

Desarrollo de grietas en el fraccionamiento Prados de Nextipac, Municipio de Zapopan, Jalisco

Carlos Suárez-Plascencia¹, Felipe de Jesús Escalona-Alcázar^{2,3} y José de Jesús Díaz-Torres¹

¹Departamento de Geografía y Ordenación Territorial de la Universidad de Guadalajara/SISVOC, Jalisco, México.

²Departamento de Ordenamiento Ecológico, Instituto de Ecología y Medio Ambiente de Zacatecas, México.

³Departamento de Geología, CICESE

RESUMEN

Entre el 29 de junio y el 28 de septiembre del 2004 se formó un sistema de grietas al suroeste de la localidad de Santa Lucía, en el valle de Tesistán, municipio de Zapopan, Jalisco. Estas grietas se desarrollaron en una secuencia de pómez de caída, flujos piroclásticos y otros materiales epiclásticos. Las grietas aparecieron después de lluvias intensas. La estructura principal tiene longitud de 1073 m y rumbo N20°W, con segmentos orientados N-S. La profundidad promedio varía entre 8 y 10 m y la anchura entre unos cm hasta 3.5 m. La fisura afecta principalmente predios rústicos, agrícolas y una sección del fraccionamiento Prados de Nextipac.

Palabras clave: Socavación, Grietas, Valle de Tesistán, Nextipac, Santa Lucía.

ABSTRACT

Between June 28 and September 28, 2004, after heavy rainfall, fissures were formed in Santa Lucia, in the Tesistán Valley, municipality of Zapopan, Jal. These fissures are in a sequence of pumice and pyroclastic flows, interbedded with epiclastic material. The main fissure is 1,073 m long, bearing N20°W, with some N-S segments. Its depth varies between 8 and 10 m, and its width ranges from a few centimeters up to 3.5 m. The fissure affects mainly rustic and agricultural lots, and a section of the Prados de Nextipac development.

Key words: Fissure, Tesistan valley, Nextipac, Santa Lucia.

Cita: Suárez-Plascencia, C., Escalona-Alcázar, F. J. y Díaz-Torres, J. J., 2005, Desarrollo de grietas en el fraccionamiento Prados de Nextipac, Municipio de Zapopan, Jalisco, *GEOS*, Vol. 25, No. 2.

INTRODUCCIÓN

La zona de estudio se encuentra en el sector noroeste del área Metropolitana de Guadalajara, en el valle de Nextipac-Santa Lucía (Figura 1). El Río Grande de Santiago es el rasgo morfológico con asociación tectónica más importante cerca de la zona de estudio. En éste se identifica un sistema de fallas normales de rumbo N40-75°E y un sistema transcurrente que lo corta, cuyo rumbo varía entre S30°E y S70°E (Rosas-Elguera *et al.*, 1993). Estas tendencias son paralelas a las fallas que Garduño-Monroy y colaboradores (1998) identificaron en la zona del Volcán Colima, así como con las fallas cartografiadas en los alrededores de la ciudad de Guadalajara (Rossotti *et al.*, 2002).

En el valle de Tesistán se han reportado galerías filtrantes, también conocidas como qanats (Palerm-Viqueira *et al.*, 2001), que en su mayoría fueron construidas para el abasto de agua potable. En los municipios de Guadalajara, Zapopan, Tala y El Arenal se han identificado galerías filtrantes que datan de finales del siglo XIX; algunas están destruidas y otras todavía están en uso, como la galería de La Venta del Astillero, que fue de una hacienda ubicada a 7.4 km al SSW (1620 m.s.n.m.) de la grieta de Prados de Nextipac (1600 m.s.n.m.), además de dos pequeñas galerías del rancho La Gotera, ubicado en la misma zona.

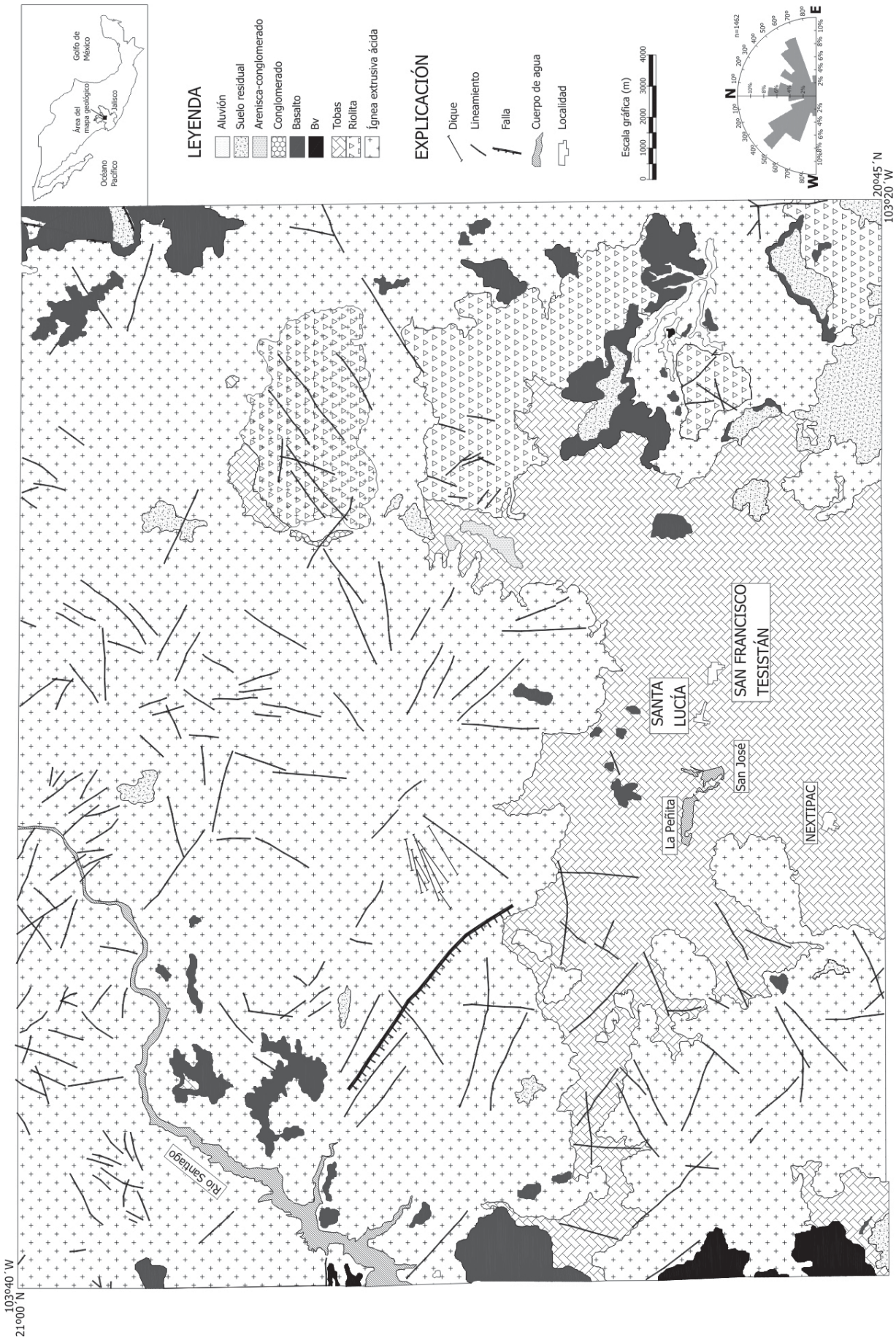


Figura 1. Mapa geológico de los alrededores del área de estudio. El recuadro de la parte superior derecha indica la ubicación geográfica del área de estudio. La leyenda muestra las unidades litológicas en orden estratigráfico descendente. La rosa de lineamientos se elaboró con 1462 datos. Mapa modificado de la carta geológica F13D55 escala 1:50,000 del INEGI.

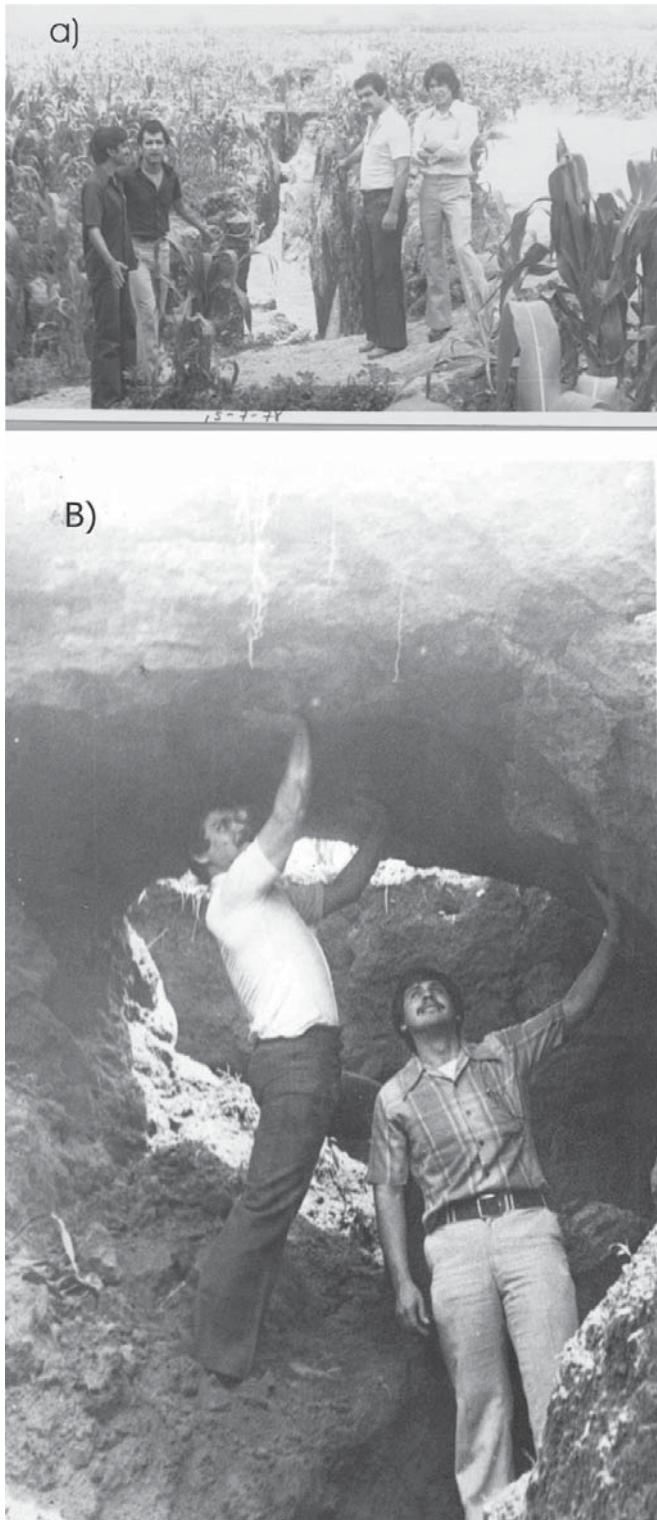


Figura 2. Fotografías de la grieta que se formó en julio de 1978. a) Expresión superficial y b) estructura interna de la grieta en donde se observa el proceso de socavación.

Recurrentemente, en el valle de Tesistán se han presentado agrietamientos de diferentes dimensiones desde hace por lo menos 110 años. En el área de Santa Lucía y Nextipac, las grietas se han presentado desde hace 35 años. En esa zona, la litología está formada por una secuencia de tobas volcánicas sin consolidar, en donde el nivel freático se encuentra casi en la superficie hasta una profundidad de 25 m. Ya que el agua subterránea disponible es abundante, se ha propuesto que el flujo subterráneo favorece los procesos de socavación que, con el tiempo, desarrolla galerías que posteriormente forman grietas al desplomarse su techo.

Hay reportes de formación de grietas desde el año de 1912 en el sector noroeste del municipio de Zapopan, Jalisco. En ese año las grietas se formaron tras un enjambre sísmico que afectó los municipios de Guadalajara y Zapopan. Sin embargo, la formación de grietas no estuvo relacionada con el evento sísmico (Waitz y Urbina, 1918). Una de las grietas fue descrita por esos autores como un abra de dos metros de profundidad y 70 m de longitud que aflora en superficie como una pequeña grieta no mayor a los dos centímetros de ancho y se menciona la desecación paulatina de una noria a causa de ella.

Waitz y Urbina (1918), señalan que en un reporte elaborado por el Pbro. Severo Díaz (1918) se describió que “en 1918, en vísperas del día de San Juan, sobre un camino que conducía de Tesistán a Zapopan, al llegar al pueblo de la Tuzanía, durante una noche debido a las corrientes aguas de una furiosa tormenta, la tierra se abrió allí, precisamente en medio del camino, que es por donde corrían las aguas, dejando surcos profundos y viéndose a uno y otro lado de dicho camino una grieta de cerca de un kilómetro de extensión”. Esta grieta fue bautizada “Grieta Ordóñez”; por ella escurrió agua durante la temporada completa de lluvias de 1918 y su trazo desapareció tres años después. Waitz y Urbina (1918) señalan que “por el rumbo de Tesistán a la Tuzanía existía una gran cantidad de afloramientos de aguas subterráneas, los cuales fueron absorbidos en los esponjosos terrenos de los alrededores; el subsuelo está constituido por capas permeables e impermeables que se entretrejen como hilos en burda trama”.

En el Congreso Internacional de Geología, celebrado en la ciudad de México en 1956, Alfonso de la O Carreño, refiere que “los pozos de la zona de Tesistán

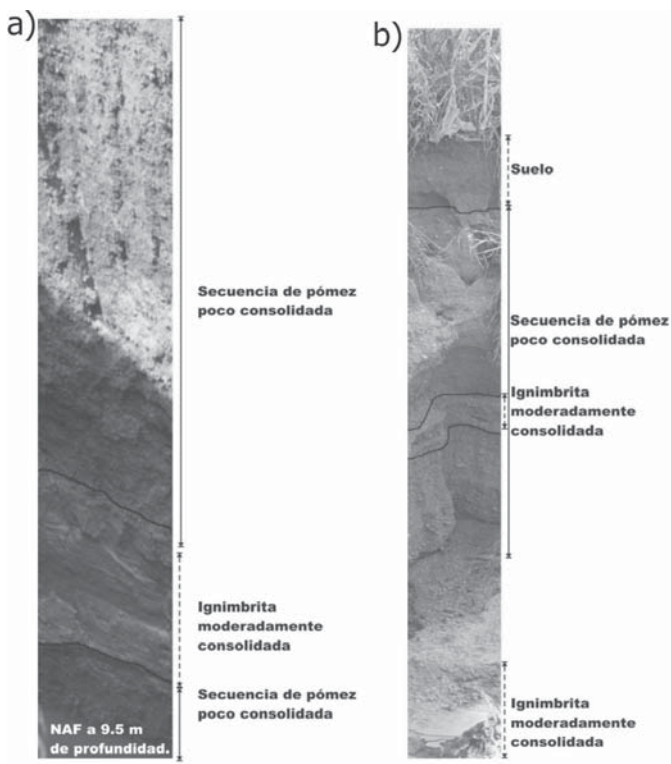


Figura 3. Fotografías de las grietas del a) 29 de junio y b) 28 de septiembre de 2004. En ambas fotografías se observan las unidades litológicas cortadas por las grietas. Los depósitos piroclásticos corresponden a la unidad de "Tobas" de la figura 1.

al succionar agua provocan el frotamiento sobre los materiales pumicíticos que al ser succionados por las bombas acaban por desmenuzarse formando cavernas en torno a las tuberías de ademe, lo cual provoca el colapso brusco y obturación de los filtros, nulificando algunos pozos". Este autor concluye afirmando que la aparición de estos hundimientos de pozos y grietas no se relaciona con fenómenos de carácter tectónico; sugiere que las cavernas se deben a un fenómeno de arrastre de materiales pumicíticos por aguas subterráneas (De la O-Carreño, 1956).

En 1975 se formó una nueva grieta en las inmediaciones de la Base Aérea de Zapopan y, el 14 de julio de 1978 (Figura 2), apareció una nueva grieta en la Universidad de Guadalajara. En 1988 la Facultad de Geografía de la Universidad de Guadalajara realizó un monitoreo de grietas nuevas que aparecieron, en julio de 1987, en Santa Lucía (Valdivia-Ornelas *et al.*, 1993).

En todos los trabajos se reporta que la aparición de las grietas ha ocurrido durante los meses de junio y julio, periodo en el que comienza la temporada de lluvias en el occidente del México. El objetivo de este trabajo es proponer un modelo que explique el origen y

METODOLOGÍA

Los rasgos estructurales del área de estudio fueron tomados de la carta geológica F13D55 escala 1:50,000 del INEGI. Los lineamientos estructurales son de diferente longitud, por lo que para ponderar su orientación se utilizó una rejilla de 250 m de lado, que corresponde al tamaño del lineamiento más pequeño. Se utilizó un diagrama de rosas con ancho de clase de 10° para definir la orientación preferente de los lineamientos. Se utilizaron los datos vectoriales escala 1:50,000 de la carta topográfica F13D55, con curvas de nivel cada 10 m; con los que se elaboró el Modelo Digital de Elevaciones (MDT) que permitió, con base en los datos proporcionados por el organismo operador de agua potable y la CNA ubicar la profundidad del nivel freático. Con el MDT y el geoposicionador se estimó la elevación de los puntos de la grieta muestreada.

En la inspección de campo realizada el 30 de junio, se realizaron las siguientes acciones:

- o Se ubicó la grieta usando un geoposicionador Garmin modelo Vista con un error de 4 m;
- o Se midieron 13 puntos GPS;
- o Se midió el ancho y profundidad en varios puntos de la grieta;
- o Se identificó la estratigrafía de la zona;
- o Con un medidor de flujo se estimó el gasto del Río Húmedo, tributario del Río Blanco, el cual es capturado e infiltrado totalmente en la grieta en su intersección.



Figura 4. Ubicación de la grieta de 2004 que se formó cerca de la localidad Potrero de la Soledad, aledaño a la localidad de Nextipac. La flecha indica la ubicación de la grieta.

RESULTADOS

Geología

El área afectada por las grietas se encuentra en un valle formado por depósitos piroclásticos y aluviales cuyo espesor medido al hacer la perforación directa es de 20 m sin alcanzar roca sólida y de 37 m con el método de velocidades de ondas de corte (Vs) obtenidas mediante la refracción de microtemores (ReMi); a esa profundidad se observa una fuerte variación de las ondas de corte de 450 a 825 m/s (Salvador Lazcano Díaz del Castillo, comunicación personal, 2004).

La estratigrafía observada en las grietas del 29 de junio y 28 de septiembre, está formada de la cima a la base por un suelo de 0.50 m de espesor con textura

653940,2300623



656754,2298585

Figura 5. Imagen Ikonos donde se señalan algunas de las grietas que se formaron en el valle Nextipac-Santa Lucía entre 1987 y 2004.

Tabla I. Observaciones realizadas a lo largo de la grieta que se formó el 29 de junio de 2004 en la localidad de Prados de Nextipac. Los espacios en blanco indican sitios en donde no se tienen observaciones relevantes del comportamiento.

Coordenadas		Elevación m.s.n.m	Observaciones
X	Y		
654814	2 300 039	1546	Inicio de la grieta, parte NW. Grietas de 1 cm de espesor en la terracería.
655087	2 300 240	1586	Presa de Santa Lucía. No se observó fracturamiento en las cercanías de la Presa.
654892	2 299 450	1547	
654884	2 299 485	1563	
654864	2 299 528	1579	
654856	2 299 528	1585	Profundidad de 8.14 m con agua en el fondo.
654857	2 299 526	1586	Profundidad 9 m, por 2.6 m de ancho y 22 m de largo.
654853	2 299 574	1589	Captura de arroyo húmedo en una geoforma similar a una dolina. Profundidad de 10 m. El gasto aproximado que ingresa a la grieta es de 17.5 lt/s.
654838	2 299 637	1607	Grieta muy activa, con derrumbes constantes en sus bordes y presencia de arroyo subterráneo. Profundidad 8.8 m, ancho 3.5 m a 6.30 m, y 6.30 m a 74 m de largo. El nivel freático está a 6.30 m de profundidad y presenta una corriente que se pierde en el interior de la Grieta.
654835	2 299 720	1611	
654826	2 299 825	1546	
654925	2 299 199	1585	Nivel freático a 4.25 m de profundidad y un ancho máximo de 0.80 m, sin derrumbe.
654969	2 299 074	1590	Fin de la grieta en predios agrícolas en el sector SE. Grietas paralelas de 1 a 15 cm de ancho, las que en días posteriores alcanzaron hasta 0.50 m de ancho.

limosa y poca arcilla (Figura 3b). Lo subyace una secuencia de pómez poco consolidada asociada a la actividad eruptiva de la Sierra de la Primavera, que se localiza a aproximadamente 10 km al sur (Figuras 3a y 3b). Esta secuencia descansa sobre una ignimbrita moderadamente consolidada cuyo espesor aproximado es de 1.60 m y representa el nivel de los escurrimientos subterráneos del valle (Figuras 3a y 3b). Subyace a la ignimbrita una secuencia de pómez poco consolidada (Figura 3a).

Los depósitos piroclásticos del valle de Tesistán corresponden a variaciones litológicas de la unidad “Tobas” de la Figura 1.

En la rosa de orientación de los lineamientos rectilíneos de la Figura 1 se observa que hay tres tendencias bien definidas: una que varía entre N30-50°W, N0-10°E y la última entre N50-70°E. En menor proporción se observan las siguientes orientaciones N50-70°W y N30-40°E, en ese orden de abundancia. La litología no provoca variaciones en la distribución de los lineamientos. La orientación de los lineamientos es paralela a un sistema de fallas reportado por Rosas-Elguera y colaboradores (1993).

Desarrollo de las grietas

El 19 de junio del 2004 se presentó el primer reporte de un agrietamiento con una longitud de 150 m y orientación N22°W en la localidad de Potrero de la Soledad (Figura 4); esta grieta se hizo evidente después de una precipitación de aproximadamente 22 mm en la tarde y noche del 18 de junio. El espesor de la grieta fluctuaba de un centímetro hasta 80 cm y presentó algunos hundimientos de su sección superior.

La Figura 5 muestra la imagen Ikonos donde se señala la ubicación de las grietas de 19 y 29 de junio, 28 de septiembre y la de 1987 que afectó el sector suroeste de la localidad de Santa Lucía. La grieta que se estudió con detalle fue la que se formó en la tarde-noche del 29 de junio del 2004, cuando ocurrió una precipitación similar a la del 19 de junio que produjo la inundación en la localidad de Prados de Nextipac. Los habitantes reportaron un sonido estruendoso y el agua bajó su nivel hasta dejar al descubierto el agrietamiento. Las observaciones realizadas en la grieta horas posteriores a su formación, de Norte a Sur (Figura. 5), se resumen

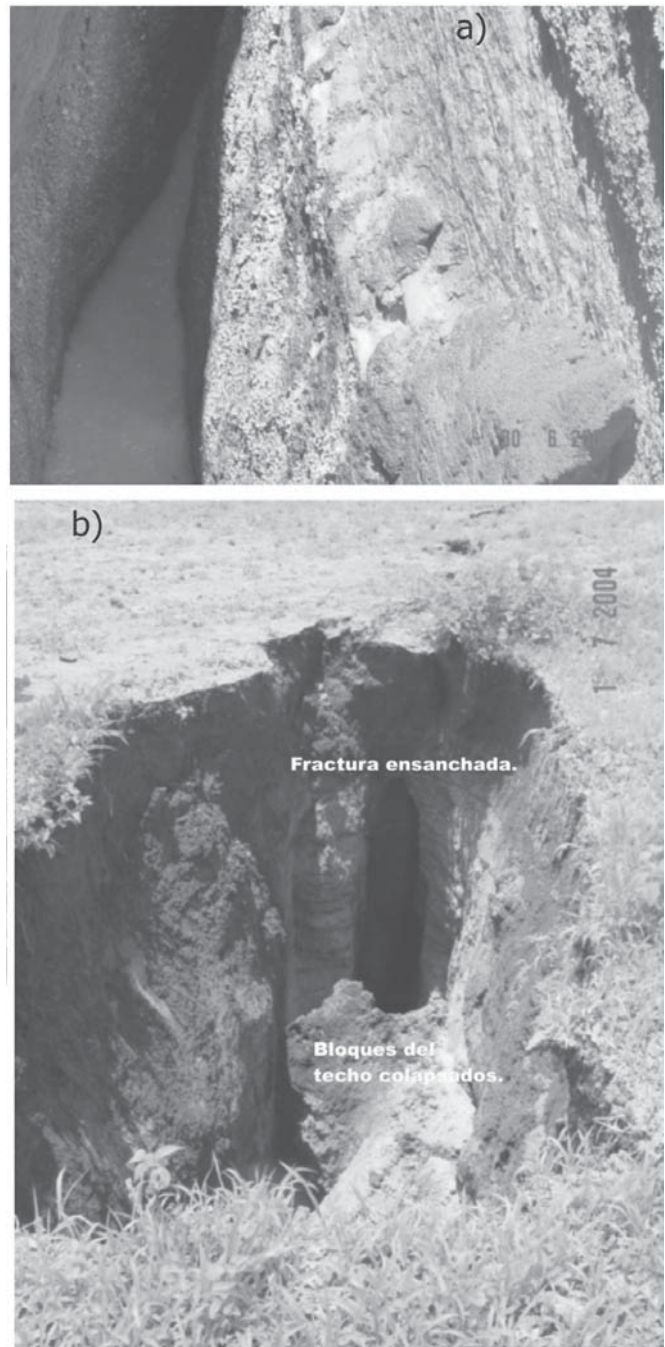


Figura 6. En la temporada de lluvias, en el fondo de las grietas se presentan escurrimientos laminares en la paredes y flujo constante en el fondo además de la socavación a profundidad. a) Corriente en el fondo de una grieta; b) se observa una grieta de 4 cm de espesor que se formó el 30 de junio de 2004, 18 horas después mostró un agrietamiento de 2 m de espesor, 5.60 m de largo y 3.25 m de profundidad.

en la Tabla I.

Con los datos de la Tabla I se calculó la longitud de la grieta en 1073 m, así como el rumbo general N20°W; en algunos trazos se observan fracturas con orientación N-S. La grieta inicia a 340 m al suroeste de la presa de

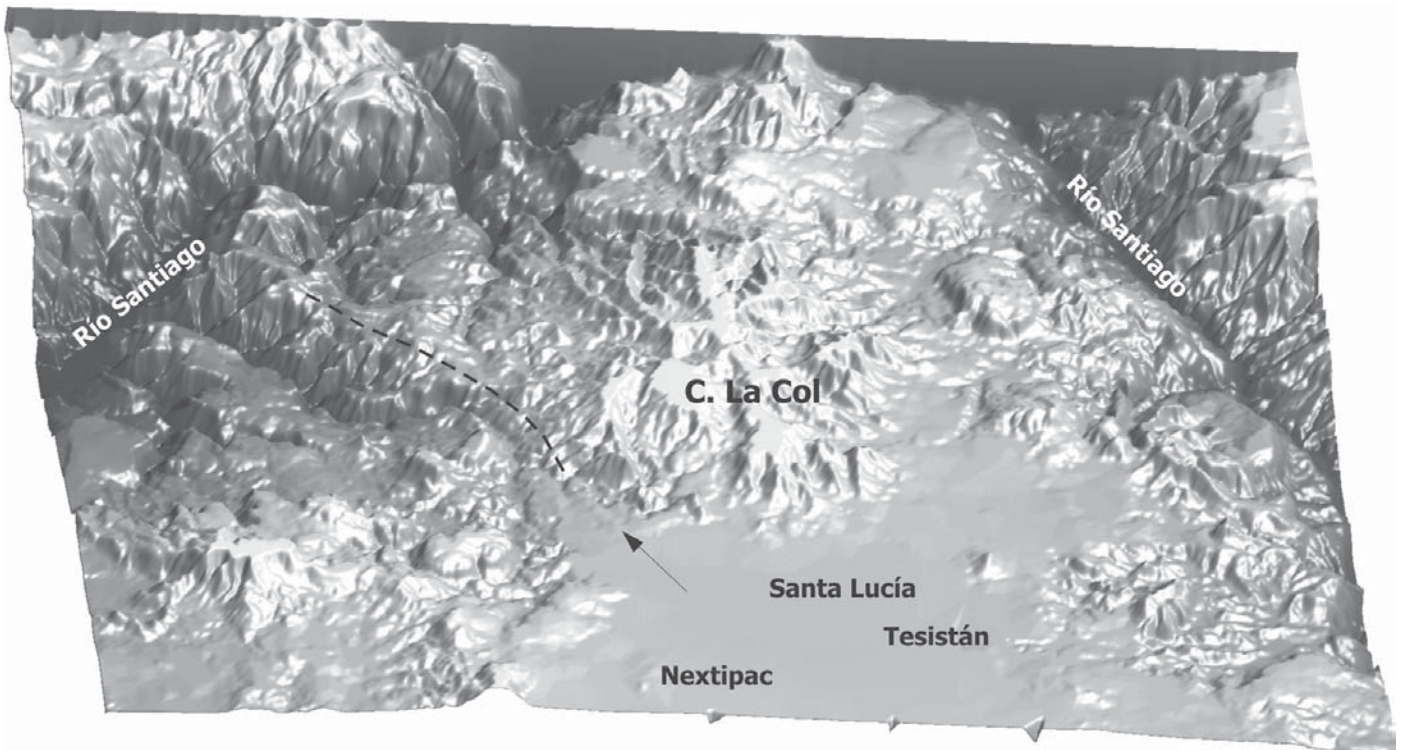


Figura 7. Modelo de elevación con vista al norte e inclinación de 35°. El área que cubre el modelo es la misma que la del mapa geológico de la Figura 1. La flecha indica el sentido propuesto del flujo de sedimentos y agua. La línea punteada indica la ubicación aproximada de la falla normal y estructuras asociadas por la que fluirían los sedimentos hacia la cuenca del Río Santiago.

Santa Lucía y, en la mayor parte de su trazo, afecta tierras de cultivo y de pastizal. Sólo en el extremo sur dañó tres casas del caserío de Prados de Nextipac, así como calles, para después penetrar en parcelas cultivadas con maíz y terminar a 300 m al SSE del caserío.

El proceso de formación continuó después del evento principal, según se pudo observar el día 1 de julio, en el sector norte en donde el día 30 de junio sólo existía una fisura menor a 4 cm en la mayor parte del trazo. Al realizar un tercer recorrido se apreció la aparición de nuevas oquedades con dimensiones de 2 m de ancho, 5.60 m de largo y 3.25 m de profundidad (Figura 6), así como otra oquedad de 9.30 m de largo, 1.35 m de ancho y 5.76 m de profundidad. En algunos puntos de esta sección se apreciaron escurrimientos de agua. El 1 de julio se observó el desarrollo de nuevas fisuras con una orientación NE-SW, en el sector norte de la Colonia Prados de Nextipac.

DISCUSIÓN

De acuerdo con los antecedentes históricos y al trabajo de campo realizado en las grietas de junio-

septiembre del 2004, se infiere que las grietas en la zona de Nextipac-Santa Lucía se formaron a partir del control estructural de las rocas volcánicas que rodean el área de estudio (Figuras 1 y 7). Grandes estructuras, como el Cerro La Col, se pueden observar en el modelo de elevación de la Figura 7, que junto con el mapa geológico de la Figura 1, muestran la tendencia de las estructuras en el norte del área afectada. En la zona de estudio los lineamientos estructurales son paralelos al patrón regional de deformación (N40°W), lo que confirma que las grietas del valle de Tesistán siguen ese patrón de deformación. Su ubicación y activación posiblemente se deben a variaciones en la consolidación y el comportamiento geomecánico del sustrato de los depósitos piroclásticos que yacen sobre las rocas que forman el basamento de la zona, así como al nivel de saturación de la roca y la carga que se ha adicionado. La falla normal de rumbo NW-SE (línea punteada de la Figura 7), con bloque caído hacia el oeste, puede tener estructuras sintéticas que facilitarían el movimiento de fluidos del valle de Tesistán hacia el norte, a la cuenca del Río Santiago (Figura 7). En la Figura 8a se muestra el fracturamiento del paquete de depósitos piroclásticos en el valle y se observa una fractura inicial en la

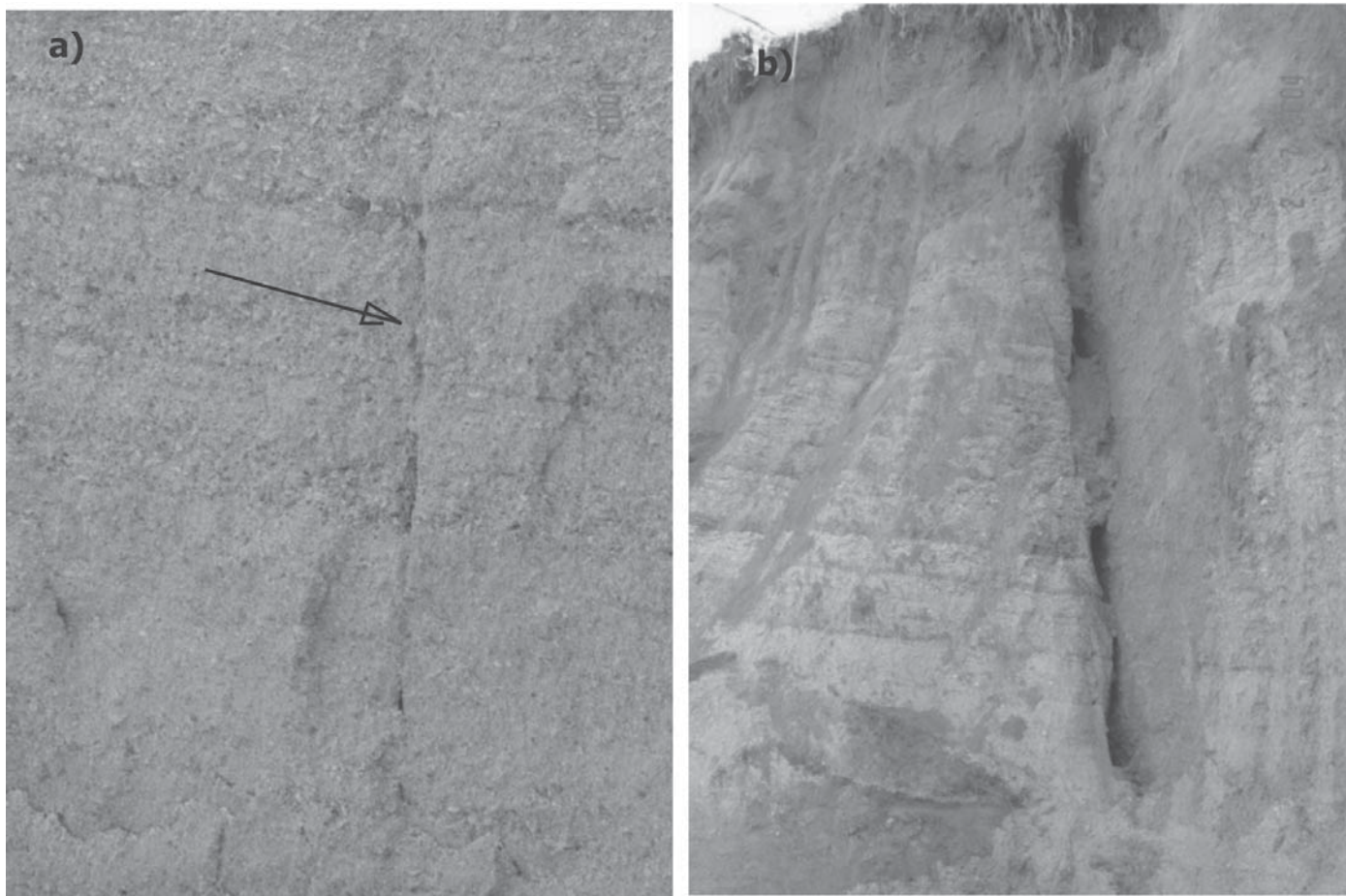


Figura 8. La secuencia de tobas está cortada por fracturas por las que se desarrolla la socavación. a) Fractura en un depósito piroclástico y b) Desarrollo de tubificaciones verticales sobre los planos de fractura. Durante cada temporada de lluvias existe el desarrollo horizontal de “jarras” que al unirse van formando la grieta subterránea. En el inciso b) se nota que en la parte superior de la grieta aún no se presenta la tubificación.

secuencia volcánica. Durante la temporada de lluvias se incrementa el flujo de las corrientes subterráneas y por ende la presión de poro en el flujo intersticial (movimiento del agua freática a través de los huecos entre las partículas de arena y tobas), ocasionando ciclos de erosión anual en las cavidades o fracturas existentes incrementando el proceso de tubificación y socavación durante cada temporal de lluvias (Figura 8b).

Una pregunta fundamental de este proceso es ¿dónde está el material removido o socavado? Con las dimensiones de las grietas se calculó un volumen aproximado de 13,000 m³ de material removido, cuyo destino se desconoce aún: la dirección N y NW del flujo de las aguas subterráneas (tanto en el proceso de 2004 como en el de 1987; Figura 6), la presencia de las estructuras que afectan a ignimbritas y riolitas del sector norte y oeste (Figura 1), y la falla normal que se encuentra al NW del valle de Tesistán (Figuras 1 y 6)

sugieren la existencia de fallamiento normal asociado con el patrón regional de deformación, por el cual, a través de los cauces de los arroyos tributarios al Río Santiago el material removido fluye hacia la cuenca del Río Santiago.

En vista de que el techo de las galerías se adelgaza, las tubificaciones crecen a través de la unión de las “jarras o sinkholes”; se considera que este proceso es continuo en el tiempo y el aporte de material socavado y removido es constante conforme avanza el proceso de tubificación. Al continuar el trabajo de socavación por el flujo de agua subterránea, el techo de la galería se colapsa dejando al descubierto la grieta (Figura 8). En algunos puntos de la grieta se pueden apreciar bloques caídos que formaban parte del techo (Figura 8b) y que fueron parcialmente erosionados por las corrientes de aguas subterráneas que pueden ser laminares (Figura 8a). En gran parte de las secciones descubiertas de la

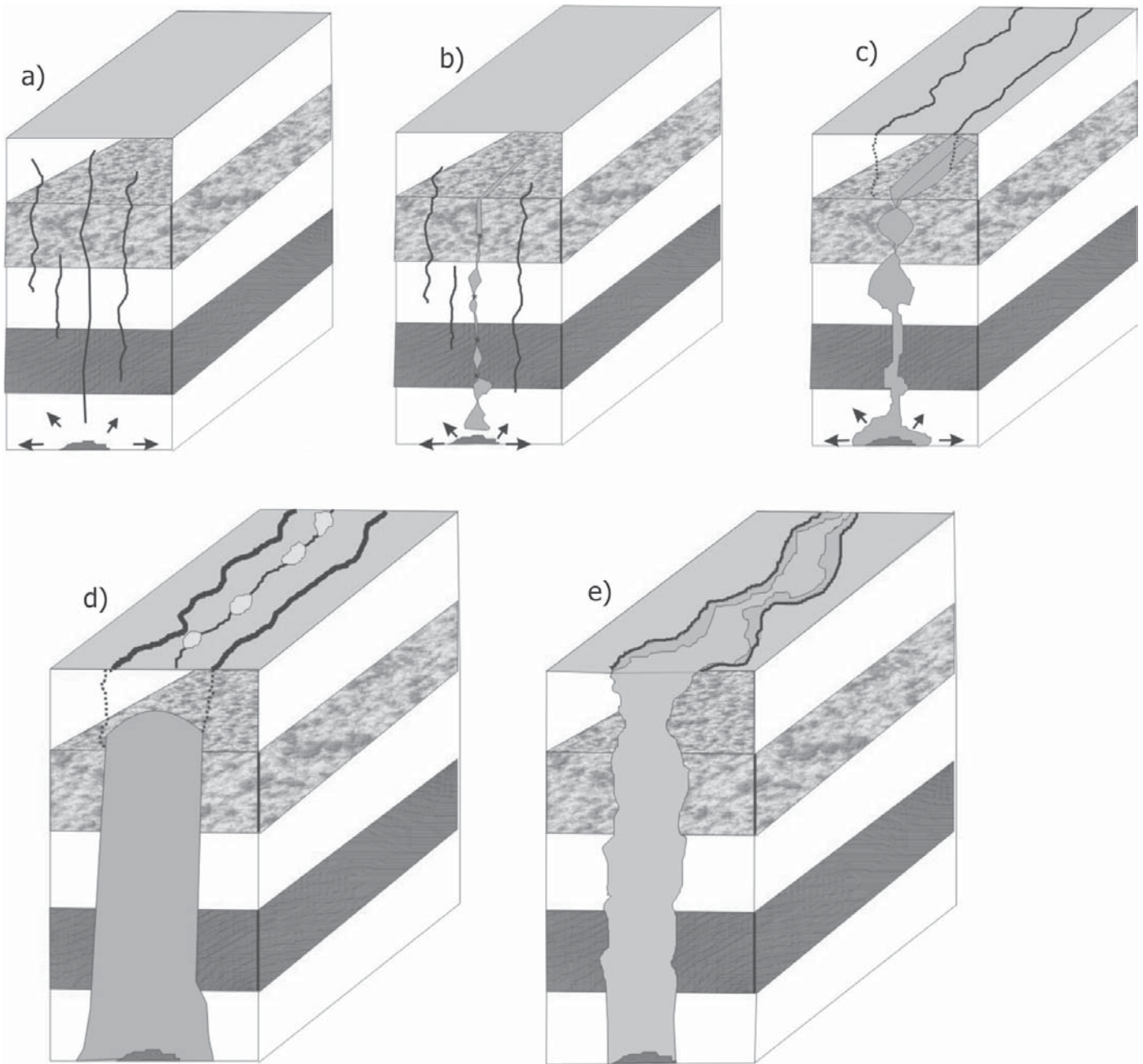


Figura 9. Diagramas que muestran el proceso de formación de grietas en el valle de Tesistán. Las líneas negras son fracturas, las capas horizontales representan las diferentes unidades litológicas y las flechas indican el desarrollo de la galería por el flujo de agua subterráneo. a) Fracturas preexistentes en el paquete de tobas poco consolidada; la presencia de un flujo subterráneo permite la formación de tubificaciones que se desarrollan a lo largo de las fallas y/o fracturas preexistentes. b) El proceso de socavación inicia en las fracturas preexistentes y verticalmente hacia abajo por la filtración de agua de lluvia (junio-octubre); al atravesar rocas poco consolidadas el proceso se vuelve horizontal y comienza la formación de “jarras” (*sinkholes*) que conforme la erosión continua las tubificaciones y socavación se unen para formar una galería subterránea. c) Con el paso del tiempo la galería sigue desarrollándose e intercepta el flujo subterráneo por lo que el ensanchamiento continua. En la superficie, durante la temporada de lluvia, se lleva a cabo el desarrollo de pequeñas fracturas por el asentamiento del paquete de tobas debido al crecimiento de las tubificaciones. d) En las siguientes temporadas de lluvia la galería continua creciendo y comienzan los hundimientos y colapsos de algunas secciones del techo, tal y como sucedió en la grieta del 19 de junio de 2004 en la localidad del Potrero de la Soledad. e) Durante una lluvia intensa se genera una fractura hidráulica cuando el agua pluvial irrumpe de forma brusca en el interior de las grietas superficiales. La carga hidráulica ejerce presión vertical y horizontal que acelera el proceso de socavación y ensancha las fracturas, lo que debilita el techo de la galería que ha incrementado su peso debido a la saturación con agua de lluvia. La conjugación de estos factores hacen que el techo colapse y permita que la galería subterránea quede expuesta por decenas o centenas de metros de longitud en el terreno.

grieta del 29 de junio, sobre todo en su sector norte, se observó la presencia de escurrimientos en el fondo, con escurrimientos hacia el NNW y "lloraderos" en la zona de contacto de tobas con poca consolidación con tobas consolidadas. En algunos puntos estos escurrimientos se infiltran a secciones más bajas y no apreciables de la grieta, por lo que supone la existencia de galerías más profundas en el valle.

Cabe acotar que la grieta presenta dos tipos de morfología: el primer tipo muestra una grieta de paredes paralelas, ancha tanto en la parte inferior como en la superior, lo que hace suponer el desarrollo la existencia de una galería; el segundo tipo muestra una morfología profunda en forma de "V", que parece estar relacionada al proceso de apertura general de la grieta y a su ensanchamiento por la unión de varias tubificaciones durante la entrada de agua al interior de la grieta. En ambos tipos el factor principal del proceso es por la acción del agua sobre fracturas preexistentes. Atendiendo a la morfología que presentan las paredes de la grieta, se observaron dos niveles de terrazas, que indican dos periodos de evolución en la formación de la galería subterránea. El colapso del techo de esta galería se debió probablemente a las intensas lluvias ocurridas en la zona 72 horas antes, en donde se generó un abundante escurrimiento.

Semanas después de la aparición de las grietas, se propuso que estos qanats y las grietas de Prados de Nextipac estaban relacionadas en su origen. El análisis del terreno nos indica poco probable esta relación, dado que a 3.5 km al sur de la grieta se localiza la localidad de Nextipac, ubicada en un lomerío formado de riolitas con altura de 1680 m.s.n.m.. Dadas las diferencias de altura entre la zona de la grieta y la Venta del Astillero, es casi imposible construir una galería filtrante de 7.4 km de longitud en tobas poco consolidadas, puesto que en caso de haber excavado una distancia de 3.9 km y al estar ubicado el túnel a 60 m de profundidad, los trabajadores se habrían encontrado con el lomerío de Nextipac, formado por derrames de riolitas, lo que habría constituido una barrera difícil de penetrar, para posteriormente alcanzar el valle de Santa Lucía. Además, las grietas no presentan indicios de construcción antrópica, ni en su desarrollo ni en su formación.

En este trabajo se propone que el desarrollo de las galerías y grietas está relacionado con las estructuras geológicas que forman el Valle de Tesistán.

Esta hipótesis sugiere que las fallas y/o fracturas que afectan a la secuencia volcánica (Figura 9a) son los conductos por los que el agua de lluvia circula. En temporada de lluvias la filtración de agua remueve el material poco consolidado que forma el valle; junto con lo somero del nivel freático y el flujo hacia el Norte del agua subterránea da inicio a la formación (Figura 9b) y desarrollo de galerías (Figura 9c). En cada temporada de lluvias el proceso se acelera de diferente forma, dependiendo de la litología, las estructuras, del encauzamiento artificial del agua y de la etapa de desarrollo de cada galería. La expresión superficial comienza con pequeñas grietas (Figura 9d) hasta que estas colapsan y dejan al descubierto la galería (Figura 9e).

CONCLUSIONES

La presencia de una alineación N-S y NW-SE de la mayor parte de estas grietas es paralela al patrón de fracturamiento regional y local. Estos esfuerzos han generado un fracturamiento en el valle de Tesistán que han sido aprovechados por los escurrimientos subterráneos en el valle para formar flujos subterráneos que generan procesos de socavación de la litología poco consolidada de la zona. Este trabajo plantea el origen de este proceso geológico-hidroológico y geomorfológico que deriva en la aparición de grietas de diferentes dimensiones sobre este valle, que se acentúa en la época de lluvias, entre junio y octubre de cada año. Con el objeto de identificar una posible relación entre los qanats y el desarrollo de las grietas, se deben realizar estudios geofísicos, tales como sondeos eléctricos o de gravimetría y análisis hidrogeológicos y geológicos que permitan identificar las estructuras que están sepultadas. Estos estudios deben de completarse con un análisis histórico del aprovechamiento de las aguas en el valle desde la época de la Colonia.

En la zona afectada no se debe permitir ningún uso de suelo que no sea el agropecuario por lo que se recomienda que los habitantes de la Colonia Prados de Nextipac sean reubicados en otro sitio, dado que la grieta afectó a este poblado, y puede reactivarse en el temporal de lluvias del 2005.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de Información Territorial del Estado de Jalisco por facilitar la imagen Ikonos de la

figura 5. A la Unidad Estatal de Protección Civil del Estado de Jalisco por el apoyo logístico brindado para la elaboración de este trabajo. Al Instituto de Ecología y Medio Ambiente de Zacatecas por el apoyo para la realización de este trabajo, a Luis A. Delgado Argote por sus valiosos comentarios y a Miguel Alberto Camarena por su apoyo en el manejo de la imagen de satélite. Las observaciones de Ricardo Antonio Carpio contribuyeron a la mejora de este documento.

Manuscrito recibido: 8 de junio de 2005

Manuscrito corregido recibido: 22 de agosto de 2005

Manuscrito aceptado: 12 de enero de 2006

REFERENCIAS

- De la O Carreño, Alfonso, 1956, *Actas del XX Congreso Internacional de Geología*, Ciudad de México, p. 56.
- Garduño-Monroy, V.H., Saucedo-Girón, R., Jiménez, Z., Gavilanes-Ruiz, J.C., Cortés-Cortés, A. y Uribe-Sifuentes, R.M., 1998, La falla Tamazula, límite suroriental del Bloque Jalisco y sus relaciones con el Complejo Volcánico de Colima, México, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, Vol. 15 (2), p. 132-144.
- Palerm-Viqueira, J., Pimentel-Equihua, J.L. y Sánchez-Rodríguez, M., 2001, Técnicas hidráulicas en México, paralelismos con el Viejo Mundo: II. Galerías Filtrantes (*qanats*). *II Encuentro sobre Historia y Medio Ambiente* 24 al 26 de octubre 2001, Huesca, España, p. 36.
- Rosas-Elguera, J.G., Nieto-Obregón, J. y Urrutia-Fucugauchi, J., 1993, Ambiente estructural en la frontera norte del Bloque Jalisco: En: L.A. Delgado-Argote y A. Martín-Barajas (eds.), *Contribuciones a la Tectónica de México, Monografía No.1 de la Unión Geofísica Mexicana*, p. 175-192.
- Rossotti, A., Ferrari, L., López-Martínez, M. y Rosas-Elguera, J.G., 2002, Geology of the boundary between the Sierra Madre Occidental and the Trans-Mexican Volcanic belt in the Guadalajara region, western Mexico, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, Vol. 19 (1), p. 1-15.
- Valdivia-Ornelas, L., Suárez-Plascencia, C., Saavedra de la Cruz, G., 1993, El relieve de Guadalajara asociado a los principales fenómenos naturales que causan riesgo, *Boletín Informativo del Departamento de Geografía*, N° 5-6, p. 6-20.
- Waitz, P. y Urbina, F., 1918, Reporte de los sismos ocurridos en la Ciudad de Guadalajara en 1912, *Instituto Geológico de México, UNAM*.