



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA  
Centro Universitario de Ciencias Sociales y Humanidades  
División de Estudios Históricos y Humanos  
Departamento de Geografía y Ordenación Territorial

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Amenazas por agrietamiento en el Valle de Tesislán

Año 8, Núm. 16

# GEOCALLI

Cuadernos de Geografía

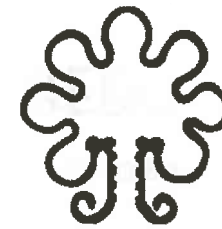
Amenazas por  
agrietamiento  
en el  
Valle de Tesislán



Año 8, Núm 16



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA  
Centro Universitario de  
Ciencias Sociales y Humanidades  
División de Estudios Históricos y Humanos  
Departamento de Geografía  
y Ordenación Territorial



*GEOCALLI*  
*CUADERNOS DE GEOGRAFIA*



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA  
CENTRO UNIVERSITARIO  
DE CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS HISTÓRICOS Y HUMANOS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA  
Y ORDENACIÓN TERRITORIAL

***Amenazas por agrietamiento  
en el Valle de Tesistán***

Septiembre de 2007  
Año 8, Núm. 16

D.R. © UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS  
SOCIALES Y HUMANIDADES

DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA Y ORDENACION TERRITORIAL

Av. de los Maestros y Mariano Bárcena.  
Zona Centro C.P. 44260  
Guadalajara, Jalisco, México

Impreso y hecho en México.  
Printed and made in Mexico

ISSN 1665-0875

*Geocalli Cuadernos de Geografía* está indizada en el Directorio de  
LATINDEX, Sistema Regional de Información en Línea para Revistas  
Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal.  
Consultar: <http://www.latindex.unam.mx>



# GEOCALLI

DIRECTORIO

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

RECTOR GENERAL

**Mtro. Carlos Briseño Torres**

VICE RECTOR

**Mtro. Gabriel Torres Espinoza**

SECRETARIO GENERAL

**Mtro. José Alfredo Peña Ramos**

CENTRO UNIVERSITARIO DE  
CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES

RECTOR DEL CENTRO

**Dr. Marco Antonio Cortés Guardado**

SECRETARIO ACADEMICO

**Dr. Nauhcatzin Bravo Aguilar**

SECRETARIO ADMINISTRATIVO

**Mtra. Gloria Angélica Hernández Obledo**

DIRECTOR DE LA DIVISION DE ESTUDIOS  
HISTORICOS Y HUMANOS

**Mtra. María de la O Castellanos Pinzón**

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA  
Y ORDENACION TERRITORIAL

**Dra. Bertha Márquez Azúa**





# GEOCALLI

## *DIRECTORAS*

**Mtra. Mercedes Arabela Chong Muñoz**

**Mtra. Lucía González Torreros**

## EDITOR

**Dr. Luis Martín Ulloa**

## CONSEJO EDITORIAL

**Dr. Luis Felipe Cabrales Barajas**  
Universidad de Guadalajara, México  
**Dr. Julio Muñoz Jiménez**  
Universidad Complutense de Madrid,  
España

**Dr. Miguel Angel Troitiño Vinuesa**  
Universidad Complutense de Madrid,  
España

**Dr. Luis Delgado Argote**  
CICESE, Ensenada, México

**Dr. Ángel Massiris Cabeza**  
Universidad Pedagógica y Tecnológica  
de Colombia

**Dr. Luis Chías Becerril**  
Instituto de Geografía, UNAM, México

**Dr. Omar Moncada Maya**  
Instituto de Geografía, UNAM, México

**Dr. David Robinson**  
Syracuse University, USA





**INDICE**

PRESENTACIÓN	9
ACERCA DE LOS AUTORES	11
LAS GRIETAS EN EL VALLE DE TESISTÁN, ZAPOPAN, JALISCO	13
ANTECEDENTES SOBRE EL ORIGEN DEL FENÓMENO	15
DATOS HISTÓRICOS DE LAS GRIETAS REGISTRADAS EN LA ZONA DE ESTUDIO	24
FACTORES FORMADORES DE LAS GRIETAS	33
CARACTERÍSTICAS DE LA GRIETA Y LA RELACIÓN CON EL SISTEMA DE FALLAS DOMINANTES EN LA ZONA DE ESTUDIO	41
ESTUDIOS GEOFÍSICOS	72
CONCLUSIONES	74
BIBLIOGRAFÍA	78
INFORMACIÓN PARA COLABORADORES	86

## PRESENTACIÓN

A través de los años la relación hombre - naturaleza ha cambiado; su concepción pasó del significado sagrado que le otorgaban los primeros pobladores del mundo con el fin de encontrar explicaciones que permitieran entender su funcionamiento, hasta la sociedad actual que parece haber perdido el respeto por la naturaleza, y cuyo reflejo más claro es la escasa significación al momento de decidir sobre el lugar en el que se habrán de construir sus viviendas.

***Amenazas por agrietamiento en el Valle de Tesistán, Zapopan, Jalisco*** pone de manifiesto la importancia que representan los procesos geomorfológicos en la conformación o estructuración del medio geográfico por un lado, y por otro, en la forma de ocupación del territorio por la población. La importancia de esta entrega radica en la postura de los autores respecto a los riesgos a los que se enfrenta la sociedad de las localidades de Nextipac y Santa Lucía en el Valle de Tesistán, municipio de Zapopan, pero sobretodo, por su gran utilidad para la socialización de esta problemática y por la oportunidad de generar conocimiento sobre esta situación específica, de manera que apoye la toma de decisiones por parte de las autoridades competentes.

El acelerado crecimiento de la mancha urbana del Área Metropolitana de Guadalajara sobre el municipio de Zapopan, ha repercutido recientemente en la explotación de los mantos acuíferos en la búsqueda del recurso necesario para cubrir la incesante demanda de agua potable.

La intensidad de las lluvias en el área y el tipo de suelo, producto del vulcanismo de la sierra de La Primavera, aunado a la ausencia de instrumentos de planeación y gestión de las administraciones municipales para dirigir el crecimiento urbano ordenado a través del tiempo, hacen visibles los riesgos a los que se enfrentan los habitantes del Valle de Tesislán. Las transformaciones productivas asociadas con los cambios en el uso del suelo -de agrícola a urbano- no han contemplado el impacto del comportamiento del subsuelo asociado a las condiciones climatológicas, principalmente las altas precipitaciones de la zona que presionan a la geomorfología del lugar y originan peligrosas grietas que hacen que el área no sea apta para uso habitacional.

Las Directoras  
Guadalajara, Jalisco, septiembre de 2007

## ACERCA DE LOS AUTORES

MARÍA DEL ROCÍO CASTILLO AJA (México, D.F. 1965)

Estudió la licenciatura en geografía y la maestría en Tecnologías de la Información en la Universidad de Guadalajara. Es miembro del personal académico del Departamento de Geografía y Ordenamiento Territorial de la Universidad de Guadalajara en donde imparte las materias de Fundamentos de Sistemas de Información Geográfica y Elaboración y Análisis de Mapas Temáticos. Desde hace 10 años trabaja en la línea de investigación Evaluación de Riesgos Naturales mediante Sistemas de Información Geográfica para la elaboración de Atlas de Riesgos. Ha participado como investigadora en los proyectos de Atlas de Riesgos para el municipio de Zapopan, Tlaquepaque y para el Atlas Estatal de Riesgos de Jalisco. También ha publicado artículos al respecto y participado en eventos académicos.

LUIS VALDIVIA ORNELAS (Teocaltiche, Jalisco. 1960)

Geógrafo por la Universidad de Guadalajara, estudió la maestría en Ciencias de la Tierra en la Universidad Autónoma de México, con especialidad en Geomorfología. Forma parte del personal académico del Departamento de Geografía y

Ordenación Territorial en donde se desempeña como profesor de las materias de Geografía de los Riesgos, Hidrografía e Hidrología y Morfoestructuras. Ha sido responsable de proyectos de investigación relacionados con la elaboración de Atlas de Riesgos para los municipios de Zapopan y Tlaquepaque y, recientemente, del Atlas Estatal de Riesgos de Jalisco. Desde hace 15 años su temática de estudio ha estado relacionada con los riesgos, la geomorfología y la geografía, de los que ha publicado artículos y participado en congresos. Ha formado parte de comités técnicos para la dictaminación y estudio de problemáticas concretas relacionadas con inundaciones, agrietamientos y hundimientos. Recibió el premio a la Vinculación Universidad-Sociedad 2007, Categoría: Vinculación con el Sector Público, con el proyecto "Los Atlas de Riesgos: caso municipio de Zapopan".

## LAS GRIETAS EN EL VALLE DE TESISTAN, ZAPOPAN, JALISCO.

Luis Valdivia Ornelas  
María del Rocío Castillo Aja

### Resumen

En un período de tres meses del año 2004 se formaron dos grietas en las inmediaciones de los poblados de Nextipac y Santa Lucía (en la porción poniente del Valle de Tesistán), de manera repentina durante una fuerte tormenta. La mayor tuvo una longitud de 1,011 m., profundidad de 12 m y anchura variable que iba desde algunos centímetros hasta 8 m. En la primera semana de junio de 2006 se reactivaron dos segmentos de tales grietas y surgieron dos nuevas, aunque de menor dimensión. El estudio del comportamiento del subsuelo en el Valle de Tesistán es fundamental para conocer el impacto que puede generar el cambio en el uso del suelo en el proceso de formación de grietas, así como el nivel de peligrosidad que puede representar para los asentamientos humanos, ante la fuerte presión por urbanizar la zona. El artículo presenta un recuento histórico del fenómeno de agrietamiento en el Valle de Tesistán. Se plantea un par de modelos explicativos y se concluye que el proceso se comporta como un sistema complejo, dinámico y multifactorial, en donde intervienen procesos geomorfológicos, condiciones geológicas y climatológicas en combinación con la actividad humana para extracción de agua y urbanización.

**Abstract**

In 2004, in a period of three months, suddenly two cracks were formed during a strong storm in the vicinity of the settlements of Nextipac and Santa Lucia (in the western portion of the Valley of Tesisitan). The largest was 1,011 m. long, with a depth of 12 meters and a width from a few centimeters to 8 meters. In the first week of 2006 two segments of these caves reactivated and two new, though smaller, ones appeared. The study of the behavior of the subsoil of the Valley of Tesisitan is fundamental to understand the impact that changes in land use could generate in the formation of caves, as well as the level of danger that it could hold for human settlements, faced with the strong pressure to urbanize the zone. The article presents a historical account of the phenomenon of cave-formation in the Tesisitán Valley. Two explanatory models are offered and the analysis concludes that the process proceeds via a complex, dynamic and multi-factor system, in which geomorphological processes, geological and climatological conditions, combine with human activity related to the extraction of water and urbanization.

**Palabras clave/Key words**

Grietas, amenazas, Tesisitán/ cracks, hazards, Tesisitan

**1. Antecedentes sobre el origen del fenómeno.**

Nabor Carrillo (SMMS, 1991:1) estudió por primera vez el fenómeno de agrietamientos en México, a partir de los hundimientos en el Valle de México y la formación de grietas en el Vaso de Texcoco, pero debido a que tal fenómeno no continuó en el Vaso el tema quedó en el olvido. De acuerdo con Antonio Aguilar Pérez (et al., 2006:248), a partir de la extracción de agua que se inició a mediados del siglo XIX e intensificó en la década de los cincuenta, se incrementó la tasa de hundimiento, que alcanzó 0.5 m/año en el centro de la Ciudad de México. En la década de los sesenta, especialistas en mecánica de suelos como Marsal y Manzari (ibid.:249) elaboraron los primeros estudios que abordaron los problemas de hundimientos en viviendas en el fraccionamiento Echegaray, municipio de Naucalpan de Juárez, e identificaron que los daños se marcaban a lo largo de una línea de hundimiento preferencial. Pero dichos estudios no continuaron debido a la falta de financiamiento.

En 1970 empezaron a registrarse grietas en el Alto Lerma, coincidiendo con la operación de alrededor de 90 nuevos pozos del Departamento del Distrito Federal. En la zona de Ixtlahuaca se registró una grieta enorme que afectó a la infraestructura hidráulica, como bordos, presas, además de caminos. A finales de los ochenta y principios de los noventa se incrementaron los estudios sobre el



tema, entre estos podemos citar a Zoltan de Cserna (et al., 1987) y José Lugo Hubp (et al., 1991 y 1995).

En los años noventa el problema de los hundimientos y agrietamientos se generalizó y comenzó a haber afectaciones en el Bajío Guanajuatense y en la Cuenca de México, en ciudades como Aguascalientes, Morelia, Querétaro, Irapuato y Celaya. También en poblaciones del interior del estado de Jalisco, particularmente en Ameca, y en menor medida en la cabecera municipal de Chapala y en Zacoalco, Ciudad Guzmán y Jocotepec. Ante esta situación, es importante comprender el origen de los agrietamientos con el objeto de poder discriminar las zonas más propensas a presentar este tipo de fenómeno.

Durante los últimos 75 años se han registrado una serie de agrietamientos de diversas dimensiones en el Valle de Tesistán. Su origen se ha asociado con un conjunto de variables, que van desde la presencia de túneles hechos por el hombre (galerías filtrantes), pasando por fallas activas, hasta la extracción de agua del acuífero regional. Más recientemente (2004 y 2006) se está presentando un aparente incremento de su recurrencia, por lo que se considera necesaria la realización de estudios que permitan establecer políticas encaminadas a mitigar la problemática mediante el control del crecimiento urbano y una adecuada política de gestión territorial.

## 2. Galerías artificiales

El registro de nuevos agrietamientos en el 2004 activó la polémica en torno a su origen. En la década de los ochenta, en un período de ocho años se presentaron dos eventos de agrietamiento, lo que propició una discusión pública en torno al origen del fenómeno. La discusión se dio entonces casi en los mismos términos en los que se presenta actualmente<sup>1</sup>.

Se ha sugerido que las grietas corresponden con antiguos túneles hechos por el hombre, obras de ingeniería comunes debido a las condiciones geológicas del Valle de Tesistán y en general de toda el Área Metropolitana de Guadalajara, así como en otros puntos del estado como Etzatlán y Ahualulco. La realización de estas obras responde a circunstancias muy específicas. A continuación se presenta un inventario de las galerías filtrantes identificadas en la zona de estudio.

A principios del siglo XX se realizaron diferentes obras de ingeniería con el objeto de captar agua para las actividades agrícolas y para uso humano. La edad de estas

<sup>1</sup>El Profesor Pablo G. Franco, ex director del Instituto de Astronomía y Meteorología de la Universidad de Guadalajara, al hablar de la grieta que se abrió en Residencial Poniente en 1978, mencionó que "el origen de las grietas está relacionado con las corrientes de agua y que queda descartado un origen telúrico. Menciona que el origen de las barrancas en esa zona está relacionado con la presencia de este tipo de grietas. Concluye que esa zona no es apta para construir fraccionamientos ya que la naturaleza del terreno y las aguas subterráneas tienden a provocar hundimientos". (El Informador, 1978a).

galerías, de acuerdo con los estudios que se han realizado (Palerm et al., 2001: 21-22), corresponde probablemente con el período de 1890-1920. Hoy en día se tienen registradas las galerías que a continuación se consignan en las inmediaciones de la Zona Metropolitana de Guadalajara.

#### *Galería de La Venta del Astillero<sup>2</sup>*

Formada por dos ramales principales, el sistema alcanza una longitud de más de 8 kms y se dirige a la zona del piedemonte del Cerro El Tepopote. El agua supuestamente fue utilizada para beber y para aprovisionar a las enormes cantidades de animales que se transportaban por ese paso, a través de la Sierra de la Primavera, llevando mercancías entre Guadalajara y los puntos al oeste (Beekman et al., 1995:159).

#### *Galerías de la fábrica La Escoba*

En varias zonas de Tesistán, particularmente en las inmediaciones de las haciendas y ranchos, se han identificado sistemas filtrantes construidos con objeto de recoger agua para uso agrícola. En la fábrica de La Escoba se puede observar un tramo de unos 500 m de una galería, que se dispone paralelamente al cauce del Arroyo Blanco.

<sup>2</sup>De acuerdo con Christopher S. Beekman (2000:159), la galería constituye un *Quant* término árabe que literalmente significa lanza o conducto, en México se denominan galerías filtrantes, en La Venta del Astillero se denominan *pozería* (sic).

*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. En parte se utilizaron para llevar agua al balneario "El Profundo" localizado a una cuadra de la basílica. En las inmediaciones de la colonia La Tuzanía también se han identificado algunos túneles artificiales los cuales siguen funcionando como galerías.

#### *Galerías de Santa Margarita*

Sobre el borde de la barranca Coyotes, donde se ubica el edificio de Pensiones del Estado, se han identificado por lo menos dos secciones de galerías filtrantes, actualmente completamente destruidas.

#### *Galerías de Vallarta y Periférico*

De acuerdo con Beeckman (1995:160), estas galerías actualmente se encuentran destruidas.

#### *Galería de Santa Lucía*

Se ha identificado la existencia de por lo menos una galería que conducía agua a la ex-hacienda de Santa Lucía, proveniente del norponiente del valle. El objeto era captar el agua de una noria y conducirla a las instalaciones de la ex hacienda. Tiene una longitud aproximada de 500 m.

*Galerías en la zona del Rancho La Gotera-Las Palomas*

Se tienen referencias de que estos ranchos contaban con un sistema de galerías filtrantes (Beekman, 1995:157; 2000:444), de ahí el nombre de La Gotera, las cuales se dirigen hacia la zona de El Húmedo (Santa Lucía). No se cuenta con mayores datos sobre sus características, ubicación y funcionamiento.

*Galería del Rancho de San Juan Jocotán  
(zona de Ciudad Granja)*

Mediante fotografía aérea se identificó una galería filtrante, la cual corría en sentido NW-SE, de aproximadamente 400 m de longitud, actualmente parcialmente destruida.

### **2.1 Ubicación de las galerías filtrantes en la zona del valle.**

Existen dos ubicaciones para las galerías: la "clásica" en abanicos aluviales, y una segunda, a lo largo del lecho de los arroyos. En las inmediaciones del Valle de Tesistán, se identificaron los siguientes criterios geomorfológicos que se siguieron para el emplazamiento de las galerías:

- Cabeceras de las barrancas (zona del Trompo Mágico).
- Margen suroriental de las barrancas principales, se dispone con objeto de captar el flujo hipodérmico proveniente de la zona de La Primavera (zona de Pensiones).
- A lo largo de los cauces principales (fábrica de La Escoba).
- En zonas donde existe un cierto desnivel topográfico que permite, por gravedad, el movimiento del agua (La Gotera a El Húmedo).
- En piedemontes volcánicos (Venta del Astillero, Santa Lucía).
- En zonas de manantiales (norias) para conducir agua (ex hacienda de Santa Lucía).

Por lo tanto, la distribución espacial de las galerías obedece a condiciones geomorfológicas y topográficas precisas, y fueron construidas para captar agua o conducirla, particularmente a los ranchos de La Gotera, la ex hacienda de Santa Lucía y la fábrica de La Escoba.



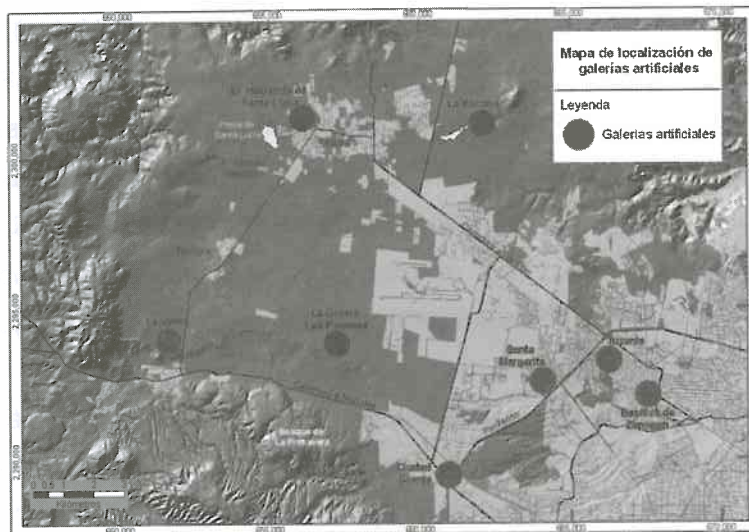


Fig. 1  
Ubicación de algunos sistemas de galerías artificiales  
en el Valle de Tesisán.

## 2.2 Funcionamiento de las galerías

De acuerdo con Jacinto Palerm Viqueira (2001:21), el funcionamiento de las galerías se da de manera que el agua se infiltra tanto en el techo como en los costados del túnel. Sin embargo, para otros autores, también puede funcionar como un acueducto subterráneo que conduce el agua al pozo madre. En el primer caso, cuando se da filtración es una técnica de captación y de conducción subterránea del agua hasta salir a la superficie; en el segundo solamente

es una técnica de conducción subterránea de agua hasta salir a la superficie. En la zona de estudio las galerías tienen las dos funciones: aquellas localizadas en La Venta del Astillero, La Gotera y Santa Margarita, son filtrantes; mientras que en la zona de los manantiales de El Barreno y El Chochocate las galerías principales tienen como objeto alimentar el agua a las albercas del Parque Colomos.

## 2.3 Tecnología de construcción

La forma de construcción está bien documentada, particularmente para aquellas galerías ubicadas en abanicos aluviales. La técnica consiste en realizar un pozo a distancias iguales en la superficie, denominado tiro, y a partir de estos tiros se cava lateralmente en sentido opuesto.



Fig. 2 Galería filtrante en La Tuzanía

### 3. Datos históricos de las grietas registradas en la zona de estudio

El primer referente histórico que se tiene de la presencia de este tipo de grietas naturales se remonta hasta principios del siglo XX, en un informe presentado por Waits y Urbina (1918:8) con motivo de los sismos registrados durante 1912 en la ciudad de Guadalajara. Allí hacían mención de "una grieta que se formó en las inmediaciones de una barranquita, la cual afectó las vías del camino que conducía del poblado de Mezquitán a la colonia Los Obreros Católicos" (colonia actualmente denominada Guadalupana), y la relacionaron con la presencia de un manantial.

#### *Grieta "Falla Ordóñez"*

La 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 Severo Díaz (1984:74) que surgió después de una lluvia muy intensa, bautizándola como "Falla Ordóñez"<sup>3</sup>, ya que asoció este fenómeno con los intensos sismos que se presentaron algunos años antes. Al tercer año la grieta aparentemente desapareció sin dejar rastro, debido a la erosión de sus bordes y por el relleno que realizaron los campesinos de la zona.

<sup>3</sup> En honor al ex director del Instituto de Geología de la UNAM.

#### *Grieta de la Base Aérea*

Se tiene una referencia de un evento de agrietamiento en las inmediaciones de la Base Área núm. 5, a mediados de los años 1960; no se tienen mayores datos.

#### *Grieta de Santa Margarita*

Se tiene referencia (gracias a información del señor Francisco Hernández Rosales, habitante del poblado de Nextipac), de una grieta en la década de los años veinte en las inmediaciones del rancho de La Tuzanía. La ubicación actual probablemente corresponda con una grieta que se encuentra en la colonia Santa Margarita, en la calle Papagayo. En octubre de 2005 varias fincas se vieron afectadas por el hundimiento de uno de sus segmentos, de una longitud aproximadamente de 500 m. La mayor parte se encuentra urbanizada y las viviendas asentadas sobre ella tienen problemas de hundimientos y agrietamientos, así como constante fugas del sistema de agua potable.

#### *Grietas Arroyo La Campana (Valle Real)*

Se han identificado por lo menos dos galerías que se localizan en las inmediaciones del fraccionamiento Valle Real. La primera se identificó por recorrido de campo: es pequeña (no más de 50 m de longitud) y su techo se encuentra parcialmente colapsado, es poco activa y tiene una profundidad de 3 m. Se manifiesta en superficie como



una pequeña fisura, en donde se alinea un conjunto de depresiones que marcan una dirección preferencial; no se tiene la fecha de formación. La segunda se identificó a través de la fotointerpretación de fotografías aéreas a color (INEGI, 1971). Corresponde con un par de barranquitas separadas de la cabecera de la barranca principal, orientadas E-W y N-S, lo que hacía que se intersectaran. De acuerdo con la información reportada por el periódico El Informador (1978a), estas grietas se formaron en 1918. Probablemente algún segmento corresponda con la grieta "Falla Ordóñez".

#### Grieta de El Bajío

En 1970 se registró en la zona de El Bajío una grieta que afectó cultivos de temporal que a través de los años desapareció. De acuerdo con los lugareños, se formó en la desembocadura del arroyo Boca de la Arena.

#### Grietas en Arcos de Zapopan

A partir de la interpretación de fotografía aérea (INEGI, 1971), se identificaron un par de estructuras que probablemente correspondan con grietas naturales. Se encontraban cerca al entronque de la carretera Tesistán con el Periférico. Son grietas cortas que forman barranquitas, con una disposición rectilínea y una con orientación conjugada O-E y N-S.

#### Grietas de Las Palomas-Camino a La Mojonera

En el año de 1974 se registró una grieta<sup>4</sup> entre las localidades de Nextipac y Las Palomas, con una orientación NW-SE, y una longitud aproximada de 1 km. En junio del 2006 se reactivó un segmento de 100 m.



Fig.3

Nota sobre el crecimiento de la grieta formada en Residencial Poniente. (El Informador, 1978)

#### Grieta de La Tuzanía (Residencial Poniente)

En el periódico El Informador (1978a) se tiene registrada la formación de una grieta de más de 500 m de longitud por 3 a 5 m de ancho, y 8 m de profundidad. Se menciona en el reportaje que se formó durante una intensa tormenta.

<sup>4</sup> Información aportada también por el Sr. Francisco Hernández Rosales

posteriormente se rellenó, para continuar urbanizando la zona<sup>5</sup>.



Fig. 4

Grieta que se formó en las inmediaciones de Residencial Poniente y Valle Real (El Informador, 1978a.)

### Galerías de El Húmedo<sup>6</sup>

En el año 2003 aproximadamente a unos 300 m del poblado de Tesistán, cerca de la ribera sur del Río Blanco surgió una grieta con una orientación NNW-SSE, de

<sup>5</sup> De acuerdo con el ingeniero Cuauhtémoc Ruiz Gaytán, subdirector de Verificación de la Dirección de Obras Públicas del Ayuntamiento de Zapopan, parte de este segmento se activó en 1995, y hundió parcialmente una vivienda.

<sup>6</sup> Información del Sr. Francisco Hernández Rosales

aproximadamente unos 50 m de longitud por 4 m de profundidad. Se formó durante la época de lluvias, y comentaron las personas entrevistadas que viven en la zona "que posteriormente se rellenó y, ya no se ha vuelto a abrir".

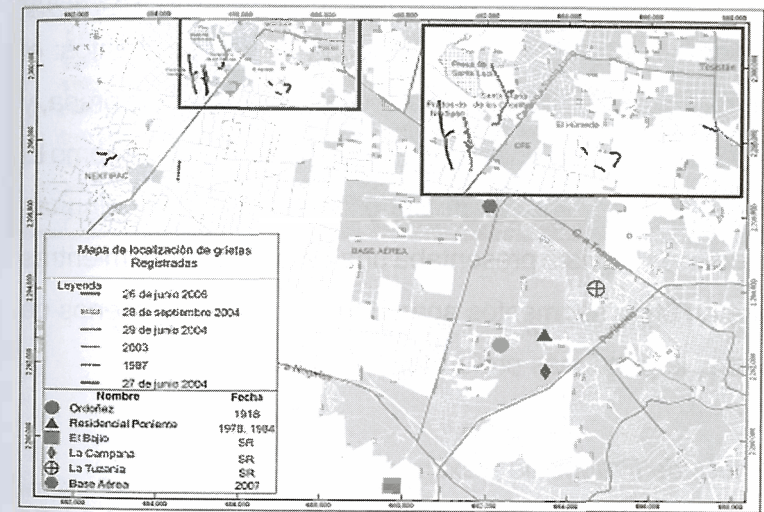


Fig. 5

Ubicación de las grietas registradas desde el año de 1918 hasta la fecha



## GRIETAS EN LA ZONA DE PRADOS DE NEXTIPAC-SANTA LUCÍA

### *Grieta de Santa Lucía*

Después de una intensa tormenta ocurrida en agosto de 1988, se formó una grieta con orientación SSW-NNE, y longitud superior a los 2 km. Estaba dividida en dos segmentos: el primero se localizó en la zona cercana al bordo de la presa, y el segundo en las inmediaciones de la zona conocida como El Huizache, a 1 km del poblado de Nextipac. En algunas secciones la grieta presentaba una anchura de 5 m, mientras que en otros segmentos aparecía como fisura de menos de 5 cm.; la parte más profunda alcanzó los 12 m.

### *Grieta de Prados de Nextipac*

En el mes de junio de 2004 se formó una grieta de 1.1 kms de longitud con una profundidad máxima de 12 m y anchura de 7 m. La disposición fue en sentido NNW-SSE. Se formó durante una intensa tormenta que anegó la zona.

### *Grieta de Septiembre de 2004*

Aproximadamente a unos 300 metros de la grieta formada en junio, en septiembre del mismo año, se formó otra grieta e menores dimensiones que la anterior, con similar orientación.

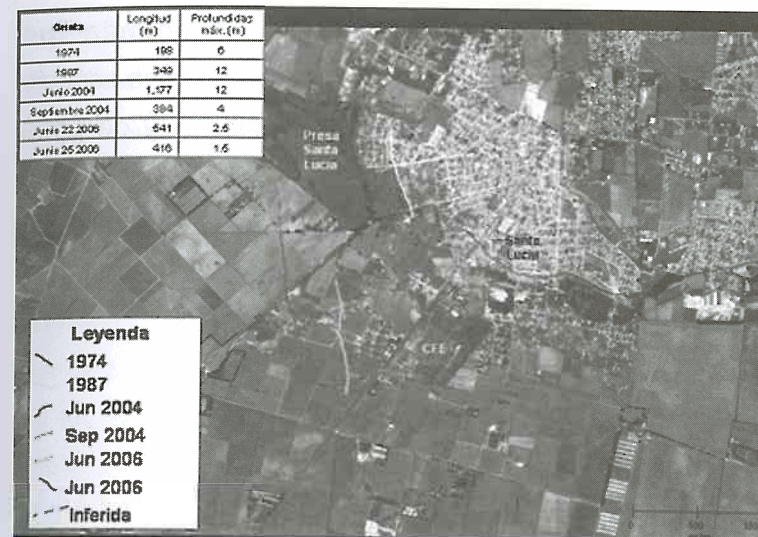


Fig. 6  
Grietas en el sector de Santa Lucía-Las Palomas

### *Grieta de Junio 2006*

Corresponde con la activación del segmento sur de la grieta de septiembre del 2004. La longitud medida fue de 617 m, la mayor profundidad fue de 6 m, y una anchura variable desde algunos centímetros hasta 3 mts.

### *Grietas de Las Palomas*

En el mes de junio del 2006 se formaron dos grietas. La primera tuvo la misma dirección que la de Prados de Nextipac y Santa Lucía, su longitud fue de aproximadamente

100 m. Mientras que el trazo de la segunda fue completamente diferente ya que se dispuso en una especie de círculo, la longitud medida fue de 400 m, y de poca profundidad.



Fig. 7  
Grieta formada en 2004,  
la cual se reactivó en junio del 2006

#### *Grieta de la Base Aérea*

El viernes 24 de agosto de 2007, dentro de las instalaciones de la Base Aérea Militar en la porción oriente, se registró un hundimiento de 2m<sup>2</sup> por 3m de profundidad aproximadamente. Al hacer la exploración se pudo observar

la presencia de una oquedad lateral de 15m de longitud por 2m de altura. La grieta se encuentra a 30m del antiguo camino a Tesistán.

#### **4. Factores formadores de las grietas**

En la literatura científica a nivel mundial, el estudio de la formación de grietas relacionadas con la subsidencia se registra por primera vez con Rappley y Tibbets (Polland, 1969), en la zona del Valle de San Joaquín, California. Los primeros estudios en nuestro país se hicieron en el valle de México, por investigadores como Zoltan de Cserna (et al., 1987), Germán Efraín Figueroa-Vega (1989), Sandoval y Bartlett (1991), Candelaria Trujillo (1991) y Orozco M., Figueroa G. (1991), así como José Lugo Hubp (et al., 1991 y 1995), entre otros.

Básicamente los argumentos que sostienen son los siguientes:

- Las grietas no son sísmicas
- Aparecen en zonas de hundimientos
- Se presentan durante la época de lluvias
- La ubicación responde preferentemente con la configuración del basamento
- Los hundimientos y agrietamientos sólo son dos etapas del mismo fenómeno de subsidencia
- Se vinculan con la extracción de agua del acuífero.

En la zona de estudio se cuenta con pocos trabajos. De estos tenemos los de Luis Valdivia (et al., 2006), en donde se considera que el origen del fenómeno está relacionado con el proceso conocido como *piping*.<sup>1</sup> Además se describe la grieta que se formó el 29 de junio del 2004, y se dan algunas fechas en que se han registrado agrietamientos. Se considera que, en el origen de las grietas en el valle de Tesistán participan por lo menos dos factores: el primero tiene que ver con el *piping*; y el segundo con aspectos de subsidencia debido a la pérdida de volumen de la secuencia geológica del valle, debido a la extracción del agua.

#### 4.1 La extracción del agua del acuífero regional (pérdida de volumen)

Los primeros que relacionaron la subsidencia con el concepto de deformación estructural elástica fueron Meinzer (Poland, 1984:38) y Terzaghi (1925) y explícitamente Jacob (Poland, 1984:39). El concepto que utilizó fue el de poroelasticidad, pero este concepto requería que el suelo se comportara como un sólido elástico. Los sedimentos saturados no actúan o se comportan elásticamente, además de que no se toma en cuenta la compresión secundaria, es decir, la que se da posteriormente al proceso de sedimentación. Se le consideraba a esta variable como

<sup>1</sup> Los términos *piping* y *sufusión* son sinónimos. Ver explicación en apartado 4.3.

un dato de carácter cualitativo. A partir de ello, Corapcioglu (1983:69) propuso el concepto de poroviscosidad para superar las deficiencias de la teoría lineal elástica. La teoría de la poroviscosidad menciona que el material clástico y arcilloso sujeto a deformación causado por un flujo de agua en sedimentos saturados, es un fluido viscoso de comportamiento no lineal.

La poroviscosidad requiere sólo un coeficiente de índole constante durante el experimento de deformación. Sagaseta (1987:305), trabajó sobre la pérdida volumétrica en un medio semi-infinito, a partir del cual es posible calcular los desplazamientos y deformaciones generados por la pérdida de volumen. De acuerdo con Cooke (1993:87) la compactación de los sedimentos y la subsidencia es proporcional al espesor y la compresibilidad de los sedimentos. Si continúa la extracción, se presenta un aumento de los esfuerzos en el paquete que de acuerdo con Ochoa González (2006) se relacionan con la variable de preconsolidación natural de los sedimentos:

“Cuando un sistema granular se compacta debido a una reducción del volumen del agua de poro experimenta una reducción en su capacidad para almacenar agua ya que su porosidad se reduce. Al fenómeno de reducción de volumen por desplazamiento de agua se le denomina consolidación y se presenta principalmente en lentes arcillosos que confinan o se encuentran dentro de unidades



acuíferas. Durante el proceso de consolidación se puede apreciar un tramo inicial con cierta pendiente en el comportamiento esfuerzo deformación, al pasar cierto esfuerzo esta pendiente se incrementa deformándose más para un mismo incremento de carga. El punto donde se da el cambio de pendiente se denomina punto de cadencia y depende de la historia de carga de cada material. Una vez sobrepasada la carga de cadencia la deformación se vuelve irreversible y representa una reducción en la porosidad del material y por lo tanto una reducción de la permeabilidad y de la capacidad de almacenamiento de fluidos. Igualmente en una secuencia sedimentaria granular, cuando se abaten los niveles piezométricos por debajo de los niveles alcanzados anteriormente se produce una deformación mayor por cada unidad de aumento de los esfuerzos además de un cambio permanente en sus propiedades”.

De acuerdo con Lui Chen-Wing (2006:509) una variable que no se ha considerado completamente en el problema de la compactación de los sedimentos, como consecuencia de los hundimientos en zonas donde existen acuíferos someros, es que un porcentaje de los hundimientos está asociado a la deshidratación de la esmectita. Recientemente Aguilar Pérez (et al., 2006;248) realizó una investigación sobre analizar conjuntamente la evolución del comportamiento hidráulico y las propiedades geomecánicas del acuífero, en la cual el área estudiada fue

el Peñón del Márquez, localizado al sureste de la Ciudad de México. En sus conclusiones explica que los parámetros que explican mejor el fenómeno de subsidencia corresponden en el caso del acuífero libre con el coeficiente de consolidación, la transmisividad y el módulo de rigidez del corte. Para el acuífero que subyace a los sedimentos lacustres las variables más importantes son la conductividad hidráulica y la compresibilidad del acuitardo. Considerando estos parámetros, realizó una predicción al año 2025, en donde cuantificó una deformación adicional de 2 m para el acuífero volcánico y 4 m para la zona lacustre.

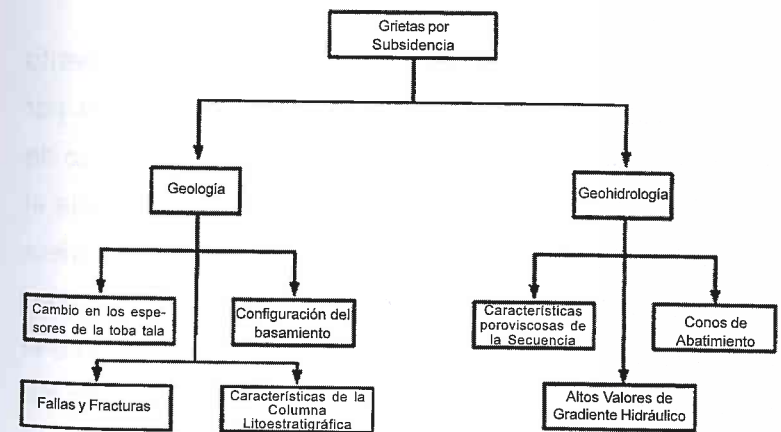


Fig.8

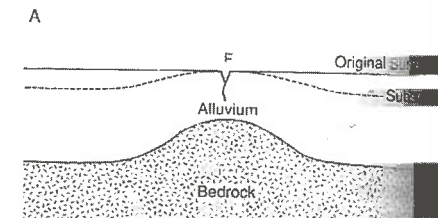
Esquema de las variables involucradas por subsidencia.

Los agrietamientos en la zona de Nextipac coinciden con zonas irregulares del lecho rocoso (basamento), y en donde cambia abruptamente el espesor de la Toba, por lo que, se considera de acuerdo con Arzate (2006) que es fundamental identificar esas irregularidades para definir zonas potencialmente generadoras de grietas.

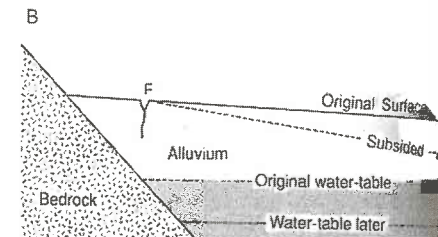
#### 4.2 Modelos conceptuales de generación de grietas

De acuerdo con Cooke (1993:87), en ciertas circunstancias la subsidencia pueden estar acompañada por agrietamientos, que puede llegar a la formación de grandes fisuras. Éstas inician por la tensión cracking, que se incrementa por el piping, hasta que afloran en superficie, tienen un desarrollo subaéreo.

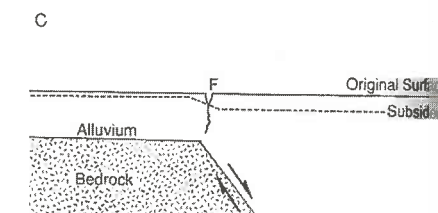
Existen tres condiciones particulares de un basamento incompresible para que se puedan presentar grietas por fenómeno de subsidencia, por localización a) a lo largo de los puntos de inflexión, sobre el punto en donde existía el nivel original del acuífero; b) en una cima cónica, la grieta aparece a lo largo de la línea principal de inflexión; y c) en un borde de talud, en donde cambia considerablemente el espesor del paquete debido a cambios en la geometría del basamento incompresible, es decir cuando cambia abruptamente el grosor del paquete deformable.



A. Grietas por subsidencia en la zona, inflexión del paquete superficial.



B. Grietas forma en la cima de una de mayor elevación cónica del basamento.



C. Grietas en el borde de un talud.

Fig. 9

Diferentes condiciones del basamento y la relación con la presencia grietas (Cooke, 1993:88)

### 4.3 Modelo de la sufosión (piping)

Al considerar las características de las grietas en el valle de Tesistán, se distinguen una serie de rasgos que hacen pensar que el fenómeno es más complejo, y no sólo una subsidencia asociada con extracción de agua del acuífero. En algunas secciones de la grieta se observan cavidades de diverso tamaño, lo que sugiere la participación de otro proceso. El fenómeno está vinculado con lo que, en geomorfología se conoce como piping, que se traduce como sufosión, y corresponde con la erosión del agua subsuperficial en horizontes no consolidados. Las variables presentes en la sufosión son las siguientes:

- Suelos altamente susceptibles a generar macroporos (granulares), generalmente en materiales poco consolidados, con una alta variabilidad vertical (granulometría)
- Suficiente permeabilidad horizontal
- Gradientes hidráulicos significativos
- Nivel somero de agua freática
- Zonas de debilidad asociadas con fallas o fracturas
- Lluvias intensas que saturan y alimenten rápidamente los conductos y ocasionen fuertes presiones hidrostáticas de manera súbita.

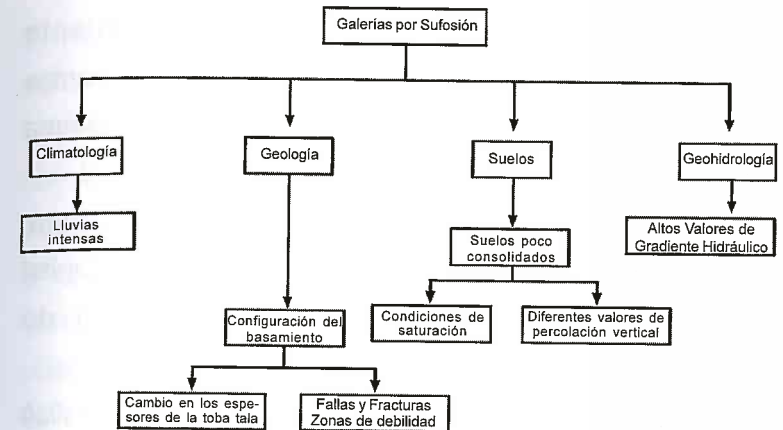


Fig.10

Esquema de las variables involucradas por sufosión

### 5. Características de la grieta y la relación con el sistema de fallas dominantes en la zona de estudio.

Uno de los rasgos morfológicos más importantes de las grietas estudiadas es su disposición rectilínea. Esto nos hace suponer que existe un control estructural asociado con sistemas de fracturamiento presentes en el paquete pumítico, los cuales pueden ser el reflejo de estructuras que se encuentran a mayor profundidad, y que están determinando la configuración del basamento de la secuencia pumítica (Toba Tala).

Las estructuras regionales claramente marcadas en la Sierra de Tesistán, conforman una estructura compleja con



una gran cantidad de sistemas de fracturamiento identificados, así como de formas anulares. Los dominantes son el sistema de fallas de la Fosa de Tepic, y el sistema de fallas de la provincia de la Sierra Madre Occidental.

Los rasgos estructurales se obtuvieron de trabajos anteriores y a partir de la interpretación del Modelo Digital de Elevación, y complementado con trabajo de microtectónica (trabajo de campo).

La identificación y trazo de morfolineamientos se realizó mediante el sombreado del Modelo Digital de Elevación aplicando cinco diferentes orientaciones de la fuente de luz. Se encontró que existen varios sistemas de fractura predominante y un conjunto de estructuras anulares, lo que implica una alta complejidad tectónica de la zona. El sistema de fractura más notorio lo representa, tanto la disposición de la barranca del Río Grande del Santiago, como las barrancas secundarias (La Soledad, San Lorenzo). Los principales sistemas identificados son:

- N10°S
- NW50°
- E-W
- NE65°

Los sistemas N10°S y NW50° corresponden con la orientación principal, relacionada con el sistema de fallamiento de la Fosa de Tepic. En la Sierra de Tesistán se muestra claramente mediante la disposición de los bordes

principales de la caldera y la disposición de los escurrimientos, particularmente del cauce del arroyo San Lorenzo. La estructura serrana más fracturada corresponde con los dos domos de La Coronilla y con la parte alta del cauce de San Lorenzo. La tercera zona con alto valor de fracturamiento corresponde con el domo de El Chicharrón (al norte de la zona de estudio), es una de las zonas más jóvenes, allí el fracturamiento tiene una orientación NE60°. En la Sierra de La Primavera, en el área de los sedimentos lacustres y la Mesa del Nejahuete se han encontrado la mayor cantidad de fracturas.

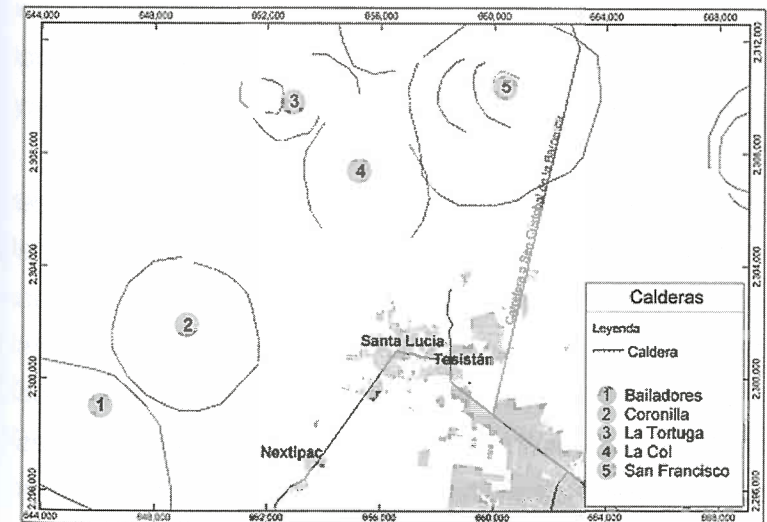


Fig. 11  
Principales estructuras anulares cercanas  
a la zona del Valle de Tesistán

La serranía de San Esteban está vinculada con densos sistemas de fractura de materiales de naturaleza riolítica. En la planicie de Tesistán, en su sección norte, se puede observar la presencia de lineamientos que poseen una dirección similar a la de las grietas, cortan la planicie y se internan en la zona del arroyo San Lorenzo. La dirección N65° E, aunque en longitud no es significativa en la zona de estudio, corresponde con un sistema activo de fallamiento que está marcado en la zona de la sierra de Huaxtla (al norte). Los sismos de San Cristóbal de la Barranca en 1875 generaron grietas con la misma orientación. Las grietas presentan tres orientaciones preferenciales: sentido N20°W, N10°W y N70°E. Se han encontrado otras orientaciones de menor longitud, con disposición N70°E. Esta orientación está asociada con las grietas que se formaron durante el sismo de 1875 en San Cristóbal de La Barranca.

El primer sistema coincide con el sistema de fracturamiento general de la zona. Se ha observado una relación entre la orientación del sistema de fracturas identificados en el valle, las estructuras geológicas circundantes y la orientación de los pozos. Con estos criterios se pudo reconocer que existen sistemas de fallas que no tienen expresión superficial, pero que controlan los cambios en el espesor de la Toba Tala, ya que determinan la geometría del basamento. En estas zonas de cambio de los espesores se marcan zonas de debilidad; parte de la

disposición del sistema de los pozos del SIAPA manifiesta este control tectónico.

### 5.1 Unidades estratigráficas mayores

Una de las variables más importantes involucradas en la génesis de las grietas son las características geológicas de la zona de estudio, particularmente del material volcánico que rellenó el valle. A continuación se hace una descripción pormenorizada de las secuencias geológicas encontradas. Para el análisis en este apartado se recurrió principalmente a la información generada por el SIAPA (2002), la interpretación de fotografías aéreas, y los trabajos de Rosas Elguera (1996: 921-924) y Rossotti (2002: 1-15). Así mismo los de Valdivia (et al., 2004: 1-120) para el contexto geológico y estratigráfico regional.

Los grupos estratigráficos principales son los siguientes: grupo El Río Santiago, el grupo Guadalajara Inferior, el grupo Guadalajara Superior, vulcanismo bimodal emplazado al sur y suroeste de la cuenca de Toluquilla, las rocas máficas del Cinturón Volcánico del Sur de Guadalajara, y los productos volcánicos félsicos de la Caldera "La Primavera". Las ocho unidades estratigráficas mayores reconocidas en el área de estudio <sup>7</sup> desde la más antigua hasta la más reciente son:

<sup>7</sup>Estudio de actualización geohidrológica del Valle de Tesistán, Guadalajara y Toluquilla (SIAPA, 2002).



1. Grupo Río Santiago: corresponde con flujos de basalto y andesita basáltica, con intercalaciones menores de tobas soldadas en la base y ceniza y lapilli pumicítico en la cima.
2. Grupo Guadalajara Inferior: flujos, domos y brechas de composición riolítica e ignimbritas.
3. Grupo Guadalajara Superior: ignimbrita, basaltos con intercalaciones de material volcanoclástico y domos riolíticos y material piroclástico, lapilli y escoria basáltica.
4. Lavas máficas cubiertas por flujos de riodacita.
5. Conos cinerfíticos, flujos de lavas, flujos piroclásticos, pómez, diques, brechas y escoria de composición basáltica y andesítica.
6. Toba Tala: Tobas de caída libre, lapilli y flujos de ceniza, y pómez de caída.
7. Domos riolíticos y flujos de lava félsica y vidrio volcánico.
8. Depósitos aluviales.

### Grupo Río Santiago

El grupo Río Santiago, de acuerdo con el SIAPA (2002), es la unidad litológica de mayor espesor y extensión. Aflora a lo largo del cañón del río Grande de Santiago. Se compone de material volcánico máfico, integrado por coladas de basalto y andesita-basáltica e intercalaciones menores de tobas poco soldadas, en la base y flujos de ceniza, y lapilli en la cima. En este grupo están consideradas las siguientes

unidades litológicas: toba San Cristóbal (10.17 Ma), basalto San Cristóbal (11.0 a 8.5 Ma), toba Los Caballos (~ 8.0 Ma) y basalto Arroyo Mezcala (7.5 Ma). Las unidades y edades radiométricas fueron documentadas por Rossotti (et al., 2002:12).

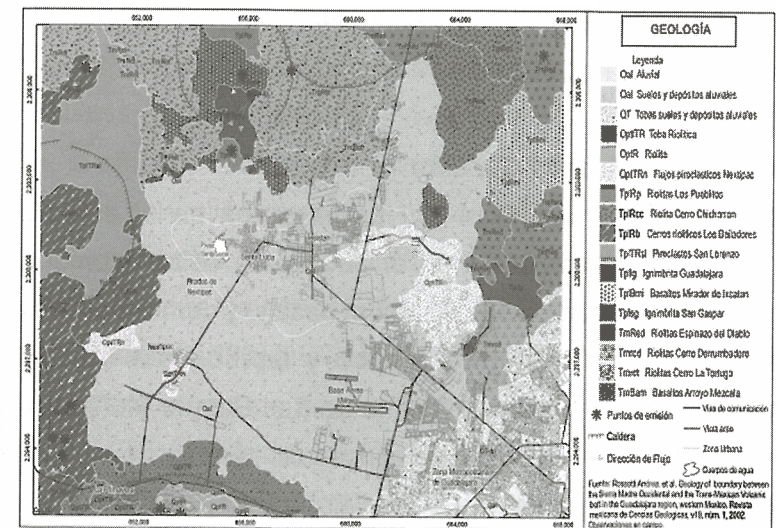


Fig. 12  
Mapa geológico de la zona de estudio  
(Modificado de Rossotti et al., 2002)

### Grupo Guadalajara Inferior

Este nombre se utilizó informalmente en los estudios realizados por el SIAPA en el 2002. Corresponde con una serie de flujos, domos y brechas de composición riolítica y

en menor proporción ignimbrítica, que se exponen al norte de la Cuenca Volcánica de Atemajac. Tienen un rango de edad de entre los 7 a 5 Ma., sobreyacen en discordancia a las rocas del grupo Río Santiago y se extienden en una superficie mayor a 750 km<sup>2</sup>. Representan un volumen estimado de 212 km<sup>3</sup> de magma y están cubiertas localmente y en discordancia por la Ignimbrita San Gaspar (Rossotti et al., 2002).

#### *Grupo Guadalajara Superior*

Este nombre se utilizó por primera vez en el estudio realizado por el SIAPA en el 2002 para establecer una secuencia volcánica de ignimbrita, basalto y domos riolíticos así como material piroclástico y lapilli. Esta unidad estratigráfica incluye a la Ignimbrita San Gaspar (4.71 Ma), el basalto alcalino Guadalajara, basalto Mirador de Ixcatán (4.7 a 3.7 Ma), Ignimbrita Guadalajara (3.44 -3.23 Ma) y los domos riolíticos del grupo Chicharrón y Jacal de Piedra (3.07 - 1.39 Ma).

La Ignimbrita San Gaspar fue descrita originalmente por Gilbert (1985:169-191), quien reportó una edad radiométrica K/Ar de 4.71 Ma. Aflora al norte, noreste y noroeste de la cuenca de Atemajac, sobre el borde de la barranca del Santiago, la sierra de Tesistán, y Monticello. Se trata de un horizonte importante, desde el punto de vista estratigráfico. Se presenta soldada, de color gris oscuro

con abundantes xenolitos algunos de hasta 20 cm de diámetro, se les conoce como fiammes. El centro de emisión de esta ignimbrita corresponde con una de las estructuras caldéricas que se han identificado en la sierra de Tesistán.

La Ignimbrita Guadalajara también fue originalmente definida y documentada por Gilbert (1985:171) quien la nombró así debido a que fue utilizada en la construcción de edificios públicos, iglesias y viviendas del centro histórico de la ciudad. Esta unidad aflora al norte y noroeste de la ciudad, particularmente en las localidades conocidas como La Experiencia, La Mesita (Sierra de Tesistán) y Arroyo Hondo. Es una ignimbrita fuertemente soldada y devitrificada color café claro a gris claro, caracterizada por contener abundantes fiamme de dos composiciones distintas. Gilbert (1985:173) fechó los afloramientos de esta unidad en las localidades de Río Blanco y La Experiencia, obteniendo edades radiométricas por el método K/Ar de  $3.23 \pm 0.08$  MA y  $3.44 \pm 0.1$  Ma, respectivamente.

El basalto Guadalajara es un conjunto de derrames de basalto de olivino color gris oscuro a rojizo, con notables megacristales de plagioclasa de hasta 3 cm de diámetro. Moore (et al, 1994) lo definió por primera vez aunque Gilbert (1985) ya había reportado una edad radiométrica K/Ar de entre  $4.7 \pm 0.1$  y  $3.7 \pm 0.1$  Ma para esta misma unidad. El basalto Guadalajara cubre en discordancia a la Ignimbrita



San Gaspar al norte y oriente de la ciudad y presenta intercalaciones de material volcanoclástico, así también se han identificado en la estratigrafía de los pozos del SIAPA, a una profundidad de entre 50 a 80 m al centro del valle de Tesistán.

#### *Conos cineríticos de lavas máficas*

Esta unidad está representada por conos cineríticos y forma la Cadena Volcánica Sur de Guadalajara (CVSG). Se compone de conos y flujos de lava, diques, brechas y escoria de composición predominantemente basáltica. Estos materiales están expuestos en una serie de estratovolcanes que se disponen hacia la margen sur de la Zona Metropolitana de Guadalajara: cerros El Gachupín, Santa María, El Cuatro, El Tapatío, Escondido, San Martín y Papantón de Juanacatlán. Los conos presentan una dirección en sentido NW-SE desde el río Grande de Santiago (Juanacatlán) hasta el cerro El Gachupín. Esta cadena de volcanes representa la frontera entre la Cuenca Volcánica de Atemajac y la Planicie de Toluquilla.

El nombre del Cinturón Volcánico fue asignado por Lühr y Lazaar (1985:691-700) como "Southern Guadalajara Volcanic Chain". No existen dataciones radiométricas de estas rocas, pero de acuerdo con Ferrari et al. (1999) y en base a observaciones estratigráficas de campo, estimó que este evento volcánico podría haber ocurrido durante el Pleistoceno, entre 1.5 a 0.5 Ma.

#### *Toba Tala*

El paquete está relacionado con el colapso de la caldera La Primavera. El nombre asignado es por la amplia distribución del material encontrado en las inmediaciones al poniente en el poblado de Tala. Está formada por materiales piroclásticos poco consolidados, y se encuentra en un área aproximada de ~1,200 km<sup>2</sup> alrededor de la caldera de La Primavera, por tanto, cubre la mayor parte de las depresiones topográficas y valles circundantes a la sierra. Estos depósitos están compuestos por tobas de caída libre, lapilli y flujos de ceniza con abundantes fragmentos de pumicita; y en menor cantidad por vidrio volcánico (obsidiana) y fragmentos y bloques mayores de basalto, andesita y riolita.

El material fue emitido durante las violentas e intermitentes actividades explosivas de la caldera La Primavera, hace aproximadamente 0.095 Ma. El paquete es de color blanco, gris y crema, dispuesto en capas bien estratificadas con algunas evidencias de estratificación cruzada. En algunos puntos la porción media del flujo se ha reportado bien soldada. El espesor de la Toba Tala generalmente es superior a 100 m en un radio de 3 a 5 km alrededor del Complejo Volcánico La Primavera, en la zona del Valle de Tesistán se han registrado espesores que van desde los 50 a más de 150 m al centro del valle.

### *Depósitos aluviales*

Los depósitos aluviales se han formado durante el proceso de erosión de las estructuras volcánicas circundantes a las cuencas de Atemajac y Toluquilla. Incluyen depósitos aluviales, fluviales, residuales, proluviales, gravitatorios y lacustres. Normalmente descansan en discordancia erosiva sobre materiales de la Toba Tala, en general son de poco espesor, con excepción en la cuenca Toluquilla y la parte central de Valle de Tesistán, en donde alcanzan espesores mayores.

La sedimentación de tipo continental, formada por depósitos aluviales y fluvio-aluviales, está representada por gravas y arenas gruesas formando abanicos aluviales, piedemontes, o depósitos sobre los lechos de los cauces.

Los depósitos lacustres son acumulaciones de material de baja energía acumulado en depresiones topográficas naturales o artificiales, y en pequeñas presas, zonas lagunares o pantanosas. En estos depósitos los procesos de sedimentación continental han propiciado la acumulación de espesores de limo-arcillas y, en proporciones menores, de arena fina.

## **6. Sistema geohidrológico del valle**

A partir de la información proporcionada por el SIAPA (2002) sobre los pozos profundos y norias (que están ampliamente distribuidos en el valle de Tesistán), se identificó un nivel somero y uno estático bien establecido para el valle.

### 1.- Flujo subterráneo somero

El flujo somero local se identificó a 8 m, mediante la ubicación espacial de los niveles estáticos de norias. Éste se localiza a la altura de donde se encuentra una pequeña capa de tepetate (ceniza consolidada) de no más de 10 cm. de espesor. La dirección del flujo está orientada al N28°E, con un gradiente similar a la dirección de la pendiente superficial que tiene el valle.

### 2.- Flujo subterráneo profundo

La estimación de la dirección y del gradiente del flujo subterráneo profundo se obtuvo mediante la identificación de la batería de pozos (79) del SIAPA (2007). Esto da como resultado que el flujo profundo tiene una orientación N25°E con un gradiente similar al flujo somero, pero se generan bajos piezométricos importantes en las inmediaciones de algunos pozos. El nivel estático varía entre los 60 a 115 m.

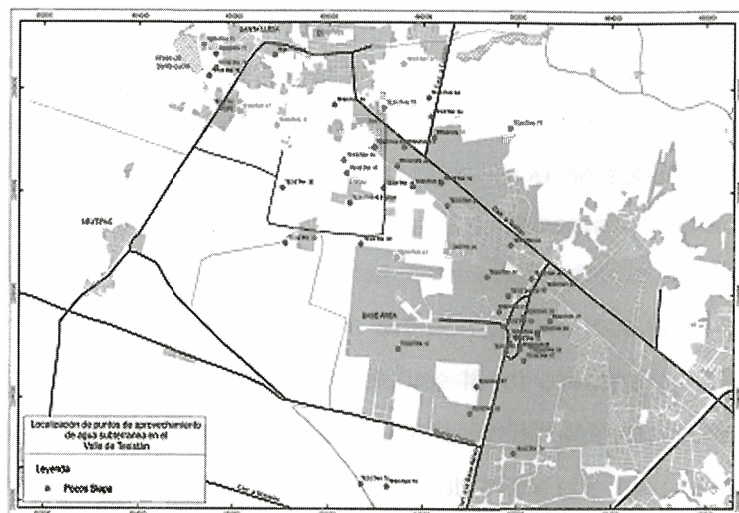


Fig. 13

Mapa con la ubicación del sistema de pozos profundos del sistema de agua potable. (SIAPA, 2007)

### 7. Características geológicas del paquete pumicítico.

El Valle de Toluca está compuesto por material emitido principalmente por la actividad volcánica de la Sierra de La Primavera, y en menor medida por estructuras como el Cerro de La Coll y el domo El Tepopote. La actividad volcánica pleistocénica produjo una gran cantidad de materiales piroclásticos que dieron lugar a un subsuelo granular poco consolidado.

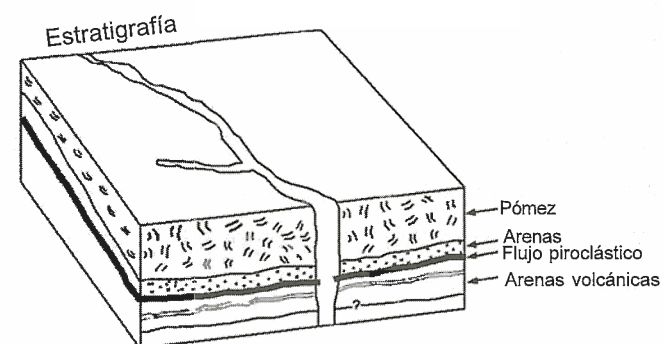


Fig. 14

Secuencia pumicítica superficial en la zona de estudio: secuencia de pómez de caída, arenas pumicíticas, lámina de flujo piroclástico consolidado.

### 7.1 Granulometría del paquete pumicítico

El paquete de arenas pumicíticas de caída libre está formado por un conjunto de capas en donde se intercala pómez, arenas volcánicas y algunas secuencias de ceniza consolidada con características de fragipán, y por lo tanto, con una velocidad de infiltración 9 veces más baja que en las capas de arena pumicítica. La velocidad de infiltración de las capas de arena es rápida, de 31.2 cm/h a 31.5 cm/h, por lo que la velocidad de las capas endurecidas debe ser alrededor de 3.2 cm/h, es decir, de infiltración media.

La textura de las capas de arena va de areno franco a franco arenosa, con un contenido de arcilla que oscila



entre 13.28 % y 23.56 %, muy por encima del umbral que limita a los suelos donde la estructura es muy inestable. De hecho, de acuerdo con las observaciones de campo, los suelos tienen una consistencia en seco dura o ligeramente dura, pero su consistencia es muy friable cuando están húmedos, por lo que fácilmente se pueden desmoronar al aplicar una ligera presión.



Fig. 15

Perfil estratigráfico que afloró en la grieta del mes de junio del 2004. Algunas secuencias se clasificaron como fragipán, que representa nueve veces menos velocidad de infiltración.

La densidad aparente oscila alrededor del 1 %, es decir, muy baja para el tipo de textura del suelo. Sin embargo, se debe considerar que la arena pumicítica es muy porosa, con muchos vacíos aislados, lo cual propicia que una muestra de arena de pómez pueda flotar en el agua. Como el mineral predominante en este tipo de material es el cuarzo, se supone que la densidad real del material es aproximadamente de  $2.65 \text{ g/cm}^3$ . Tomando en cuenta este valor y el dato del medio ambiente, se considera que la porosidad oscila entre 55 % y 67 %. Ahora bien, como arena es el material que predomina en la tierra fina, se puede suponer que el tipo de vacíos que predomina en el material son los macroporos, los cuales propician una excelente aireación y drenaje. De esta manera, tomando en consideración el tipo de textura y la densidad aparente, se concluye que las tres muestras se clasifican como excesivamente drenadas y además presentan una alta o muy alta conductividad hidráulica en saturado.

De acuerdo a la textura arenosa del material, la capacidad de retención de humedad de las capas de la grieta a capacidad de campo (un tercio de atmósfera) está por debajo de los materiales que tienen una textura franco arenosa, pero posiblemente sean congruentes con las texturas areno francosa, ya que los valores encontrados oscilan entre 5.3 % y 8.1 %.

## 7.2 Espesor de la Toba Tala y la ubicación de las grietas

La actividad volcánica reciente (Pleistoceno) de la Sierra de la Primavera emitió una gran cantidad de tobas que cubrieron una paleotopografía de mesas, paleocauces, algunos desniveles asociados con fallas, y cambios en las características litológicas. Los espesores varían en función de la distancia a la sierra y de las direcciones preferenciales de emplazamiento de los flujos piroclásticos. En las zonas cercanas a La Primavera, los espesores alcanzan entre 120-150 m. En la parte central del Valle de Atemajac es de 10-20 m, y en el oriente (San Andrés) llega a los 2 m.

### Registro Estratigráfico

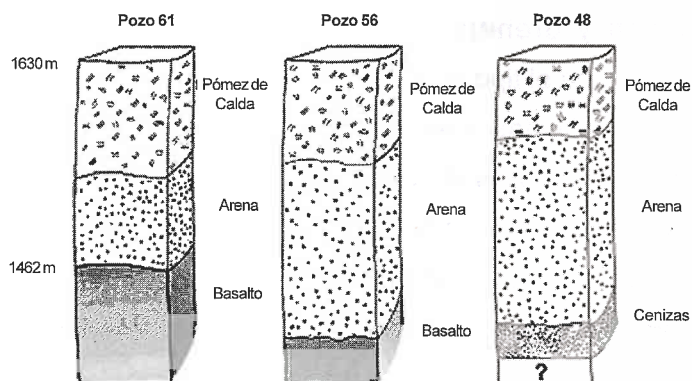
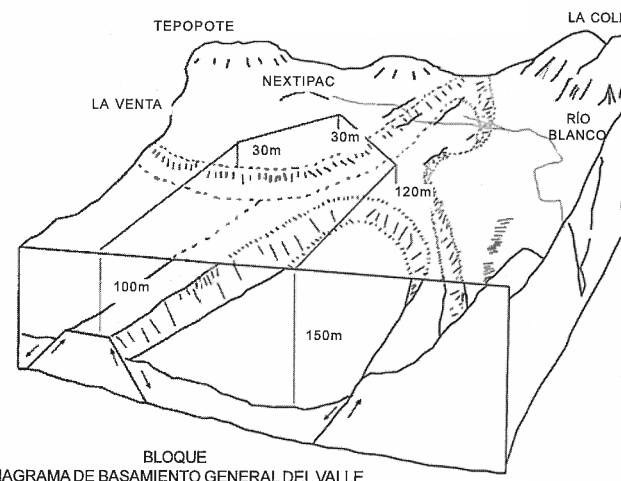


Fig. 16

Corte estratigráfico del primer basamento de la secuencia pumítica, corresponde con los siguientes horizontes: pómez de caída, arenas volcánicas, y basalto.

Fuente: elaborado a partir de la información del SIAPA (2007)



BLOQUE  
DIAGRAMA DE BASAMIENTO GENERAL DEL VALLE

Fig. 17

Modelo del basamento, donde se marca al centro del valle un semigraben, y los mayores espesores de la Toba Tala (150 m) (Elaboración propia, a partir de la información del estudio de actualización del SIAPA, 2002).

Se puede observar que la zona de emplazamiento de las grietas más recientes coincide con un borde en donde el espesor de la Toba Tala varía de manera importante. El espesor registrado al suroeste del borde de la grieta de Nextipac es de 25 m, mientras que al oriente de ese borde el espesor alcanza los 200 m. Este cambio se relaciona con la presencia de un paleocauce y/o un sistema de fallas que genera desniveles en el basamento de la Toba Tala. En tanto que la interpretación que hace el estudio realizado por

el SIAPA (2002) indica una especie de interdigitación, las observaciones realizadas a partir del sombreado del modelo digital de elevación en la dirección del borde, muestran que inmediatamente al norte, en el límite de la planicie con las barrancas secundarias, el borde presenta una orientación coincidente con un sistema de fracturas en sentido NNW-SSE. Dicho sistema posee la misma orientación que el desnivel que produce el cambio en el espesor de la Toba Tala. Dado lo anterior, estaríamos ante un factor adicional a la sufosión, en donde el borde formado, en conjunción con una importante extracción de agua del acuífero (ésta es una de las zonas con mayor densidad de pozos), podría estar induciendo tensiones excedentes por hidrocompactación. Por lo que la extracción de agua pudiera contribuir a incrementar la probabilidad de formación de galerías. Lo anterior se pone de manifiesto por el incremento del gradiente hidráulico y la formación de conos de abatimiento en el área.

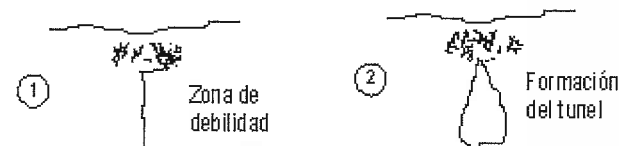
### 8. Morfología de las grietas

Las características morfológicas de las grietas nos indican que el agua actúa de varias formas<sup>8</sup>:

-- Primero erosiona internamente las secuencias geológicas sobre la zona de debilidad (figura 1) a la altura del nivel

<sup>8</sup> Basado en Bell (Cooke *et al.*, 1993:88)

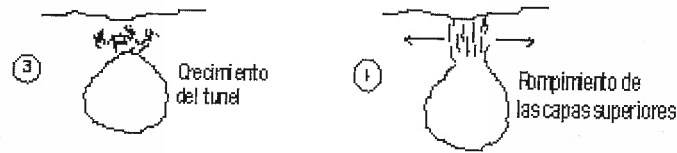
freático. Al erosionarse se genera un conjunto de pequeñas oquedades separadas entre sí (figura 2), que crecen con el tiempo y se van uniendo. En el techo de las cavidades se generan grietas de tensión, y posteriormente durante una lluvia muy intensa en donde los valores están por encima de los 20 mm en media hora, se fracturan los sedimentos que se localizan sobre el techo de las grietas.



-- El agua, al momento de estar cayendo durante una tormenta (figura 4), satura completamente las galerías y las fisuras que se localizan entre las galerías. Los estratos en la parte superior se rompen debido a partir de la presión hidrostática, lo que hace que crezca la grieta y se colapse el techo.

-- El crecimiento posterior (figura 5) de los bordes está relacionado con la erosión de agua que escurre y cae al fondo de la galería, colapsando los bordes inestables, así como algunos restos del techo de la galería, lo que ocasiona un ensanchamiento considerable.





-- De acuerdo con lo que se ha observado en campo, existe una morfología de la grieta-cavidad de tipo pseudokarstico.



### 8.1 Rasgos superficiales de las grietas (2004).

La morfología del trazo de las grietas está vinculada con la erosión que se presenta debido al agua que escurre por superficie y que se precipitó a ella, erosionando los bordes y ocasionando su ampliación.

Las observaciones que se han obtenido de las grietas formadas en esta zona indican que el segmento norte, a partir de la intersección del cauce del Río Blanco, es el más desarrollado, ya que el agua del escurrimiento se precipitó directamente por lo que la erosión amplió considerablemente

la anchura de la grieta. En el segmento sur, generalmente las grietas se marcan como fisuras de algunos milímetros y son de corta longitud, aunque en los últimos años han crecido las grietas hacia el sur.

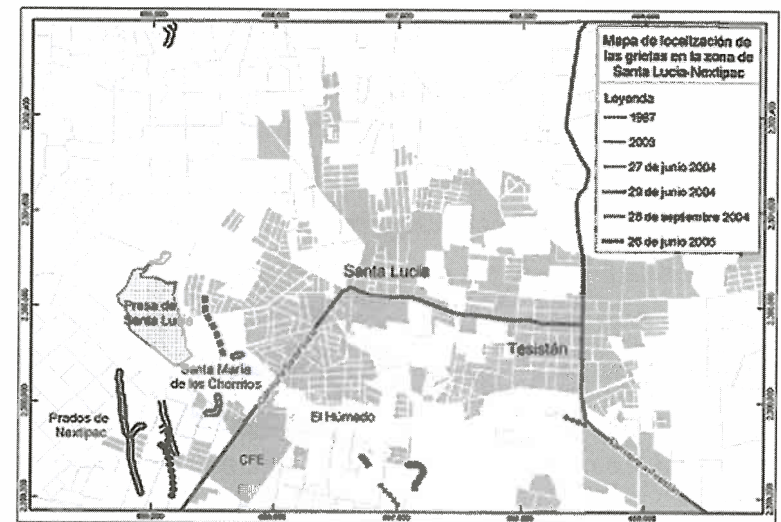


Fig. 18  
Mapa de ubicación de las grietas en la zona de Nextipac-Santa Lucía., con su fecha de formación

### 8.2. Patrones de humedad y el piping

De acuerdo con los datos obtenidos por los estudios de suelos que se realizaron, se identificó que el agua modifica drásticamente las características geotécnicas del paquete de arenas pumicíticas de caída libre. El paquete está



formado por varias capas, algunas con características de fragipán, y por lo tanto con una velocidad de infiltración nueve veces más baja que en las capas de arena pumicítica. Lo que hace que se generen zonas de concentración de humedad y se propicie la formación de niveles de erosión subsuperficial.

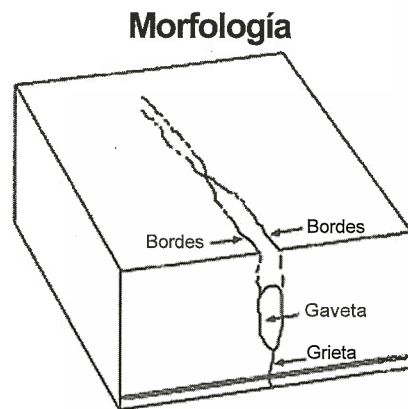


Fig. 19

Morfología de la grieta del mes de junio. Dos fisuras paralelas marcan los límites de la galería.

Para poder inferir zonas con presencia de humedad se utilizó el método NDVI aplicado a imágenes IKONOS (2002) tomadas en los meses de abril y junio. Las imágenes fueron corregidas geométricamente mediante el programa ERDAS Imagine con proyección UTM, datum y elipsoide WGS84. La resolución espacial es de 4 m. A partir de esto

se realizó un mosaico con las imágenes para trabajar los índices sobre una misma imagen. El mapa de humedad fue desarrollado a partir de una clasificación no supervisada del Normalized Differentiated Vegetation Index (NDVI). El índice NDVI es usado comúnmente para diferenciar las coberturas de vegetación a través de un cociente que convierte los valores de reflectividad de cada píxel a una escala de -1 a 1. Según este índice mientras más se acerque el valor a -1 se trata de suelos desnudos, nubes o asfalto, y mientras más se acerque el valor a 1 se trata de la vegetación más vigorosa. Relacionando que la vegetación vigorosa, es decir más verde, se presenta en suelos más húmedos, se asignaron valores de humedad más alta a los valores más cercanos a 1. Debido a que en el Valle de Tesislán predomina la agricultura de temporal, se infiere que si existen valores de NDVI muy altos se deben a la humedad superficial contenida en el suelo.

A partir de esta clasificación se identificaron patrones de humedad, ya sea alta o baja, los cuales están marcados en polígonos. Existen dos ejes preferenciales de humedad-dispersión en la zona de estudio. Estos se localizan en la porción centro occidente del valle, con orientaciones generales N-S, y NW-SE. Estas líneas de humedad-dispersión están determinando las zonas en donde existen concentraciones preferenciales de humedad somera, comúnmente a estas zonas se les conoce como "venas",

-- En los meses de junio y julio es cuando se han registrado la mayoría de los eventos; en estos meses los valores de precipitación están por encima de los 280 mm. Esto nos indica que ante los cambios súbitos en los valores de saturación del suelo, se generan mayores tensiones aumentando la probabilidad de generación de grietas.

### 9.1.1 Balance hídrico en el año del 2004.

En este apartado se exponen las condiciones de saturación del subsuelo y el papel que juega ésta en la generación de las grietas. Se trabajó exclusivamente el año 2004; en el intervalo comprendido entre los meses de febrero a mayo (con datos registrados en la Estación Zapopan) la precipitación fue menor que la evapotranspiración potencial; por lo tanto, hubo consumo de la reserva útil, lo que conllevó a la escasez de agua en el suelo.

Durante el mes de junio inició el ciclo húmedo del año, período que se prolongó hasta septiembre, y durante el cual la precipitación superó a la evapotranspiración potencial y a la evapotranspiración real. La recuperación total de la reserva útil por infiltración ocurrió durante junio, mes en que se conformó un superávit máximo de 252.2 mm. En este contexto, es necesario señalar que cada milímetro de agua de lluvia caído por metro cuadrado equivale a un litro. El exceso de agua de junio, aunado a la precipitación de los meses de julio, agosto y septiembre, originó saturación del

suelo y como consecuencia la escorrentía. A partir de octubre se presentó el gasto de la reserva útil. La precipitación fue menor que la evapotranspiración potencial y la evapotranspiración real. Se estimó, que el déficit hídrico en el suelo continuó durante noviembre y diciembre de 2004.

### 9.2 Consideraciones

El análisis comparativo que debió de haberse realizado entre el balance hídrico representativo de la Estación Tesistán y el cálculo hídrico de la misma estación pero del año 2004, no se efectuó por no contar con la información pertinente al momento de realizar este trabajo. No obstante, dicho análisis se llevó a cabo comparando los resultados de la serie representativa de Tesistán (1980-2000) con los de la Estación Zapopan del año 2004.

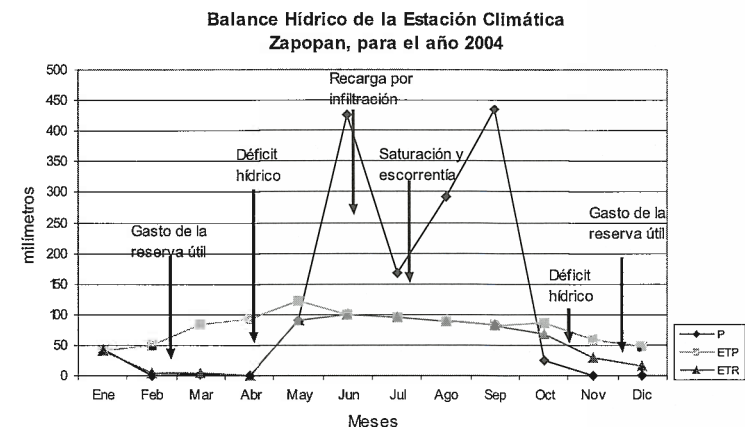


Fig.21

Balance hídrico de la estación climatológica Zapopan, año 2004

Ambos balances puntualizan que el periodo húmedo del año inicia en junio y termina en septiembre. La serie representativa de la Estación Tesistán muestra un régimen de lluvias ascendente en cantidad de agua a partir de junio, siendo julio el mes más lluvioso. Posteriormente desciende paulatinamente en agosto y septiembre. Sin embargo, la Estación Zapopan en el 2004 registró dos puntos máximos de lluvia en los meses de junio y septiembre y uno mínimo en julio, alterando drásticamente la distribución temporal de la precipitación en el área de influencia de esta estación y, es de suponerse, también en la zona en la que se sitúa la Estación Tesistán. Ambas estaciones, según las coordenadas geográficas proporcionadas por la Comisión Nacional del Agua, distan aproximadamente 10 kilómetros entre sí.

La época seca del 2004 en la zona de Zapopan, fue menguada por las lluvias que se registraron en el mes de enero del 2005. Esto quiere decir que la precipitación superó a la evapotranspiración potencial, y el año comenzó con poca humedad en el suelo. Posteriormente, las precipitaciones de mayo originaron que el ciclo de lluvias de verano comenzara con un déficit bajo de humedad en el suelo, pero generó las condiciones para que el excedente de junio fuera de gran magnitud.

Las lluvias masivas de junio fueron suficientes para llenar la reserva útil y originar, según los registros y cálculos efectuados, un superávit de más de 250 litros de agua por metro cuadrado, para infiltración o escorrentía. El comportamiento normal de las series climáticas de Tesistán y Zapopan (1980-2000) indican que es hasta julio cuando se reúne la reserva útil y se genera superávit. Sin embargo, los datos de lluvia de la Estación Zapopan y los cálculos realizados, señalan que el balance hídrico en la zona de Tesistán en el año 2004 sufrió una seria variabilidad. Esto quiere decir que se adelantó en un mes la acumulación de agua en el subsuelo y que las corrientes y el depósito superficial fueron superiores a lo habitual.

La variabilidad señalada en el párrafo anterior originó que el tiempo promedio en el que existió exceso de agua en el suelo, se extendiera por un mes, esto es de junio a septiembre de 2004. Vale la pena enfatizar que la gran cantidad de lluvia caída en septiembre provocó un superávit, que según los resultados del balance hídrico fue de más de 350 litros por metro cuadrado. El exceso de agua de lluvia en junio y en septiembre del 2004 (252.2 y 354 mm respectivamente), coincide con el surgimiento de las grietas en la localidad de Nextipac, municipio de Zapopan, que ocurrieron precisamente a finales de cada uno de estos meses.



## 10. Estudios geofísicos

En el 2005 el Servicio Geológico Mexicano realizó estudios de carácter geofísico en la zona de estudio, con el objeto de poder inferir sistemas de fracturamiento así como sus dimensiones. Realizó una serie de transectos utilizando la técnica polo-dipolo, y se obtuvieron los siguientes resultados<sup>9</sup>.

Algunas grietas sí se marcaron en el transecto, ya que se presentan como anomalías de alta resistividad. Pero debido probablemente a la distancia de las líneas de levantamiento, varias grietas identificadas que se observan en superficie no tuvieron una respuesta en el estudio geofísico. Por lo que es importante establecer la realización de estudios geofísicos más detallados, así como complementarlos con otras técnicas como el georradar, para dar mayor certidumbre en la toma de decisiones para el proceso de urbanización del valle.

## 11. Efectos de la formación de grietas en el Valle de Tesislán

No cabe duda de que estamos frente a un proceso complejo y dinámico del cual se tiene un conocimiento parcial, por lo que su modelación y pronóstico de futuros comportamientos

<sup>9</sup> Tomado del estudio de las grietas de Nextipac, Servicio Geológico Mexicano, 2005. Unidad Estatal de Protección Civil.

es difícil. Lo anterior tiene implicaciones para los siguientes aspectos:

- La dinámica propia del proceso
- La explotación del acuífero
- La política de uso del suelo.

Aunque el primer aspecto podría caer en el ámbito de la curiosidad científica, los otros dos resultan estratégicos para la supervivencia y seguridad de la población. Actualmente el Valle de Tesislán está siendo sometido a fuertes presiones para su urbanización, dadas sus condiciones topográficas, su cercanía con el área consolidada de la ciudad de Guadalajara y las vías de comunicación que ya posee. El proceso de urbanización tendría impactos en dos campos: en la explotación del acuífero, ya que se incrementaría la demanda de agua y a la vez se modificarían las condiciones superficiales de infiltración, afectando los niveles estáticos; y en la política de uso del suelo, que necesariamente tendrá que ser diseñada tomando al valle como una unidad territorial y no como el acumulado de las acciones particulares de urbanización.

Lo anterior orilla a la elaboración de estudios detallados de las áreas a urbanizar, con el fin de identificar la posible presencia de oquedades en el subsuelo que pudieran aflorar como agrietamientos y causar daños en



las construcciones, e incluso poner en riesgo la vida de las personas. Todo lo cual deberá estar sujeto a una estricta normatividad que establezca los lineamientos específicos para la autorización del proceso de urbanización u otro que implique un cambio en el uso del suelo.

## 12. Conclusiones

Estamos ante la ocurrencia de un fenómeno natural que, desde el punto de vista sistémico, pudiera estar siendo acelerado por la acción del hombre en términos de cambio de uso del suelo e incremento de la extracción de agua del acuífero.

En un principio se pensó que la presencia de galerías filtrantes estaría relacionada con el afloramiento de agrietamientos, aunque a partir del inventario realizado descartamos tales consideraciones. Sin embargo, es muy importante contar con un levantamiento detallado de dichas galerías, con el fin de conocer su distribución espacial para establecer un plan de mantenimiento. Esto porque además de constituir una obra hidráulica importante que en algunos casos sigue funcionando, la falta de mantenimiento podría ocasionar colapsos y hundimientos, puesto que algunas colonias fueron construidas encima de ellas.

Existe una estrecha relación entre el surgimiento de grietas y el periodo de lluvias. De acuerdo con el registro

histórico de los últimos 86 años, se tienen documentados 11 eventos de agrietamiento y todos se han presentado durante la época de lluvias, particularmente en los meses de junio y octubre. La naturaleza del subsuelo de la zona ocasiona que en lluvias muy intensas se presenten cambios súbitos en los valores de saturación del suelo, pues son suelos granulares con una alta porosidad y muchos vacíos aislados. El tipo de vacíos predominantes en el material son los macroporos, que propician una excelente aireación y drenaje, facilitando además los procesos erosivos.

Se considera al agua como el factor determinante, tanto en el origen de las grietas (ya que actúa como agente erosivo en el subsuelo), como disparador en superficie, debido a la presión por saturación que genera tensión, pues su peso propicia que parte del techo se colapse. La morfología de las grietas indica que el agua primero erosiona horizontes, por lo que se observa en algunas secciones una oquedad que puede alcanzar un diámetro desde 10 cm. hasta 1 m. La zona de erosión se presenta sobre líneas preferenciales (por lo que existe un control del agua) que corresponden con zonas de debilidad que pueden asociarse con fallas o fracturas. Estos sistemas de debilidad constituyen un reflejo pasivo de la geometría del basamento del paquete pumítico poco consolidado, el cual corresponde con un horizonte de ignimbrita San Gaspar, ignimbrita Guadalajara, o derrames de lava basáltica.

Las grietas más recientes se localizan en aquellas zonas donde cambian los espesores del paquete pumítico, por lo que se considera que se están produciendo tensiones por subsidencia, generando grietas tipo talud. Éstas presentan una dirección en sentido N45°E, orientación que corresponde con uno de los patrones de fracturamiento preferencial existentes en la zona, particularmente en la Sierra de Tesistán.

El fenómeno de agrietamiento en el Valle de Tesistán se está acelerando debido a varios factores. Por un lado, el cambio en el uso del suelo, producto de la urbanización, lo que modifica drásticamente los valores de precolación vertical; y por otro, el incremento de la extracción de agua del acuífero regional, lo que genera fenómeno de subsidencia. La presencia de grietas tiene que considerarse como un elemento determinante para definir el modelo de cambio de uso del suelo en el valle, dado que estamos ante un fenómeno complejo, dinámico y multifactorial. Así, un cambio en el coeficiente de infiltración o un acelerado abatimiento del nivel freático puede alterar tanto la dinámica natural del fenómeno como su distribución espacial.

Agradecemos la colaboración de las siguientes personas: Armando Juárez, estudio de mecánica del suelo; Antonio González Salazar, climatología; José Martín Baltasar Mojica, trabajo de campo; Jesús Arturo Muñiz Jáuregui, cartografía; Ana Teresa Ortega Minakata, Silvia Martínez, patrones de humedad; y Marcela Livier Quiroz Hernández, elaboración de los esquemas

## BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR-PÉREZ L. Antonio, M. Adrián ORTEGA-GUERRERO, José LUGO HUBP, y Dalia del C. ORTIZ ZAMORA. (2006) "Análisis numérico acoplado de los desplazamientos verticales y generación de fracturas por extracción de agua subterránea en las proximidades de la Ciudad de México". En Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 23, núm. 3. México.

ARZATE FLORES Jorge A., Jesús MARTÍNEZ Pacheco (2006) "Carta de Hundimientos del área Metropolitana de SLP a partir de un modelo de subsidencia basado en el concepto de esfuerzo efectivo". En Resúmenes Geos. México. Unión Geofísica Mexicana.

BEEKMAN Christopher S., Phil C. WEIGAND, John J. PINT (1995) "El Qanat de La Venta: sistemas hidráulicos de la época colonial en el centro de Jalisco" En Relaciones núm. 63/64 Zamora, Mich. El Colegio de Michoacán.

---- (2000) "Old word irrigation technology in a new word context: Qanats in spanish colonial western Mexico". En Antiquity. Cambridge, Jun 2000, Vol.73 ISS, 280.

CARRILLO, Nabor (1947) "Influencia de los pozos artesianos en el hundimiento de la Ciudad de México". En Anuario 1947 de la Comisión Impulsora y Coordinadora de la Investigación Científica.

CHEN-WING Lui, Ling WEN-SENG, Cheng LI-HSIN (2006) "Estimation of land subsidence caused by loss of smectite-interlayer water in shallow aquifer system". En Hydrogeology Journal.

CORAPCIOGLU M. Y., (1983) "Land subsidence -a State of the Art". En Fundamentals of Transpirt Phenomena in Poulos Media, ed. Bear, J. and Corapcioglu, M,Y, Martinus Nijhoff, The Hauge, Netherlands.

COOKE Ron, Andrew WARREN, Andrew GOUDIE (1993) Desert Geomorphology, UCL Press. London.

DE CSERNA Zoltan, DE LA FUENTE-DUCH, M.PALACIOS-NIETO, M. TRIAY, L., L. MITRE SALAZAR, R., MOTA-PALOMINO (1987) "Estructura geológica, gravimetría, sismicidad, y relaciones geotectónica regionales de la cuenca de México, D.F.". Revista de Geología. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín, 104.

DÍAZ, Severo (1984) "Cinco estudios sobre Guadalajara". En Revista Jalisco No. 1-2, vol. II. Guadalajara, Jal. Revista Oficial del Gobierno del Estado de Jalisco.

EL INFORMADOR. "Sigue abriéndose una enorme grieta en el Municipio de Zapopan, cerca de la Tuzanía. 22 de junio de 1978, Año LXI, tomo CCXXXV.

EL INFORMADOR "Corrientes de agua subterránea son las que originaron la gran grieta de Zapopan". 23 de junio de 1978. Año LXI, TOMO CCXXXV.

FIGUEROA VEGA, Germán Efraín (1989) "Mecanismo de producción de grietas inducidos por la explotación del agua subterránea". En Alternativas Tecnológicas, 29, Academia Mexicana de Ingeniería.

FERRARI L., S. CONTICELLI, C. VAGGELLI, C. PETRONA and P. MANETTI (1999) "Late Miocene mafic volcanism and intra-arc-tectonics during the early development of the Trans-Mexican Volcanic Belt". En Tectonophysics.

GILBERT C.L., G. MAHOOD and I.S.E. CARMICHAEL, (1985) "Volcanic stratigraphic of the Guadalajara area, Mexico". En Geofísica Internacional, V 24-1. México, D.F.

JACOB, C.E. (1940) "On the Floor of Water in an Elastic Aquifer". En Am. Geophys. Unión TRANS.

LUGO-HUBP José, A. PÉREZ -VEGA, M. ROSAS-SALAS (1991) "Formación de grietas en la margen del antiguo lago al oriente de la cuenca de México". En Geofísica Internacional, 30 (2). México, D.F.

LUGO-HUBP José, J.J. ZAMORANO-OROZCO, M.A. ORTEGA-GUERRERO, L.A. ECHAVARRÍA, O.V. ZERMEÑO, G.O. SALAS, Y.D.E. MONDRAGÓN, E.Y. GONZÁLEZ (1995) Informe sobre la geomorfología del cerro del Peñón del Márquez, en relación con los riesgos y el agrietamiento en la periferia del mismo, Delegación Ixtapalapa, D.F.: México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, Informe técnico.

LUHR J. and P. LAZAAR (1985) "The southern Guadalajara volcanic chain, Jalisco, Mexico". En Geofísica Internacional, v., 24. México, D.F.

MOORE G., C. MAROONE, I.S.E. CARMICHAEL and P. RENNE (1994) "Basaltic volcanism and extension near the intersection of the Sierra Madre volcanic province and the Mexican Volcanic Belt". En Geological Society of America Bulletin, v., 106.



OCHOA GONZÁLEZ, Gil H., Dora C. CARREÓN FREYRE (2006) "Influencia de la variaciones de las propiedades hidráulicas del medio geológico en el análisis de las deformación diferencial". En Resúmenes Geos. Unión Geofísica Mexicana.

PALERM VIQUEIRA Jacinto, J.L. PIMENTEL EQUIHUA, M. SÁNCHEZ RODRÍGUEZ (2001) "Técnicas hidráulicas en México, paralelismo con el Viejo Mundo: galerías Filtrantes (quanats)". En memorias II Encuentro sobre Historia y Medio Ambiente, Huesca, España.

WAITS Paul y F. Urbina (1919) "Los Temblores en Guadalajara en 1912". Instituto Geológico de México, boletín Num. 19. Departamento de exploración y estudios geológicos. Secretaría de Industria, Comercio y Trabajo.

POLAND, J., F., (1969) "Status of Present Knowledge and Needs for additional Research on Compaction of Aquifer System". En Land Subsidence, Int. Ass. Sci. Hydrol. Tokyo.

---- (1984) Guidebook to studies of land subsidence due to ground-water withdrawal. UNESCO, Michigan USA.

ROSSOTTI A., L. FERRARI, M. LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. ROSAS ELGUERA (2002) "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, V, 19, Núm. 1. México, D.F.

ROSAS-ELGUERA J., L. FERRARI, J. URRUTIA FUCUGAUCHI, and V.H. GARDUÑO (1996) "The continental boundaries of the Jalisco block and their influence in the Neogene Kinematics of western Mexico". En Geology, v. 24.

SAGASETA, C., (1987) "Analysis of undrained soil deformation due to ground loss". En Geotechnique 37(3).

SIAPA (2002) Estudio de Actualización Geohidrológica e Integral de las Cuencas Atemajac-Toluquilla, Estado de Jalisco, México. Gobierno del Estado de Jalisco.

---- (2007) Inventario Único de Pozos Profundos. (Inédito).

SOCIEDAD MEXICANA DE MECÁNICA DE SUELOS (1999) Agrietamiento de suelos. México.

TERZAGHI, K. (1925) "Principals of soil Mechanics IV: Settlement and consolidation of clay". En Engineering News Record, 95 (Nov. 26).

---- (1943) Theoretical Soil Mechanics .John Wiley and Sons, New York.

TRUJILLO, Candelaria (1991) Origen del Fallamiento del terreno. En Celaya. Soc. Mex. de Mec. de Suelos, pp. 3-9.

VALDIVIA ORNELAS Luis, María del Rocío CASTILLO AJA et al, (2004) Caracterización Natural, delimitación de peligros en la zona de La Sierra La Primavera, Valle de Tesistán y Cerro El Tepopote, Universidad de Guadalajara-Ayun-tamiento de Zapopan. (inédito)

VALDIVIA ORNELAS Luis, M del Rocío CASTILLO AJA, José G. ROSAS ELGUERA, Ana T. ORTEGA, Patricia ZAMORA, Martín BALTASAR. (2004) "Origen del sistema de galerías (grietas) en la zona de Tesistán (Santa Lucia-Nextipac), Zapopan, Jalisco". En Carta Económica Regional, Octubre-Diciembre de 2004, Año, 17, Núm. 90.

ZENTENO ORTEGA, "Se formó una grieta en Residencial Poniente" en "El Sol de Guadalajara" 1978, Primera Página. No.10407, Año XXXI. Organización Editorial Mexicana.

Cartografía y Fotografía Aérea.

INEGI (1971) Fotografía aérea color escala 1: 25,000

INEGI (1993) Conjunto de datos vectoriales de la carta topográfica 1:50,000 F13D65 Guadalajara Oeste.

IKONOS (2002) Imagen satelital para el Valle de Tesistán, Zapopan, Jalisco

### **INFORMACION PARA COLABORADORES.**

Los trabajos deben acompañarse de una solicitud por escrito dirigida al Director Editorial de la revista y firmada por el autor (es), en la que se indicarán los siguientes datos:

Título del trabajo.

Nombre, domicilio y correo electrónico.

Nombre de la Institución donde labora.

### **NORMAS PARA LA PRESENTACIÓN DE ORIGINALES.**

1. Los manuscritos deberán ser trabajos originales e inéditos y no deberán someterse para la publicación simultánea a otra revista.
2. Extensión: Los trabajos tendrán una extensión máxima de entre 60 y 70 cuartillas, en tamaño carta, a doble espacio.
3. Ilustraciones: Los mapas, gráficas, tablas e imágenes, serán numerados según su orden de aparición y debidamente referenciados en el texto, señalando siempre su procedencia o fuente de referencia del autor. Es indispensable que se incluyan, en el caso de las fotografías,

originales de buena calidad y en el caso de cuadros, mapas y otras figuras, se requiere el soporte original acompañado de dos fotocopias. El número de mapas, gráficas, tablas e imágenes no deberá ser mayor de 10 y serán entregados en formato tamaño media carta. Por cuestiones técnicas, la Editorial se reserva el derecho de seleccionar la cantidad de ilustraciones.

4. El trabajo deberá entregarse en CD y el archivo de texto en Word 6.0. Si las figuras, tablas o mapas se realizaron con algún programa de cómputo específico también deberá precisarse claramente (de preferencia en formato JPG, TIF, etc.). Además se anexarán dos impresiones que cumplan con los requisitos ya señalados.

5. Autores: Bajo el título general se colocará el nombre del o los autores, incluyendo a pie de página la profesión o cargo principal con el que desean ser presentados.

6. Resumen: Todos los trabajos deberán incluir un resumen no mayor de 10 líneas sobre el objetivo, método y conclusiones del trabajo, así como las palabras clave dentro del desarrollo del tema.

7. Notas de pie de página: Deberán ser numeradas con notación progresiva.

8. Bibliografía: Las obras citadas en el texto irán entre paréntesis e incluirán: autor, año y página. Las referencias completas se enlistarán al final del trabajo anotando, en caso de libros: autor, año, título del libro, editorial y páginas. Cuando se trate de artículos de revistas o capítulos de libro, deberán incluirse los datos del compilador y título general de la obra, así como las páginas que corresponden al trabajo citado.

9. Abreviaturas: Se incluirá un listado de las abreviaturas y su significado, ubicándolo después de la bibliografía consultada.

10. Datos académicos: En hoja aparte, deberá incluirse una breve referencia sobre el o los autores, con extensión máxima de 10 líneas, respecto a su formación académica, experiencia profesional más destacable, actual posición laboral, y en su caso, principales publicaciones.

11. El Comité Editorial de *GEOCALLI Cuadernos de Geografía* decidirá la pertinencia de publicar los originales que se le presenten, atendiendo a las características formales y calidad del contenido. A la brevedad posible se remitirá el dictamen avalado por el Comité Editorial.

*GEOCALLI. Cuadernos de Geografía.*

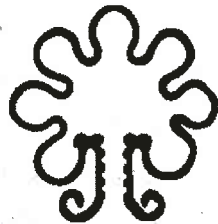
Departamento de Geografía y Ordenación Territorial.  
Avenida de los Maestros y Mariano Bárcena, 1er. Piso,  
Guadalajara, Jalisco, México. C.P. 44260

Tel. y Fax. (3) 8193381 y 8193386

Correo Electrónico: [chongmunoz@yahoo.com.mx](mailto:chongmunoz@yahoo.com.mx)

[lucia\\_torres@yahoo.es](mailto:lucia_torres@yahoo.es)





Números anteriores de  
**Geocalli Cuadernos de Geografía**

1. Políticas urbanas en Ciudad Guzmán
2. Análisis territorial de Tonalá
3. Las regiones geomorfológicas del Estado de Jalisco
4. Regiones y globalización
5. Paisaje, instrumento de gestión
6. Región y método
7. Límites municipales en Jalisco
8. Morfología urbana y propiedad inmobiliaria
9. Gestión turística en centros históricos
10. Usos y funciones en centros históricos
11. Cartografía del turismo
12. Mapa social de Guadalajara
13. Geografía y ordenamiento territorial
14. Desarrollo territorial y paisaje
15. Evolución regional de Tierra del Fuego

Visítenos en la página: [www.cucsh.udg.mx](http://www.cucsh.udg.mx)

El número 16 de *Geocalli*  
*Cuadernos de Geografía*, se terminó de  
imprimir en el mes de septiembre de 2007  
en los talleres de  
EDICIONES DE LA NOCHE

Madero 687 Zona Centro, 44100  
Guadalajara, Jalisco  
Tiraje: 500 ejemplares.