

RIEGOS NATURALES EN EL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

Luis Valdivia Órnelas
Carlos Suárez Plascencia
Investigadores, facultad de Geografía, Universidad de Guadalajara,
Jalisco, México

RESUMEN

Se discuten los primeros resultados del proyecto de investigación "Geomorfología del entorno del Área Metropolitana de Guadalajara escala 1:25,000 y análisis de los Riesgos Naturales escala 1:10,000. Los riesgos naturales a que está expuesta la segunda ciudad en importancia de México, son de origen sísmico, volcánico así como inundaciones, hundimientos y deslizamiento de tierras; su elaboración requirió del análisis fotogramétrico, recorridos de campo en las excavaciones profundas que se llevan a cabo en la ciudad con objeto de reconstruir los eventos geológicos que dieron origen al relieve de la ciudad y como ésta fue transformándose a través de rellenos y nivelación para dar cavidad al crecimiento urbano de los últimos 50 años; también se realizó la consulta de documentos, fotografías, charlas con personas de avanzada edad, así como la aplicación de diversos métodos morfométricos y geomorfológicos".

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia de la humanidad, la preocupación por conocer sitios donde establecer asentamientos poblacionales que representen menores riesgos a los fenómenos naturales han sido mínima, es así como el hombre ha tenido que enfrentar los embates de la naturaleza con una falta de planeación y ordenamiento de los usos y aprovechamientos del suelo en donde se asientan.

CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA METROPOLITANA DE GUADALAJARA

El presente estudio se llevó a cabo en el Área Metropolitana de Guadalajara (A.M.G.), ubicada en el occidente del país a 20°45' Norte y 103°25' Oeste, esta urbe se compone territorialmente por la conurbación de los municipios de Guadalajara, Zapopan, Tlaquepaque y Tonalá.

La evolución del crecimiento urbano de la actividad de Guadalajara a partir de 1930 fue el siguiente: En 1930 cubría una superficie de 2,089 hectáreas en la que habitaban 190,000 personas; en la década de los cuarenta se manifiesta el proceso de urbanización de manera general en Latinoamérica, el cual se consolida en Guadalajara en la década de los cincuenta al presenta la ciudad cambios sustanciales en su distribución territorial como resultado de la creación de la "zona industrial" dentro del perímetro urbano, ello ocasionó que la poblacional en el occidente del país, a partir de este momento Guadalajara experimenta un incremento en las tasas de crecimiento poblacional, quienes llegan al 5% anual en la década de los 70's, este crecimiento provocó una

demanda constante se superficie para un uso habitacional, industrial o de servicios, haciendo con ello que la ciudad crecería de manera anárquica conurbana los municipios vecinos y con ello creando el Área Metropolitana de Guadalajara, la cual en 1990 alcanzó una superficie de 33,000 hectáreas y una población cercana a los 3 millones de habitantes.

El crecimiento desmedido de la mancha urbana propició un brusco cambio en el uso del suelo natural y agropecuario a usos urbanos en las áreas inmediatas a la ciudad, rompiendo procesos naturales como la infiltración de las aguas pluviales, suspensión de las corrientes superficiales y subterráneas, además de acelerar los procesos erosivos en las estructuras volcánicas periféricas a la ciudad.

El cambio del uso del suelo y la deficiente urbanización de la ciudad, ha proporcionado una problemática que se manifiesta a través de inundaciones fenómenos de remoción en masas, asolvamiento de la red de drenaje, hundimientos de calles, así como la generación de grietas en áreas que antiguamente fueron lacustre o fueron utilizadas con fines agrícolas.



GEOLOGÍA Y ESTRATIGRAFIA

En el pie de monte o más comúnmente denominado “Valle de Atemajac” se encuentra asentada la ciudad de Guadalajara la cual se limita por los siguientes elementos del relieve: al sur la cadena volcánica de Guadalajara, con orientación NW-SE caracterizada por una serie de aparatos volcánicos monogenéticos, algunos de ellos de composición andesítica-basáltica, como lo es el Cerro del Cuatro con una altura de 1.850 m.s.n.m., y otros compuestos exclusivamente de tefra como lo son el cerro de Guadalajara (1600 m.s.n.m.), con una altura relativa de mts y un diámetro de 1.200 mts, esta estructura se encuentra por un volcán de amplia base que se denomina Papantón de Juanacatlán, la estructura delimita al pie de monte de Atemajac del valle de Toluquilla, hacia el Este y Noreste se encuentra delimitado por un cañón profundo de génesis tectónico-erosivo de aproximadamente 500 mts de profundidad, que en algunos trechos se estrecha, generando paredes verticales

en donde la litología lo permite, al fondo de esta depresión fluye el río Grande Santiago perteneciente a una de las redes hidrográficas más importantes del país; al Norte se ubica la Sierra de San Esteban, complejo granítico del mioceno, el cual se encuentra cubierto en su base por secuencias de la ignimbrita Guadalajara y la ignimbrita San Gaspar ambas fechas por Gilbert (1988) en 1.5 m.a., y 3.5 m.a, respectivamente; al Noreste se localiza la sierra de Tesistan, conformada por una serie de estructuras terciarias con orientación norte-sur así como el emplazamiento de varios domos de composición riolítica, siendo el más joven el cerro de la Col con una altura de 2.200 m.s.n.m., éste presenta varios taludes verticales en donde se generan importantes desplazamientos de masa, principalmente caída de grandes bloques de roca; hacia el SSW del cerro de la Col se encuentra una serie de domos emplazados sobre una estructura semicircular abierta hacia el SSW, la cual ha sido cortada por el patrón de fallas NW-SE predominante en la región, colindando con esta estructura semicircular se ubica en el emplazamiento de una caldera riolítica holocénica, dentro de la cual también se han emplazado una serie de domos, siendo el más joven el del Colli (1.800 m.s.n.m.), con 15.000 años.

El “valle” de Atemajac ha sido conformado por una serie de depósitos plinianos originados por la actividad volcánica de la sierra de la Primavera, los cuales han sido alterados por secuencias erosivas fluviales y lacustres originadas en las etapas de reposo de la actividad volcánica de las estructuras que rodean a la ciudad, estas etapas han sido muy pequeñas en tiempo, dada la casi o inexistencia de paleosuelos en la mayor parte de los afloramientos.

En el trabajo de campo se levantaron 20 columnas de tefras localizadas por toda el A.M.G., identificándose tres niveles plinianos nominados como A, B, y C. El nivel pliniano A, corresponde a la Toba Tala de una edad de 120,000 años (Mahood, 1985), localizada en el sector noreste, oeste y suroeste de la ciudad, con espesores entre los 6 y 12 metros. El nivel B, pertenece a una secuencia pliniana en su mayor parte continúa a excepción de la zona SSW, en la que se identificaron importantes procesos fluviales. El nivel B y el C se encuentran separados por una capa de líticos de un espesor promedio de 10 cms., y se mantiene continuo en los sitios ubicados al Oeste de la Ciudad. El nivel pliniano C, corresponde a un paquete pumítico localizado en su mayor parte en el oriente de la ciudad, la principal característica de él es contener un estrato de toba arenosa de color café, cuyo espesor disminuye (?) hacia el Oeste.

Los tres niveles sobreyacen a las secuencias ignimbríticas plio-pleistocénicas descritas por Gilbert (1988. et. al.), además de derrames de basalto y andesita provenientes de las estructuras monogenéticas ubicadas en el sur de la ciudad, Esta unidad basal ha sido sometida a procesos neotectónicos que han propiciado una serie de fallas y basculamiento de toda esta unidad, la cual ha sido cubierta por el paquete pumítico dando al pie de monte una morfología de lomeríos el cual ha sido cortado por varias corrientes fluviales importantes como lo son el río San Juan de Dios con orientación norte-sur y el Arroyo de Atemajac con orientación Oeste-Este, el Arroyo de Osorio, con orientación norte-sur y algunos otros.

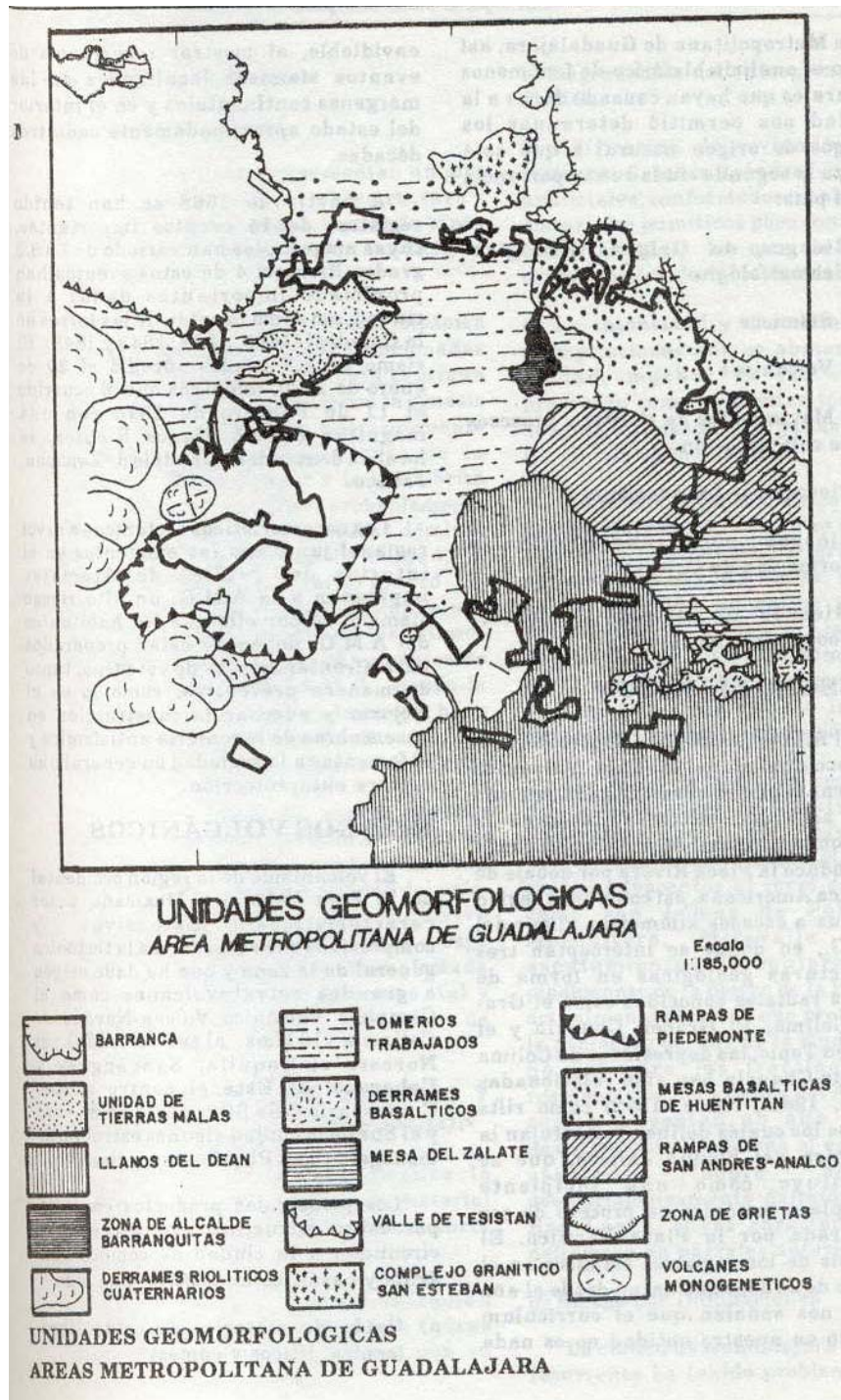
En el pie de monte se han generado una serie de eventos volcánico-tectónicos y erosivos, de los cuales el elemento más importante ha sido casi interrumpidamente la actividad volcánica la cual ha eyectado materiales de composición silíceo como son las tobas ácidas (pómez), las ignimbritas riolíticas, andesitas, andesitas-basalto y basaltos de distintas edades y composición química; a los períodos de reposo de la actividad ígnea se han originado períodos erosivos, los cuales se ven interrumpidos por le reinicio de la actividad volcánica.



En el pie de monte se han diferenciado 9 unidades conformadas por las siguientes formas:

- a) **Lomeríos Trabajados** en materiales esencialmente volcánicos.
- b) **Rampas de Pie de monte**, formadas principalmente por material pumítico de caída y tobas, intercaladas con algunos horizontes de material reabajado.
- c) **Unidades de Tierras malas (Bad Lands)**, que se encuentra representada por secuencias pumíticas silíceas, principalmente de la familia Tala.
- d) **Llanos de Dean**, que es una secuencia lacustre intercalada con material reabajado y de pómez de caída.
- e) **Zona de Mesas Basálticas de Huentitlán**, éstas se encuentran conformadas por una sucesión de derrames basálticos intercalados con secuencias riolíticas e ignimbriticas.
- f) **Mesas del Sálate**, esta unidad se encuentran constituidas por materiales ignimbriticos de la Familia Guadaluajara o San Gaspar.
- g) **Zonas de Rampas de San Andrés-Analco**, compuestas fundamentalmente por material volcánico de caída sobre un basamento a seis metros de profundidad, compuesto por basalto vesicular, andesita (7) e ignimbrita San Gaspar.
- h) **Zona de Alcalde Barranquitas**, esta unidad se caracteriza por una serie de secuencias erosivas importantes, con una granulometría de arenas medias o finas, con lagunas secuencias de paleosuelos de varios centímetros de espesor. (ver Mapa).

DEFINICIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LOS RIESGOS NATURALES



El análisis geológico-geomorfológico conjuntado con el estudio de las variables climáticas prevalecientes para el Área Metropolitana de Guadalajara, así como el análisis histórico de fenómenos naturales que hayan causado daños a la ciudad nos permitió determinar los riesgos de origen natural a que está sujeta la segunda ciudad en importancia en el país:

a) Riesgos de Origen Geológico-Geomorfológico

*Sísmicos

*Volcánico

*Movimientos de tierras y procesos de colmatación

b) Riesgos por Inundaciones

c) Riesgos por Hundimientos y Formación de Grietas

a) Riesgos de Origen Geológico-Geomorfológico

RIEGOS SÍSMICOS

El A.M.G., se localiza dentro del sector occidental de la Faja Volcánica Mexicana, que es caracterizada por una gran actividad tectónica, tanto en la margen continental del Pacífico en donde se subduce la Placa Rivera por debajo de la Placa Americana, así como en la región ubicada a escasos kilómetros al sur del A.M.G., en donde se interceptan tres estructuras geológicas en forma de brazos radiales conocidas como el Graben Colima, El graben Chapala y el Graben Tepic; las depresiones de Colima y Tepic-Chapala han sido relacionadas (Lurh, 1985., Nieto. 1992) como rifts activos los cuales definen y controlan la tectónica en procesos de ser capturada por la Placa Pacífico. EL análisis de los registros sísmicos en el estado de Jalisco que datan desde el año 1568, nos señalan que el vitae sísmico en nuestra entidad nos es nada envidiable, al mostrara recurrencia de eventos sísmicos localizados en las márgenes continentales y en el interior del estado aproximadamente cada tres décadas.

A partir de 1568 se han tenido registros de 14 eventos importantes, cuyas magnitudes han variado de 7 a 8.3 grados Richter; 4 de estos eventos han propiciado importantes daños a la ciudad, así como la caída de las torres de la Catedral (1806, 1818, 1843 y 1848). El sismo de 8.3 grados sucedió el 20 de Enero de 1900, mientras que el ocurrido el 11 de Febrero de 1975 con una magnitud de 7.5 grados Richter, se localizó dentro del municipio de Zapopan, Jalisco.

Las características tectónicas a nivel regional junto con las existentes en el interior del “valle” de Atemajac impregnan a la A.M.G., un alto riesgo sísmico, es por ello que los habitantes del A.M.G., deben de estar preparados para afrontar riesgos de este tipo, tanto de manera preventiva, como lo es el mejorar y adecuar la construcción en base a obras de ingeniería antisísmica y el fomentar a la sociedad en general una cultura autoprotección.

RIEGOS VOLCÁNICOS

El volcanismo de la región occidental de la Faja Volcánica Mexicana posee características distensivas y compresivas que responden a la tectónica general

de la zona y que ha dado origen a grandes estrato volcanes como el Complejo Volcánico Volcán-Nevado de Colima a 110 kms., al sur del A.M.G., al Noreste de Tequila, Sanganguey y Ceboruco; al Este el centro silíceo Cuaternario de la Sierra de la Primavera y al sur de la ciudad algunas estructuras monogenéticas Plio-Cuaternarias. Los principales productos emitidos por estas estructuras volcánicas que circundan a la ciudad de composición ácida y basáltica-andesítica, han sido:

- a) Caída de material de caída libre (ceniza, líticos y pómez)
- b) Flujos ignimbriticos
- c) Derrames de lava

Estos productos representan aun alto riesgo sobre la vida, la infraestructura y el equipamiento urbano instalado tanto en el A.M.G. como en los municipios vecinos.

La evolución de la actividad volcánica en las estructuras ígneas mencionadas se han manifestado de manera continua desde el Terciario superior con la génesis de la sierra de Tesistán, posteriormente se sucedió el emplazamiento de la ignimbrita San Gaspar y la ignimbrita Guadalajara, ésta última probablemente proveniente de las estructuras dómicas localizadas al NW de la ciudad; la actividad plio-cuaternaria generó las estructuras basáltico-andesíticas del sur de la ciudad; finalmente en los últimos 120,000 años la actividad volcánica se concentró al Este del A.M.G., siendo la más reciente aproximadamente hace 15,000 años (Mahood, Et. Al) y corresponde al Domo riolítico del Colli.

La actividad de otros centros eruptivos alejados del A.M.G, como es el Volcán de Colima que en la actualidad es el volcán con mayor actividad del país. Una actividad de tipo explosivo representaría para el A.M.G. un riesgo mínimo, dado que ésta se vería afectada por una pequeña capa de ceniza, tal y como ocurrió en la erupción Pliniana de enero de 1913.

MOVIMIENTOS DE TIERRAS Y PROCESOS DE COLMATACIÓN

Este tipo de riesgos implica la remoción de cierto volumen de material geológico, cuya génesis es consecuencia de:

- a) Los procesos de urbanización anárquicos sobre áreas de altas pendientes y vertientes que por su litología son inestables.
- b) Degradación del entorno natural del A.M.G.
- c) Edificación de viviendas de tipo residencial sobre taludes naturales o artificiales, conformados totalmente por materiales pumíticos poco consolidados. (Bad Lands), lo que le da una característica de inestabilidad.
- d) La intensidad y el volumen de las precipitaciones que se abaten sobre la ciudad, muchas de las cuales presentan como tormentas torrenciales que han alcanzado en algunas ocasiones los 50mm en media hora.

Estos dos últimos puntos provocan que los materiales rompan su cohesión y entren en movimiento pro gravedad, lo que ocasiona daños a fincas, problemas de colmatación de calles y canales superficiales utilizados para la captación de las aguas pluviales, así como el asolve de la red de drenaje, así como el asolve de la red de drenaje, proporcionando con ello, graves problemas de inundación durante los meses de la estación lluviosa.

Las zonas de la ciudad con este tipo de problemática se localizan fundamentalmente en las áreas habitacionales populares del sur de la ciudad adyacentes al cerro del Cuatro, como son Lomas de Polanco, la Mezquitera, Miravalle y otros asentamientos irregulares en el pie de monte de la Sierra de la Primavera, actualmente el riesgo que presenta para la población del sur de la ciudad es bajo no así para los fraccionamientos residenciales del oriente del A.M.G., los cuales presentan un alto riesgo de desplazamiento de tierras al encontrarse asentados sobre el área geomorfológicamente definida como de Bad Lands, cuyas características se definieron en párrafos anteriores.

d) Riesgos por Inundaciones

La ciudad de Guadalajara de manera recurrente ha tenido problemas graves de inundaciones, dado que la infraestructura para la captación de las aguas pluviales en varias zonas de la ciudad no es capaz de desalojar los volúmenes precipitados durante tormentas torrenciales, ello fundamentalmente por:

- 1) El diseño de la red urbana al estilo español, con una traza urbana orientada norte-sur y oriente-poniente.
- 2) Una red de drenaje y alcantarillado antigua construida en la década de los 50^{is} para dar servicio a una ciudad de aproximadamente 800,000 habitantes, lo que la hace actualmente obsoleta para desalojar las aguas precipitadas durante las tormentas del verano ocasionando inundaciones principalmente en sitios puntuales del sector Oriente y Suroeste de la ciudad.
- 3) El mal diseño y ubicación de las bocas de tormenta.
- 4) El crecimiento acelerado de las superficies pavimentadas, lo que provoca que los coeficientes de escorrentía aumentan considerablemente y los de infiltración se abatan.
- 5) El desconocimiento total de la topografía que presenta el valle de Atemajac, (pendientes, antiguos cauces, etc.).

Otra de las causas que generan altos índices de inundaciones, son la urbanización en zonas topográficamente bajas (antiguos lagos), como las localizadas al sureste de la ciudad dentro de la unidad geomorfológica del Dean.

c) Riesgos por Hundimientos

El crecimiento experimentado por le A.M.G., a partir de la década de los cuarenta se llevó a cabo modificando las características que presentaba el relieve de la ciudad, a través de:

- a) El relleno con escombros de barrancas semiprofundas formadas sobre materiales pumíticos que representaban cauces permanentes todo el año.
- b) El entubamiento de cauces permanentes o semipermanentes para ampliar la infraestructura vial necesaria para el crecimiento de la ciudad.
- c) La nivelación del terreno para el fraccionamiento y construcción de nuevas colonias.

El acelerado proceso de crecimiento de la ciudad fue llevado a cabo de manera anárquica, sin que mediara algún tipo de plan que normara el crecimiento sobre áreas inestables geológicamente por ser áreas inestables geológicamente por ser poco consolidadas así como la supervisión del correcto confinamiento y compactación de los rellenos de escombros.

Los hundimientos generados en la ciudad han tenido como denominador común el agua a través de:

- a) **Fugas de las redes de drenaje y agua potable, debidas principalmente a su antigüedad, y al asentamiento el terreno sobre le cual descansan los tubos.**

Este problema ocasiona la remoción de material de bajo peso específico (pómez) o poco consolidado, creando hundimientos en viviendas y calles construidas sobre terrenos que en un pasado fueron barrancas y que posteriormente fueron deficiente rellenadas con escombros.

Las zonas de la ciudad que presentan problemas importantes de hundimientos es la zona centro-norte de la ciudad en un área conocida como Alcalde Barranquitas; la zona Norte en las colonias Jardines Alcalde, Independencia y otras aquí cabe mencionar al conjunto habitacional Villas de San Juan, construido la década pasada sobre terrenos que formaban el cauce del río San Juan de Dios, el cual fue entubado y relleno con escombros, comienza a presentar problemas de cuarteaduras de 45° por asentamiento a pesar de ser de reciente construcción.

- b) **Las considerables extracciones de agua realizadas en pozos y norias, muchos de lo cuales son clandestinas.**

La zona de la ciudad que manifiesta esta problemática es el Sureste, en el área definida geomorfológicamente como el Dean, en ellas se localizan las colonias La Nogalera, Alamo Industrial, Atlas y otras, la causa de los hundimientos es debido a la compactación diferencial por extracción de agua del subsuelo construido por tobas pumíticas y sedimentos lacustres que son materiales

permeables y semipermeables que yacen sobre un lecho de roca impermeable de composición andesítico-basáltico.

c) El movimiento inadecuado de los mantos freáticos a consecuencia del cambio del uso de suelo agrícola a un uso urbano en la periferias de la ciudad.

Lo cual ha provocado que en la planicie de Tescacán (que se caracteriza por tener buena alimentación hídrica), se formen grietas similares a las generadas en el antiguo lago de Texcoco, en el distrito Federal, debido al fenómeno de sufusión que es el proceso de lixiviación de sales del suelo (sílice) el cual cementa la estructura microgranular de los suelos, mientras que a profundidad se da el arrastre de partículas no consolidadas por aguas subterráneas, ello produce con el tiempo el colapsamiento de todo el cuerpo superior (Lugo Hupp, 1989), formando grietas cerradas de diferentes dimensiones y profundidad, en el caso de las grietas del valle de Tescacán, éstas tienen dimensiones hasta las que sobrepasan los 10 metros de longitud y 7 metros de profundidad, hasta ahora la formación y desarrollo de éstas grietas no han afectado a las localidades cercanas.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos durante la investigación de los Riesgos Naturales del A.M.G., muestran que la segunda ciudad del país está expuesta a varios tipos de riesgo como son los; sísmicos, los volcánicos, los hundimientos, los deslizamientos de tierras e inundaciones. Los dos principales son de carácter regional y son el resultado del sistema tectónico activo proveniente de la subducción de la placa Rivera y la margen continental y de las estructuras de rift localizadas al sur de la ciudad, esta tectónica se refleja en el subsuelo del A.M.G., en el cual se han localizado un sistema de fallas inversas activas, que afectan tanto la ignimbrita San Gaspar como derrames de basalto-andesita, éstas se encuentran cubiertas por el paquete pumítico proveniente de la actividad Holocénica de la Sierra de la Primavera, las características tectónicas mencionadas como la actividad volcánica reciente en las estructuras volcánicas que circundan a la ciudad, impregnan al A.M.G., de alto riesgo sísmico y volcánico.

La deficiente o nula planeación del crecimiento de Guadalajara a partir de la década de los cuarenta al adecuar el relieve para aumentar la superficie de la ciudad de 20,000 hectáreas en 1940 a 300,000 en 1990 mediante:

- 1) Rellenos de escombros mal compactados
- 2) Nivelación de elevaciones topográficas
- 3) El bloqueo cauces de arroyos de temporal al fraccionar y construir nuevas colonias
- 4) Los cambios de uso de suelo
- 5) La sobre explotación de los acuíferos del subsuelo de Guadalajara.

Estas acciones han favorecido determinantemente el incremento de los riesgos por hundimientos, deslizamientos de tierras e inundaciones en varias zonas del A.M.G.

Las propuestas para la mitigación de los riesgos naturales en el A.M.G., son:

- a) Adecuar los planes de ordenamiento territorial y de reservas urbanas de acuerdo a las características geológico-geomorfológicas de cada área en específico.
- b) Hacer obligatorio el empleo de tectónicas antisísmicas de todas las construcciones de Guadalajara.
- c) Llevar a cabo un estudio de las condiciones actuales que presentan las redes de agua potable y drenaje.
- d) Restringir el crecimiento de la mancha urbana hacia el valle de Tesistán y la Sierra de la Primavera.
- e) Incrementar en la ciudad como en los municipios vecinos las redes de monitoreo sísmicas, atmosféricas y de acelerógrafos, a fin de contar con adoptar medidas adecuadas para la mitigación de los riesgos.

BIBLIOGRAFÍA

- Lugo Hupp, J. 1980. **Diccionario Geomorfológico**. Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México.
- Lurh, J.F., S.A. Nelson, J.F., Allan y I.S.E. Carmichael. 1985. **Active Rifting in SW México. Manifestations of an inceptente eastward spreading ridge-jum**. *Grology*. 13: 54-57.
- Mahood G.A. 1981. **Geological Evolution of Pleitocene Rhyolitic Center. Sierra La Primavera, Jalisco, México**. *Jour Geophys. Res.* 86: 10137-10152.
- Nieto Obregón, J., Delgado argote. L.A. y Damon P.E., 1985. **Geochonologic. Petrologic and estructural Data Related to Large Morphologic Featuares between the Sierra Madre Occidental and the Mexican Volcanic Belt**. *Geof. Inter.* 24848: 623-664.
- López Aída. 1991. **Contribución al Estudio Geológico de la Caldera de la Primavera, Jalisco**. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México.