista técnico, son galerías de sufosión (abras). El proceso que las forma corresponde con el fenómeno conocido en geomorfología como *piping*² (Cook et al., 1993: 84), es un término usado para describir la formación de canales subterráneos creados por el movimiento del agua en materiales no consolidados e insolubles. Las variables involucradas son:

- Litologías altamente susceptibles a generar macroporos, generalmente en materiales poco consolidados.
- Alta permeabilidad vertical y suficiente permeabilidad horizontal.
- Fuertes gradientes hidráulicos.
- Nivel somero de agua freática.
- Zonas de debilidad asociadas con fallas o fracturas o paleocauces (bajos de resistividad).
- Lluvias intensas que saturan y alimenten rápidamente los conductos y que ocasionen fuertes presiones hidrostáticas.
- Un cierto nivel de saturación del suelo y subsuelo

La galería formada más recientemente presenta algunos rasgos morfológicos diferentes en ciertas secciones, lo que podría indicar que el agua actúa de una forma más compleja de lo que proponen los modelos de formación propuestos por Cooke et al. (1993).

Marco geológico

El Valle de Tesistán se localiza en la provincia de la Faja Volcánica Transmexicana (FVTM). Por su evolución geológica, la FVTM tiene una amplia variedad de productos volcánicos. En la zona de estudio afloran diversas unidades litológicas. Las principales unidades son las siguientes:

Grupo Guadalajara. Está compuesto por una sucesión de domos riolíticos y depósitos piroclásticos asociados y, en menor proporción, incluye lavas basálticas. De acuerdo con los trabajos del SIAPA (2002), el grupo se divide en dos unidades: la superior y la inferior, esta última compuesta por el siguiente paquete. Las rocas volcánicas félsicas del grupo Guadalajara inferior descritas por Rossotti et al. (2002) en afloramientos ubicados al norte del área de estudio, incluyen a las siguientes unidades litológicas: riolita cerro La Tortuga, riolita cerro Derrumbadero (7.1 Ma³), riolita cerro Señora de los Pericos, ignimbrita Potrero de los Riveras (5.53 Ma) y riolita Espinazo del Diablo (5.47 -5.19 Ma). De acuerdo con los datos del SIAPA (2002) esta unidad se describe en

los registros litológicos de perforación, se marca como rocas volcánicas félsicas y progresivamente alcanza mayores espesores hacia el norte de la cuenca.

El grupo Guadalajara superior, de acuerdo con el SIAPA (2002), está compuesto principalmente por la *Toba Tala*:

[...] representa a los materiales piroclásticos más superficiales que ocurren en una amplia área (~1,200 km²) alrededor de la caldera de La Primavera. Estos depósitos están compuestos por tobas de caída libre, lapilli y flujos de ceniza con abundantes fragmentos de pumicita, con menor vidrio volcánico (obsidiana).

Figura 4

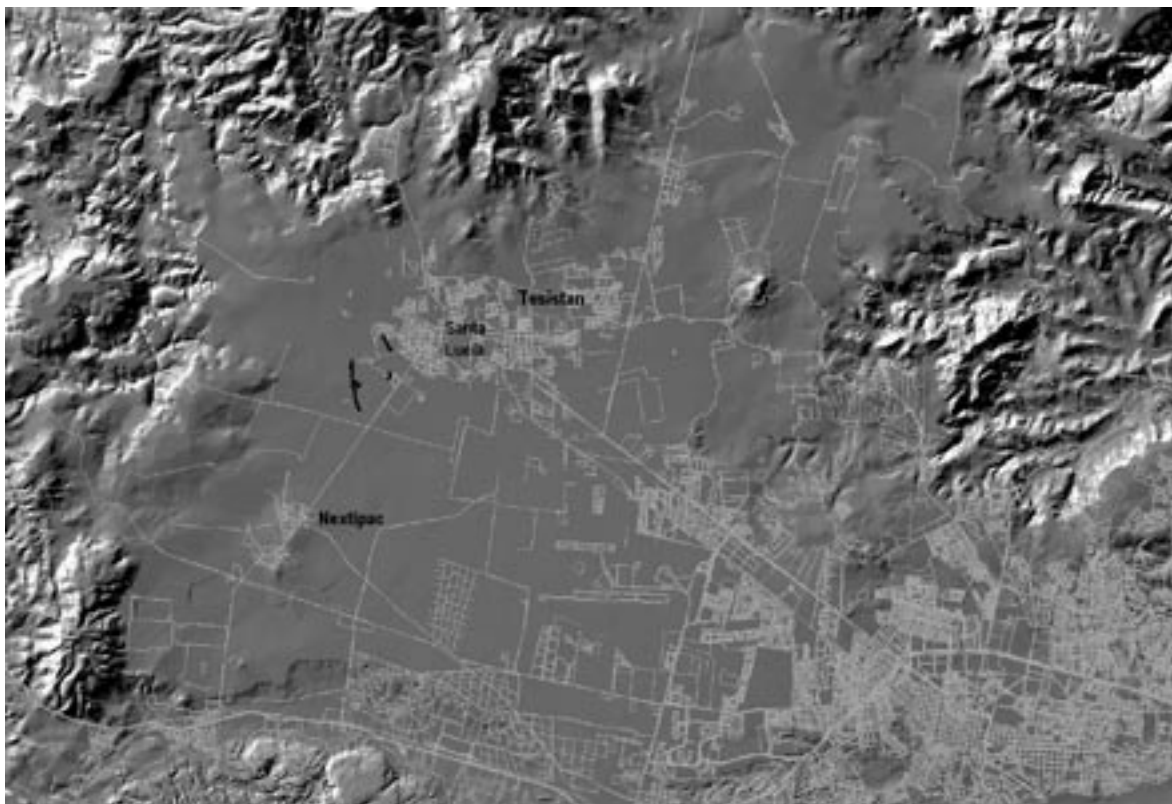


Paquete de materiales volcánicos. En la base encontramos un flujo piroclástico poco consolidado, en la parte intermedia ceniza, y coronando el paquete pómez de caída

Geomorfología

El Valle de Tesistán corresponde con una unidad geomorfológica que se localiza entre dos estructuras volcánicas importantes; al sur y oeste se encuentra el *Complejo Volcánico de La Sierra La Primavera*, al norte *la Sierra Volcánica de Tesistán*. El material emitido por estas dos estructuras ha depositado una gran cantidad de material pumicítico, rellenando una paleotopografía y cubriendo la mayor parte de las depresiones paleo-topográficas. El elemento del paisaje más importante que modificó el vulcanismo fue la configuración

Figura 5
Modelo digital del terreno



Muestra las principales estructuras geomorfológicas de la zona: al centro una zona llana, denominada planicie de Tesistán; en las márgenes del poniente, tenemos el domo El Tepopote, La Mesa Coronilla y la Sierra de Tesistán.

y dinámica de la red hidrológica, por lo que la actual red se está trabajando sobre una topografía joven, donde se están produciendo procesos que tienden a una nueva estabilización en estas condiciones.

Sistema acuífero de Río Blanco

El acuífero del Río Blanco, desde el punto de vista geológico, está formado por tobas con fragmentos de pómez, alternando con láminas de pómez de caída, secuencias de arenas volcánicas retransportadas, cenizas y capas delgadas de tepetape (flujos piroclásticos), y algunos horizontes de arenas retransportadas y secuencias de arcillas y limos.

De acuerdo con el estudio del SIAPA (2002) se definen dos tipos de acuíferos: “el primero denominado *acuífero superior* de tipo libre, emplazado en depósitos aluviales recientes y en toba silícea poco consolidada, denominada *Toba Tala*, del Pleistoceno (0.095-0.1 Ma); y un *acuífero inferior* de tipo semiconfinado, en rocas volcánicas del grupo Gua-

dalajara Superior del Terciario, época Plioceno (4.71-1.39 Ma). El espesor es variable, y se encuentra hasta los 300 m en los alrededores de La Primavera; en la zona central del Valle de Tesistán los espesores son de 100 m, disminuyendo paulatinamente hacia el Río Santiago”.

Descripción de la galería generada el 29 de junio 2004 (Nextipac)

El 29 de junio de 2004 se manifestó un sistema de grietas en la zona cercana al poblado de Santa Lucía, en la colonia Prados de Nextipac. El sistema principal tiene una tendencia general N-S, con una longitud de 1.073 km, y un ancho que va de 1 hasta los 10m. En superficie la grieta presenta bordes irregulares, afora en algunos sectores a manera de fisura, hasta alcanzar los 12 m de profundidad. Del segmento principal se desprenden algunos pequeños ramales. Un rasgo interesante es que la grieta se curva a la mitad y forma una “Y”, donde el sector N-S es el mejor desarrollado.

Figura 6



Las grietas marcan la sección del techo de la caverna, el cual probablemente se colapse durante el temporal de lluvias 2004-2005.

Características de la grieta y la relación con el sistema de fallas dominantes de la región

El modelo digital de elevación permitió marcar dos sistemas principales. El primero presenta una orientación NNW-SSE, corta el borde norte de la planicie de Tesistán y disloca estructuras importantes en la sierra. El segundo sistema es de menor longitud, presenta una orientación NNE-SSW. La primera orientación de las fallas coincide tanto con la grieta que se formó en junio de 2004 como la que afloró en el año de 1987.

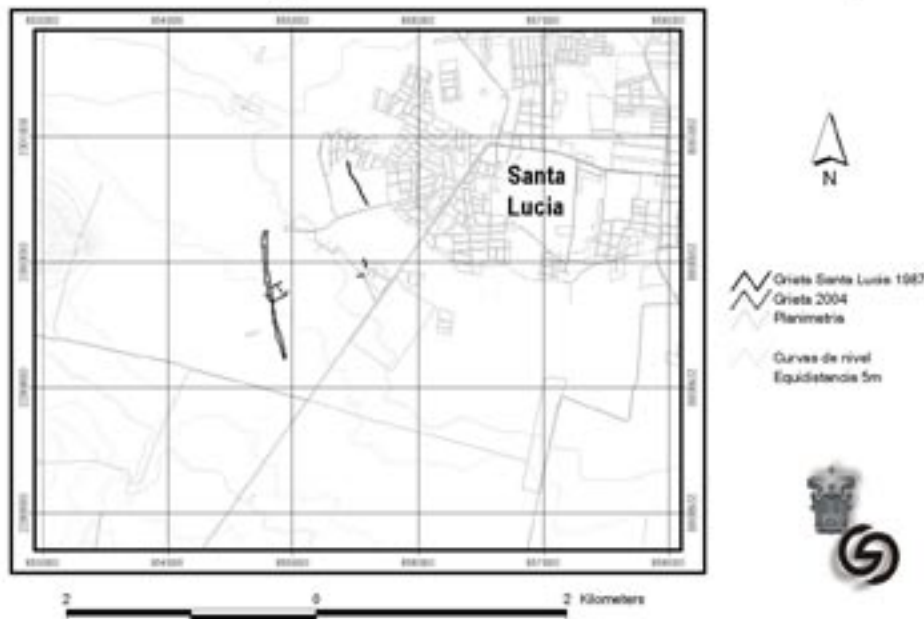
Características del subsuelo y del basamento en la zona donde se formó la grieta

Con los datos estratigráficos proporcionados por el estudio que realizó el SIAPA, (2002) se puede precisar que la zona donde actualmente se forman las galerías coincide con un borde en donde el espesor de la *Toba Tala* varía de manera importante; el espesor al suroeste del borde es de 25 m, y al oriente alcanza los 120 m. Este cambio se relaciona con la presencia de un paleocauce y/o un sistema de fallas. El corte del SIAPA (op. cit.) indica una especie de interdigitación pero, con las observaciones hechas en el MDE, en esta misma dirección inmediatamente al norte, en el límite de la

planicie se marca claramente un sistema de fallas, en sentido NNW-SSE, con la misma orientación, tanto de las grietas como el borde (generado por el cambio de espesor de la *Toba Tala*). Un elemento adicional a la sufosión es que el borde formado puede estar induciendo tensiones excedentes por hidrocompactación, esto puede estar asociado con una fuerte extracción de agua (es una de las zonas con mayor cantidad de pozos por km²). La extracción de agua pudiera incrementar la probabilidad de formación de galerías.

Figura 7

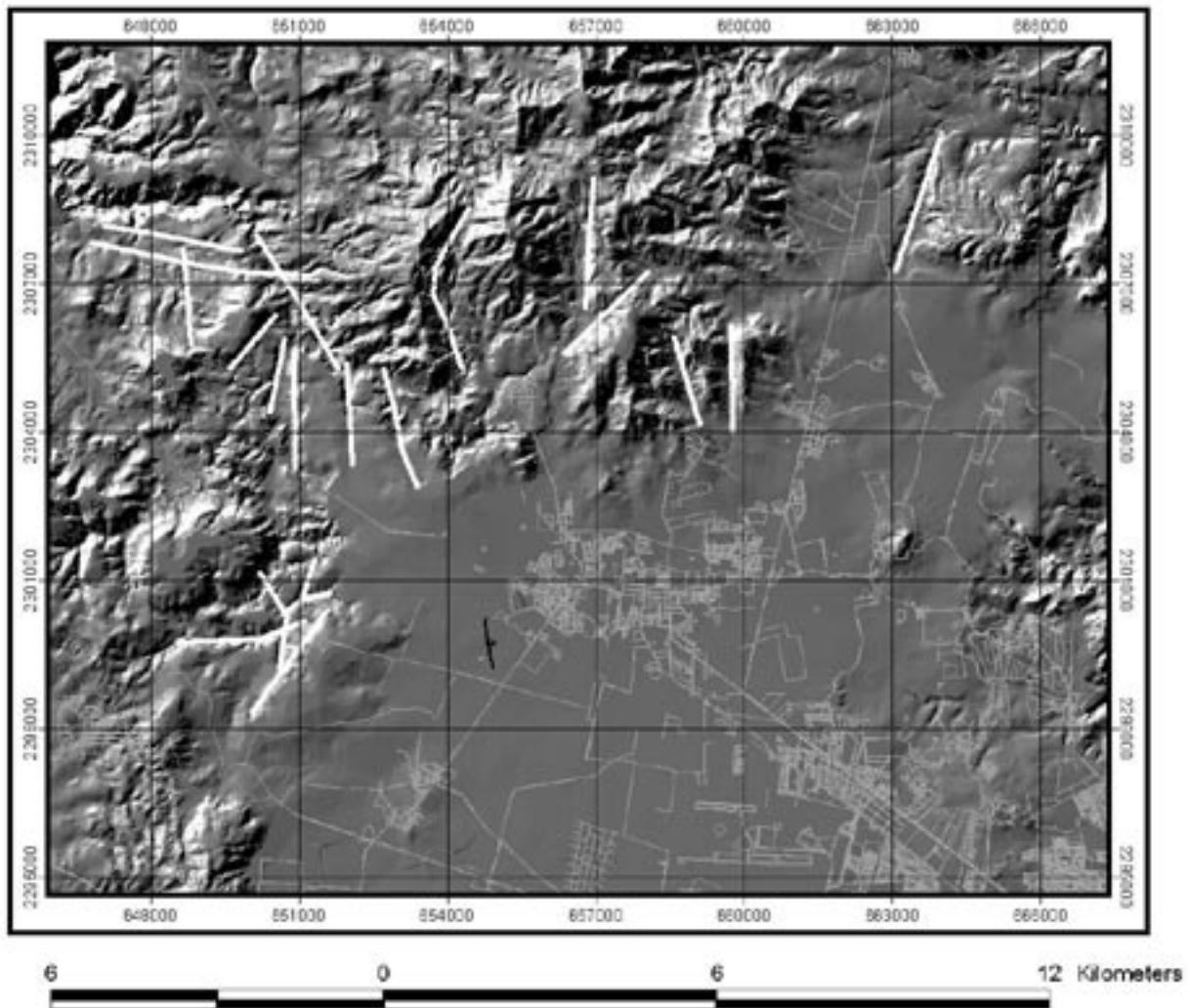
Mapa de ubicación del sistema de grietas Santa Lucía-Nextipac



Conclusiones

La formación de las galerías es un fenómeno natural, propio de las condiciones geológico-geomorfológicas, geohidro-

Figura 8
Modelo digital de elevación



En el borde norte de la llanura, la que está en contacto con la sierra de Tesistán, se muestra un sistema de fallas, que coinciden con la orientación de por lo menos las dos grietas formadas más recientemente en este sector del valle.

lógicas, así como el patrón de precipitación pluvial que se presenta en el Valle de Tesistán. A partir de los registros históricos con los que se cuenta, se considera que se han presentado en la zona por lo menos en cinco ocasiones durante los últimos noventa años. Existen obras humanas, como las galerías filtrantes, que también pueden ocasionar asentamientos, como ocurre en la zona del centro de Zapopan y en La Venta del Astillero.

De acuerdo con los datos geológicos, geohidrológicos, morfológicos y tectónicos, existe la probabilidad que áreas

con bordes⁴ o cambios importantes en los espesores de la *Toba Tala* puedan constituir zonas más propicias a presentar la hidrocompactación y la sufosión.

Aunque este tipo de fenómenos se presenta “esporádicamente”, por lo menos cada quince años, es necesario tomarlos en cuenta, ya que el crecimiento urbano se está extendiendo sobre estas zonas, por lo que pueden representar cierto peligro para los asentamientos humanos establecidos en la zona conocida como El Húmedo de Nextipac-Santa Lucía, y en general en el Valle de Tesistán.

Glosario

Agua freática: agua que se encuentra en las secuencias geológicas. Generalmente forma acuíferos.

Agua hipodérmica: agua que se encuentra en el subsuelo, que no forma parte del acuífero.

Cenizas: material de granulometría fina.

Galería: grieta producto de la erosión en forma de túnel.

Fallas sísmicas: dislocación (ruptura) en rocas o sedimentos, en donde los bordes tienen movimientos relativos.

Flujos piroclásticos: material volcánico que al enfriarse se consolida formando una roca dura y de grano fino, generalmente se le conoce como “cantera”.

Grietas de tensión por subsidencia: producto de la subsidencia se generan hundimientos diferenciales, los cuales provocan la formación de grietas en el subsuelo.

Hidrocompactación: véase subsidencia.

Láminas: capas delgadas de material.

Macroporos: cavidades que se forman en el subsuelo y que van desde el tamaño de milímetros hasta más de 1 m de diámetro.

Material retransportado: fragmentos de rocas de diversos tamaños que han sido movidos de su lugar, ya sea por el agua o el viento.

Materiales poco consolidados: sedimentos frágiles, los cuales son fácilmente erosionables.

Paleocauces: antiguos cauces, sepultados por la actividad erosiva posterior.

Permeabilidad: características del suelo, asociadas con la capacidad de movilizar agua.

Pómez de caída: material volcánico depositado directamente por el viento.

Saturación: capacidad que tiene el suelo para absorber en cierto periodo de tiempo un determinado volumen de agua.

Subsidencia: hundimientos regionales de secuencias sedimentarias, generalmente asociadas con la explotación de agua de los acuíferos.

Sufosión: erosión del agua hipodérmica en materiales poco consolidados, también recibe el nombre de *piping*.

Tepetate: capa de material consolidado, producto del agua o de flujos piroclásticos.

Tobas: material volcánico poco consolidado, formado principalmente por arnas, lapillo y pómez de origen volcánico.

Notas

- ¹ Término árabe que literalmente significa “lanza” o “conducto”. En México se denominan galerías filtrantes, en la Venta del Astillero se les llama pozería.
- ² En inglés, en español: sufosión, que proviene del francés *suffusion*.
- ³ Ma = Millones de años.
- ⁴ Formados por la presencia de palocauces y zonas de debilidad como fallas, fracturas y bajos de resistividad, principalmente; cambios en los espesores de las secuencia estratigráficas del grupo Guadalajara, inferior, superior.

Bibliografía

- Beekman, C., P. Weigand y John Pint, “Old World Irrigation Technology in a New World context: *Qanats* in Spanish Colonial Western Mexico”, en *Antiquity*, Cambridge, 1999, junio, vol. 73, pp. 440-448.
- Cooke, R., A. Warren y A. Goudie, *Desert Geomorphology*, UCL Press Limited, University College, Londres, 1993, p. 88.
- Díaz, Severo, “Cinco estudios sobre Guadalajara”, en *Revista Jalisco. Revista Oficial del Gobierno del Estado de Jalisco*, núm. 1-2, vol. II, 1984.
- El Sol de Guadalajara*, Organización Editorial Mexicana, núm. 10407, 1978.
- Rossotti, A., L. Ferrari, M. López-Martínez y J. Rosas-Elguera, “Geology of the Boundary Between the Sierra Madre Occidental and the Trans-Mexican Volcanic Belt in the Guadalajara Region, Mexico”, en *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 2002, v. 19, núm. 1, pp. 1-15.
- SIAPA, *Estudio de actualización geohidrológica e integral de las cuencas Atemajac-Toluquilla, estado de Jalisco*, México, Gobierno del Estado de Jalisco, 2002 (inédito).
- Valdivia Ornelas, Luis, M. del R. Castillo Aja et al., *Caracterización natural, delimitación de peligros en la zona de la sierra La Primavera, Valle de Tesistán y cerro El Tepopote*, Universidad de Guadalajara-Ayuntamiento de Zapopan, 2004 (inédito).