

CAMBIOS MORFOLÓGICOS DEL TERRENO EN LA CUENCA DE EL AHOGADO, CAUSADOS POR LA EXPANSIÓN DEL ÁREA URBANA DE GUADALAJARA.

J. Jesús Díaz-Torres, Elizabeth León-Becerril, Alberto López-López,
Gustavo Dávila-Vázquez y Juan Gallardo-Valdez

Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A. C.
Av. Normalistas #800, Col. Colinas de la Normal C. P. 44270, Guadalajara, Jalisco, México
e-mail: jdiaz@ciatej.net.mx

RESUMEN

La cuenca de El Ahogado tiene un sistema hidrológico complejo, debido a la gran variedad de actividades productivas que allí se han establecido. El desarrollo de estas actividades se asocia con el crecimiento urbano y la extensión del Área Metropolitana de Guadalajara (AMG).

El análisis de dos modelos digitales de elevación con diferente escala espacial, exhibe la influencia de la extensión del área urbana de Guadalajara dentro de la cuenca de El Ahogado. La construcción de infraestructura urbana sobre el sistema natural de drenaje ha provocado la modificación de la morfología del terreno, esta se refleja en la configuración obstaculizada del sistema de subcuencas y su red de drenaje. La obstrucción de sus cauces naturales ha causado el detrimento de algunos procesos físicos, necesarios para sostener el equilibrio de las condiciones naturales de los cuerpos de aguas superficiales y subterráneas.

En la actualidad el AMG continúa creciendo de forma desordenada, y la morfología del terreno en la cuenca de El Ahogado es uno de los principales factores que deben ser incluidos dentro de los criterios de evaluación de factibilidad, aptitud y uso del suelo para el ordenamiento de su territorio. La implementación de modelos conceptuales como Presión-Estado-Respuesta (PER) representan una base sobre la cual se pueda apoyar un esquema de ordenamiento que fomente el desarrollo urbano, con un bajo factor de impacto sobre la morfología del terreno y el ambiente de El Ahogado.

Palabras clave: Cuenca, El Ahogado, MDE, Geomorfología, Infraestructura Urbana, Guadalajara.

1 INTRODUCCIÓN

La cuenca de El Ahogado pertenece al sistema de cuenca hidrológica Lerma-Chapala-Santiago, tiene una extensión de ~510.40 km², y está compuesta por tres unidades geomorfológicas. Entre estas predomina una amplia planicie cubierta por material pumítico y aluvial provenientes de la Sierra La Primavera. La morfología de la cuenca está constituida por amplios valles rodeados de estructuras volcánicas, típica de la región occidental del Eje Neovolcánico, pero con una estratigrafía diferente al resto de la provincia.

La morfología de la cuenca de El Ahogado se ha visto modificada debido a la construcción de infraestructura vial e hidráulica asociada con el crecimiento del área urbana y la población de la ciudad de Guadalajara. El crecimiento urbano también ha provocado el cambio en el uso del suelo, y consecuentemente ha reducido el área de recarga. Estos cambios inciden sobre la calidad y disponibilidad de agua superficial y subterránea en el área de estudio, por lo que su estado de degradación del recurso hídrico afecta de forma directa el ambiente y la salud de la población asentada dentro de la cuenca.

La rápida expansión del área urbana impone la necesidad de identificar dichos cambios, así como el monitoreo de aquellos que se tengan previstos, con el objetivo de evaluar su impacto ambiental.

El análisis geomorfológico de la cuenca de El Ahogado a partir de dos modelos digitales de elevación con diferente resolución, ofrece una perspectiva de los cambios significativos causados por la construcción de infraestructura urbana hasta el año 2001. Los resultados de este trabajo exhiben algunas zonas de interés, donde es necesario evaluar el desarrollo de la nueva infraestructura urbana.

Este trabajo tienen como objetivo caracterizar las condiciones naturales de la morfología del terreno que existían hasta antes de la expansión urbana, por medio de un modelo digital del terreno con resolución media; y establecer un contraste respecto a la condición alterada del terreno, representada por un modelo de alta resolución espacial.

2. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

La estratigrafía regional de la cuenca de El Ahogado está constituida por rocas que pertenecen a tres provincias geológicas: El Basamento cordillerano del Bloque Jalisco (BJ); el vulcanismo de la Sierra Madre Occidental (SMO) y al vulcanismo del Eje Neovolcánico Transmexicano (ENVT).

2.1. EL BLOQUE JALISCO

Está formado por una secuencia de rocas volcánicas de lavas riolíticas y andesíticas, depósitos volcanoclásticos y rocas sedimentarias marinas, que se desarrolló entre el Cretácico tardío y el Paleoceno tardío (Gastil *et al.*, 1978). La secuencia estuvo expuesta a metamorfismo de grado medio, plegamiento y fallamiento, y fue intruida por rocas plutónicas de granito, granodiorita y tonalita que se emplazaron durante el Cretácico tardío y el Eoceno medio: estas rocas constituyen al Batolito de Puerto Vallarta (Ferrari *et al.*, 2000). El análisis de un perfil estratigráfico extraído en el centro de la Sierra La Primavera confirma la presencia de la secuencia de rocas del Bloque Jalisco a más de 100 m de profundidad, respecto al nivel medio del mar (Ferrari *et al.*, 2000).

2.2. LA SIERRA MADRE OCCIDENTAL

Se formó adyacente al Bloque Jalisco y a lo largo del Graben de Tepic, donde afloran ignimbritas formadas por la explosiva actividad volcánica, representativa de la región sur de la Sierra Madre Oriental. Las unidades de ignimbritas que afloran en la barranca del Río Santiago en torno a la Presa Santa Rosa, al sur y oriente del Lago de Chapala, están compuestas por capas de flujos de cenizas que se depositaron durante el Mioceno temprano (Ferrari *et al.*, 2000; Ferrari *et al.*, 2002; Rossotti *et al.*, 2002), sus edades son semejantes a las ignimbritas que se han documentado en trabajos previos en la región norte de Jalisco y en los estados de Zacatecas y Durango (Nieto-Obregón *et al.*, 1985; Moore *et al.*, 1994; Webber *et al.*, 1994). El análisis de la columna estratigráfica tomada de la Caldera de Sierra La Primavera señala que en la secuencia estratigráfica de la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) y sus alrededores, hay una inconformidad que separa a rocas emitida por la actividad de SMO y el Eje Neovolcánico. El lapso de tiempo de esta inconformidad corresponde al orden de ~10 Ma (Ferrari *et al.*, 2000; Rossotti *et al.*, 2002), esto sugiere la ocurrencia de un evento tectónico que provocó la ausencia de las ignimbritas de la SMO para dar inicio a la actividad del Eje Neovolcánico (Rossotti *et al.*, 2002).

2.3. EJE NEOVOLCÁNICO TRANSMEXICANO

La región occidental del *Eje Neovolcánico Transmexicano* tuvo su origen con el inicio del vulcanismo durante el Mioceno medio-tardío (Ferrari *et al.*, 2000; Rossotti *et al.*, 2002), y está relacionado con la subducción de la Placa Rivera y la Dorsal del Pacífico Oriental (Demant, 1979). El ENVT se caracteriza por la alternancia en la composición magmática (Rossotti *et al.*, 2002). La última etapa de la actividad volcánica explosiva registrada

corresponde a la que generó el Complejo Volcánico de Sierra La Primavera, está constituida por lavas riolíticas, derrames piroclásticos, tobas y depósitos lacustres y aluviales que se formaron durante el Pleistoceno superior (Mahood, 1977; 1980), esta explosividad cesó hace ~97-95 Ka (Demant y Vincent, 1978; Mahood, 1980; Urrutia-Fucuguachi *et al.*, 2000). Con la emisión de la toba Tala (~120-95 Ka), la cámara magmática de La Primavera se colapsó y formó una caldera volcánica donde se depositaron sedimentos lacustres. El vulcanismo al interior de la caldera se reactivó y comenzó a emitir lavas para formar el complejo de domos riolíticos dentro de la caldera de La Primavera (Demant y Vincent, 1978; Mahood, 1980). Este proceso se mantuvo por ~70 Ka y concluyó con la formación del Domo El Coli hace ~30 Ka (Mahood, 1980).

La emisión de la toba Tala generó grandes cantidades de material pumítico y ceniza de caída aérea que se depositaron en torno a Sierra La Primavera, formando gruesos paquetes sedimentarios (Demant y Vincent, 1978), parte de estos sedimentos yacen sobre gran parte de la planicie de la cuenca de El Ahogado.

2.4. UNIDADES LITOLÓGICAS EN LA SUPERFICIE DE LA CUENCA DE EL AHOGADO

La litología en la cuenca de El Ahogado está constituida por rocas del Mioceno tardío al Pleistoceno ((Demant y Vincent, 1978; Mahood, 1977 y 1980; Ferrari *et al.*, 2000; Urrutia-Fucuguachi *et al.*, 2000; Rossotti *et al.*, 2002; Rosas-Elguera *et al.*, 1997), estas se distribuyen de la siguiente forma:

En el sector norte de la cuenca afloran derrames basálticos y conos cineríticos de composición basáltica y andesítica que definen a la Cadena Volcánica del Sur de Guadalajara, estos derrames se produjeron durante el Plioceno-Pleistoceno, previo a la formación del Complejo Volcánico de La Primavera.

El límite sur de la cuenca está sobre una pequeña sierra formada predominantemente por rocas compuestas por lavas andesíticas a basálticas, desarrolladas durante el Pleistoceno.

El sector oeste de la cuenca está formado por un conjunto de domos riolíticos que pertenecen a la Sierra La Primavera y se desarrollaron durante el Pleistoceno tardío. El piedemonte y planicies y de la cuenca de El Ahogado están cubiertos por depósitos volcanoclásticos, mientras que los canales de varios arroyos están cubiertos por depósitos aluviales cuaternarios.

3. CRECIMIENTO DEL ÁREA URBANA DE GUADALAJARA

La expansión del AMG ligada al crecimiento poblacional incrementó significativamente entre 1940 y 1980 (Ruiz Velazco-Castañeda, 2004), su crecimiento surge como resultado del desarrollo industrial y comercial fomentado por el crecimiento de la pequeña industria localizada en la Guadalajara y la expansión comercial proveniente principalmente de la ciudad de México (Arias, 1982; Durand, 1986; Mercado-Pérez, 2004).

Entre 1940 y 1960, la ciudad de Guadalajara comenzó a extenderse en el territorio, y su tasa de crecimiento poblacional alcanzó el 5.5 y 8.7% (Ruíz Velazco-Castañeda, 2004). En la década de los años 70's comenzó el proceso de conurbación, y con el crecimiento de la ciudad de Guadalajara pronto se ocuparon terrenos de predios rústicos y núcleo agrarios contiguos en los municipios de Zapopan, Tlaquepaque y Tonalá (Jiménez-Huerta, 2007).

Entre 1970 y 2010, se consolidó el AMG, abarcando gran parte del territorio de los municipios mencionados, así como de El Salto y Tlajomulco de Zúñiga. Durante este mismo periodo se presentan las tasas de crecimiento medio anual más altas a nivel municipal, destacando aquellas que alcanzaron entre el 6 y 12% (Figura 1). El área urbana de Guadalajara pasó de tener 2,620 ha en 1940 a 59,698.47 ha en 2010 (Tabla I).

Por otra parte, durante el periodo de 1970 a 2010, la superficie de área urbana dentro de la cuenca de El Ahogado pasó de tener 703.56 ha a 21,759.62 (Tabla I). Después de los últimos 40 años, el área urbana de la cuenca representa poco más del 36% de la superficie total del AMG, y más del 42.5% respecto al área total de la cuenca (Figura 2).

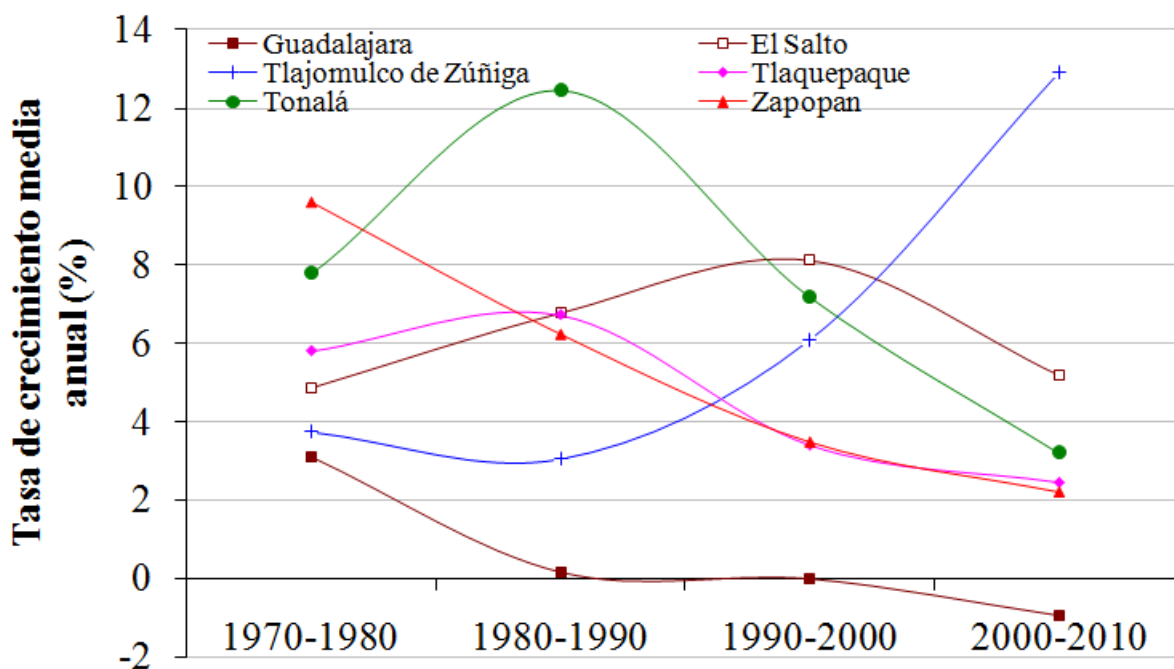


Figura 1. Comportamiento del crecimiento de la población municipal durante las últimas cuatro décadas.

Tabla I. Crecimiento del área urbana de Guadalajara en los últimos setenta años.

| Municipios | año | Superficie ocupada (ha) | Superficie ocupada en la cuenca de El ahogado (ha) | Referencia |
|--|------|-------------------------|--|-------------------------------|
| Guadalajara | 1940 | 2,620 | | Ruíz Velazco-Castañeda, 2004. |
| Guadalajara, Zapopan, Tlaquepaque y Tonalá | 1960 | 8,090 | | Ruíz Velazco-Castañeda, 2004. |
| Guadalajara, Zapopan, Tlaquepaque, Tonalá, El Salto y Tlajomulco de Zúñiga | 1972 | 11,720.08 | 703.56 | Jiménez-Huerta, 2007. |
| Guadalajara, Zapopan, Tlaquepaque, Tonalá, El Salto y Tlajomulco de Zúñiga | 2000 | 46,394.75 | 13,939.33 | Jiménez-Huerta, 2007. |
| Guadalajara, Zapopan, Tlaquepaque, Tonalá, El Salto y Tlajomulco de Zúñiga | 2010 | 59,698.47 | 21,759.62 | INEGI, 2010 |

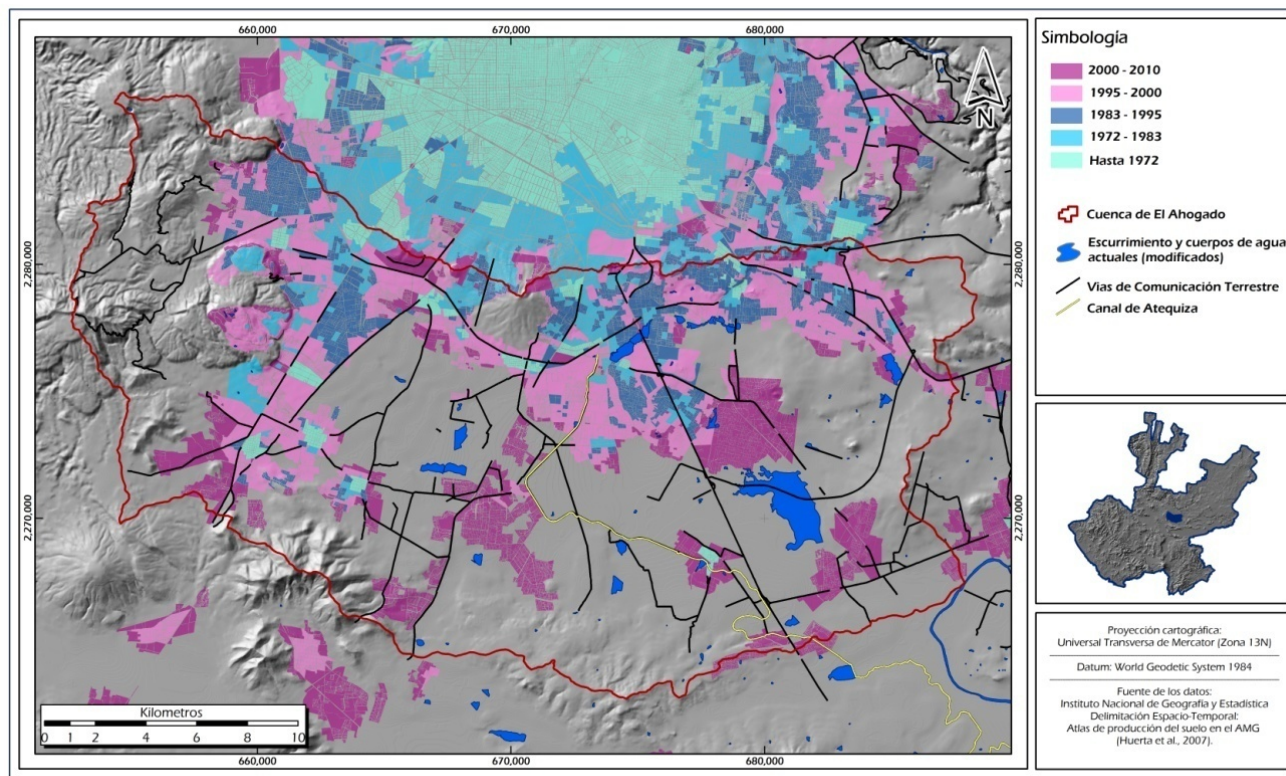


Figura 2. Mapa del crecimiento urbano entre 1972 y 2010

4. GEOMORFOLOGÍA DE LA CUENCA DEL AHOGADO

Una cuenca hidrográfica representa la unidad básica para evaluar la morfología del terreno, mediante una serie de indicadores geomorfológicos. El análisis geomorfológico es capaz de resaltar características topográficas que derivan de la incidencia de procesos tectónicos y climáticos.

Para calcular el conjunto de parámetros e índices geomorfológicos en la cuenca de El Ahogado hemos empleado el modelo digital de elevaciones con una resolución espacial de 3 segundos de arco (~90 m) generado en Febrero del año 2000 por el programa *Shuttle Radar Topography Mission*, encabezado por la NGA (National Geospatial-Intelligence Agency) y la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*). Este modelo contiene datos de la elevación del terreno, que excluyen los cambios topográficos derivados del crecimiento del área urbana de Guadalajara.

Por otra parte, se generó un modelo digital de elevaciones con resolución espacial de 2 m, a partir de los datos de altimetría que proporciona el Instituto de Información Territorial del Estado de Jalisco (IITE). La altimetría está constituida por curvas de nivel con equidistancia de 1 m, estas se obtuvieron mediante la restitución de vuelos a escala 1:4,500 y 1:10,000 para los años 1998 y 2001, respectivamente. El modelo presenta los cambios topográficos más significativos ocurridos hasta el año del 2001, y producidos a causa de la construcción de infraestructura vial e hidráulica asociada al crecimiento del área urbana.

4.1. GEOMORFOLOGÍA DE LA CUENCA

Para identificar la configuración morfológica del terreno se han calculado varios índices geomorfológicos en el área de estudio. En este trabajo se presentan cuatro de ellos, los dos primeros reflejan la inclinación y distribución del terreno: pendiente y la integral hipsométrica (Strahler, 1952); los otros dos exhiben

características de la red de drenaje asociadas con la acumulación de efluentes, así como la relación del área de aporte y el gradiente en secciones de cauces: el orden jerárquico de cauces (Horton, 1945; Strahler, 1953) y el índice SA (Hack, 1973; Flint, 1974; Burbank y Anderson, 2001; Keller y Pinter, 2002; Finlayson *et al.*, 2002; Whipple, 2004; Wobus *et al.*, 2006; Díaz-Torres *et al.*, 2012).

La cuenca de El Ahogado tiene una superficie de $\sim 510.40 \text{ km}^2$, está compuesta por un sistema de subcuencas con características morfológicas muy distintas entre sí. Las subcuencas provenientes de la vertiente de Sierra La Primavera y la zona suroeste son de las más extensas y presentan el relieve más alto de la cuenca. Son subcuencas muy elongadas por donde fluyen importantes corrientes durante la temporada de lluvias. Todas estas corrientes confluyen hacia la parte central de la cuenca.

Pendiente del terreno

Dentro de la cuenca de El Ahogado exhibe una morfología suavizada que predomina sobre la amplia planicie central. Las estructuras volcánicas de la Sierra La Primavera y la Cadena Volcánica del Sur de Guadalajara que rodean la planicie, tienen laderas donde la inclinación de la pendiente varía de 15° a 45° , y en algunas secciones superan los 45° (Figura 3A).

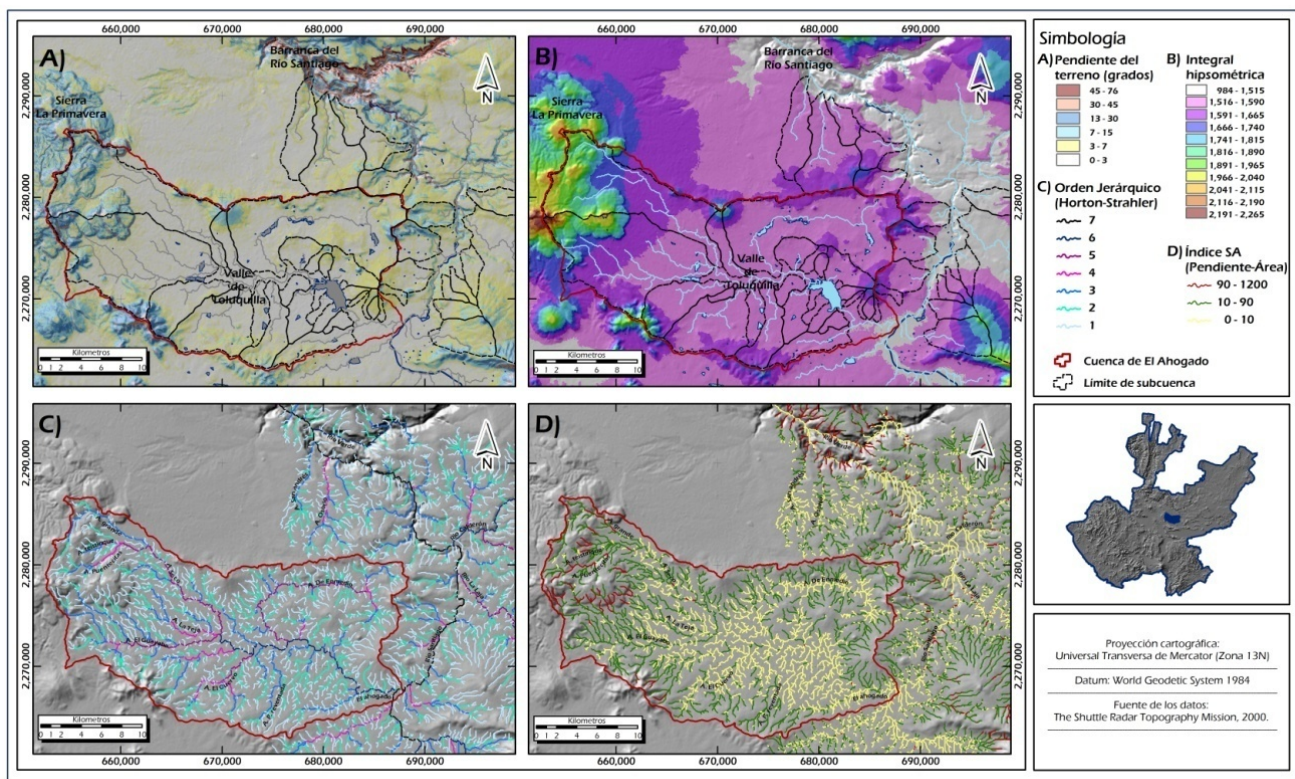


Figura 3. Mapas con los resultados de cuarto índices geomorfológicos de la cuenca de El Ahogado.

Hipsometría

Indica el estado de evolución morfológica de las cuencas en función del grado de incisión que ejerce su sistema de drenaje.

El análisis hipsométrico revela que gran parte de la cuenca de El Ahogado presenta un relieve somero que se extiende en la parte baja y media de la cuenca, sobre el amplio Valle de Toluquilla y entorno a los cuerpos de agua de la Presa La Rusia, El Ocotillo, Las Pintas y El Ahogado, entre otros. La integral hipsométrica calculada para la relación de área-altura señala que el volumen de masa total de la cuenca representa solo el 13%. El relieve es mayor en las partes altas de la cuenca, donde se encuentra la Sierra La Primavera y las cadenas volcánicas que bordean la porción norte y sur de la cuenca (Figura 3B).

Esta distribución morfológica es característica de cuencas en un avanzado estado de disección. Sin embargo, las estructuras geológicas de la Sierra La Primavera y la Cadena Volcánica del Sur de Guadalajara representan un factor que ha contribuido a la renovación del relieve, esta morfología de estructuras volcánicas que sobresalen sobre las extensas planicies del occidente del país son semejantes a las estructuras de *monadnock* (Strahler, 1952).

Dentro del sistema de cuenca hay elementos sensibles a los cambios en su morfología, el sistema de drenaje es uno de ellos, debido a que son afectados directamente por procesos físicos tales como cambios en su nivel base, factores climáticos o levantamiento tectónico (Burbank y Anderson, 2001; Whipple, 2004).

Orden jerárquico de cauces Horton-Strahler

Resalta la presencia de una cantidad considerable de cauces de tercer orden o mayores. Este índice demuestra que los sistemas de drenaje de la mayoría de las subcuencas convergen en la parte central de la cuenca de El Ahogado (Figura 3C), justo donde se encuentra la presa con el mismo nombre. El cauce principal denominado arroyo El Ahogado transporta una corriente de séptimo orden en la escala de *Horton-Strahler*, y muchos de sus efluentes al unirse al cauce principal, acarrearán una corriente del tercer al quinto orden. Destaca el caso de las corrientes provenientes de la Sierra La Primavera y Cadena Volcánica del Sur de Guadalajara, las cuales captan grandes áreas de drenaje que fluyen desde sus partes altas.

Índice SA

Representa el poder de erosión de una corriente sobre el lecho del río. Esta erosión es producto de la inclinación del terreno y el área de aporte de una subcuenca. El indicador señala que salvo las laderas de Sierra La Primavera y algunas elevaciones que bordean a la cuenca, existe corrientes con un poder de erosión bajo. Están se desarrollan en zonas del terreno con baja pendiente (Figura 3D).

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El análisis geomorfológico demuestra que la cuenca de El Ahogado tiene una amplia planicie de deposición con una pendiente somera formada por material pumítico y aluvial proveniente de la Sierra La Primavera. Los resultados de la integral hipsométrica señalan que el estado de rejuvenecimiento del relieve producido por la actividad volcánica representa el 13% del volumen de masa que constituye a la cuenca.

Durante la temporada de lluvias, el agua proveniente de las partes altas de la cuenca desciende con gran rapidez a través de arroyos poco sinuosidad y con pendiente que alcanzan los 30° de inclinación. Estas corrientes pierden rapidez y poder de erosión conforme fluyen por el sistema de drenaje de la planicie hasta llegar a zonas con baja pendiente del terreno donde actualmente se han construido presas o bordos (p.e. El Ahogado, Las Pintas, La Rusia, entre otras).

Aunque el poder de una corriente disminuye al aproximarse a estas zonas bajas, el número de corrientes de orden mayor y el área de aportación incrementa, esto implica que en algunas zonas planas del Valle de Toluquilla, incrementa la probabilidad de una rápida acumulación de agua en un periodo de tiempo corto.

El área urbana de Guadalajara durante los últimos 40 años tuvo un crecimiento extraordinario, pero durante el periodo 2000-2010 casi duplica su tamaño (Tabla I). La obstrucción del proceso de infiltración al suelo debido

a la pavimentación de estas áreas urbanas reduce la capacidad de recarga del acuífero Toluquilla, y la limitada cantidad de agua de recarga está expuesta a un fuerte deterioro. La reducción del volumen de infiltración natural también favorece el escurrimiento superficial y ayuda a que este se acumule con mayor rapidez en zonas planas.

La disponibilidad de agua del acuífero Toluquilla está destinada en su mayoría para usos consuntivos, los cuales representan el 98% de su volumen total (REPGA-CONAGUA). El indicador de grado de presión sobre el recurso hídrico describe la intensidad del uso del recurso disponible respecto a la extracción total del recurso en la zona. Para la cuenca de El Ahogado, este indicador es mayor al 100%, lo cual refleja un severo déficit de agua subterránea.

El déficit en la disponibilidad del agua subterránea está asociado a la sobre-explotación del recurso, que según el Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), el volumen total de agua subterránea concesionado es mayor al disponible, Además, es importante destacar que existen extracciones clandestinas o sitios sin registro que vienen a contribuir en la sobre explotación del acuífero. Por otra parte, el análisis de la topografía mediante el modelo digital de elevaciones y el modelo de pendientes con resolución espacial de 2 m, exhibe los cambios morfológicos generados por la construcción de infraestructura vial e hidráulica asociada a la extensión del área urbana de Guadalajara (Figura 4).

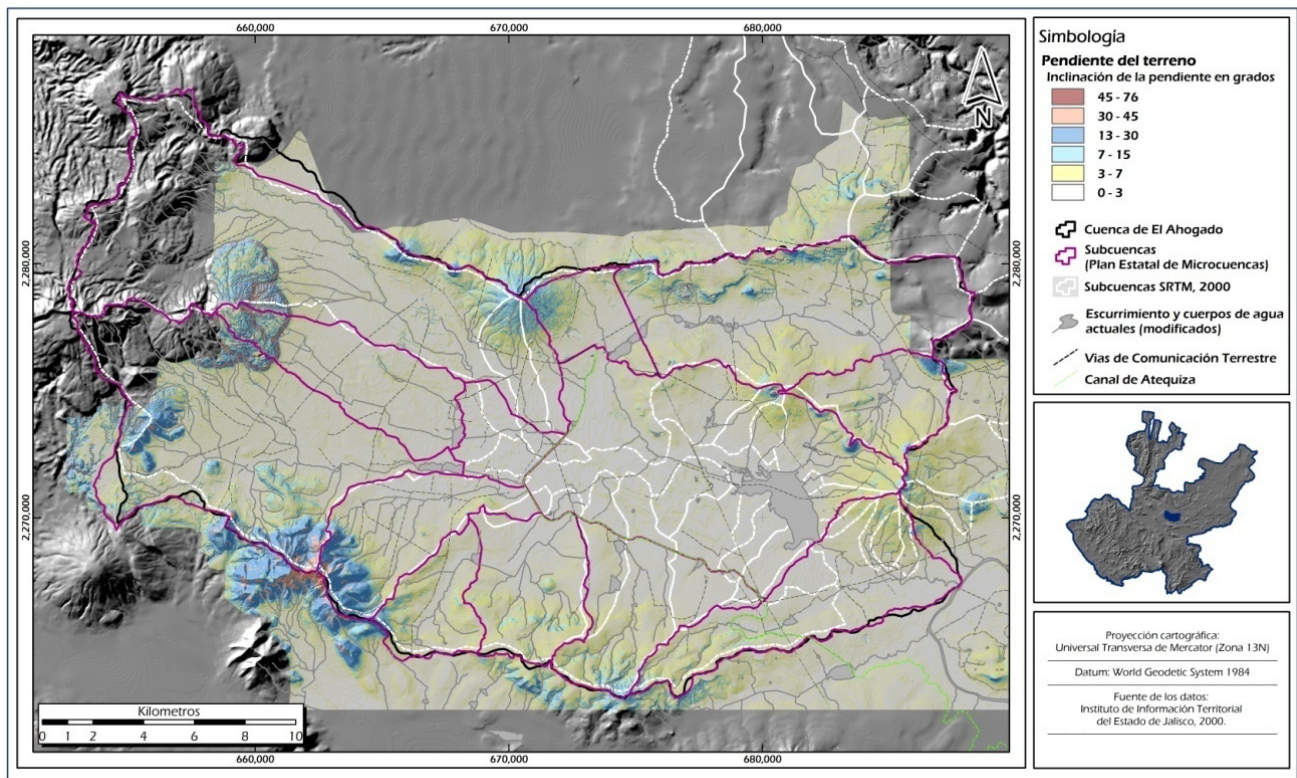


Figura 4. Mapa de pendientes y la delimitación natural de subcuencas vs. delimitación de subcuencas modificada por la infraestructura asociada al crecimiento del área urbana.

Entre las modificaciones más importantes ocurridas hasta el año 2001, sobresale la obstrucción de la red de drenaje natural y la alteración de los límites de subcuencas, que impuso la construcción del canal de Atequiza y el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de Guadalajara. El canal transporta agua del Río Santiago y atraviesa desde la sección sureste de la cuenca hacia el centro de la misma, su infraestructura captura el curso natural del escurrimiento proveniente de los sectores oeste y sur de la cuenca, para encauzarlo dentro de su

sistema de flujo semi-estacionario. Este canal deja aislada la parte baja de la cuenca e impide el escurrimiento superficial natural hacia la presa de El Ahogado. Otra transformación importante a la morfología del sector norte de la cuenca, lo representa un tramo de la carretera Guadalajara-Chapala, el cual atraviesa e impone un estrechamiento del área de flujo natural de una zona de anegamiento adyacente aguas arriba de la presa Las Pintas.

La contención del escurrimiento en la parte baja de la cuenca ante la presencia del canal de Atequiza y el conjunto de presas determina un conjunto de condiciones ambientales que inciden en el detrimento de los cuerpos de agua superficiales, los cuales están expuestos a fuentes puntuales y difusas de contaminación localizadas a lo largo de los principales arroyos y canales del sistema de drenaje. Estas fuentes de contaminación aportan grandes volúmenes de sedimentos, partículas orgánicas e inorgánicas, nutrientes, plaguicidas, así como descargas municipales en las que se vierten sustancias tales como solventes, combustible, metales pesados, o agentes patógenos.

Las excesivas cantidades de nutrientes en el agua es uno de los factores que provoca la reproducción de plantas y organismos, consecuentemente, habrá una mayor demanda de oxígeno disuelto. Cuando estos organismos mueren se descomponen y producen mal olor y disminuyen la calidad del agua, con lo que la demanda de oxígeno incrementa significativamente. La disminución en la disponibilidad de oxígeno disuelto conduce a procesos de eutrofización de los cuerpos de agua, los nutrientes que más influyen en este proceso son los fosfatos y nitrato.

El monitoreo en cuerpos de agua y arroyos de la cuenca de El Ahogado llevado a cabo por la Comisión Estatal del Agua (CEA), señala la presencia de altas concentraciones de estos nutrientes, particularmente de Fósforo total, el cual rebasa los límites máximos permisibles establecidos en la Ley Federal de Derechos (concentración máxima permisible: 0.05 mg/L, para el Uso de Protección de vida acuática, agua dulce y humedales). El área de cultivos que se extiende a lo largo de la cuenca representa a un conjunto de fuentes difusas que contribuyen con las altas concentraciones de fósforo total al cauce de los principales arroyos y cuerpos de agua.

El constante crecimiento del AMG incide directamente en la modificación de la topografía, por lo que es necesario considerar la implementación de modelos conceptuales tales como: Presión-Estado-Respuesta (PER) o semejantes, como un punto de partida para evaluar las condiciones de la cuenca y determinar las acciones, planes y programas orientados a reducir el impacto de las modificaciones morfológicas del terreno bajo un esquema de ordenamiento del territorio.

6. AGRADECIMIENTOS

Los resultados del presente trabajo derivan del esfuerzo y trabajo de la Unidad de Tecnología Ambiental del CIATEJ y a los recursos provenientes del Fondo Mixto CONACYT-Gobierno del Estado de Jalisco, con clave 2011-04-167010.

7. REFERENCIAS

- Arias, P. 1982. Consumo y cooperación doméstica de los sectores populares de Guadalajara, Jalisco. CIESAS/Colegio de Michoacán, Nueva Antropología, Año VI, No. 19, p. 168-188.
- Burbank, D.W., Anderson, R. S. 2001, Tectonic Geomorphology: E.U.A., Blackwell Science Ltd, 274 pp.
- Demant y Vincent, 1978. A preliminary report of the comenditic dome and ash flow complex of the Sierra La Primavera, Jalisco, Mexico; Discusión. Univ. Nac. Autom. México. Inst. Geología, Revista, v. 2, pp. 218-222.
- Demant, A., 1979. Vulcanología y petrología del sector occidental del Eje Neovolcánico. Univ. Nal. Autón. México. Inst. Geología. Revista vol. 3, núm. 1, p.39-57.
- Díaz-Torres, J. J., Fletcher, J. M., Spelz-Madero, R. M., Martín-Barajas, A., & Suárez-Vidal, F. 2012. Geomorfometría del Escarpe Principal del Golfo de California. Análisis comparativo entre dos segmentos del rift: Sierra San Pedro Mártir y Sierra Juárez, Baja California, México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 29(3), 590-610.
- Durand, J. Los Obreros del Río Grande. Colegio de Michoacán, 244 p.

- Ferrari, L., Pasquarè, G., Venegas-Salgado, S., & Romero-Rios, F. 2000. Geology of the western Mexican volcanic belt and adjacent Sierra Madre Occidental and Jalisco block. *Special Papers-Geological Society of America*, 65-84.
- Ferrari, L., López-Martínez, M., & Rosas-Elguera, J. 2002. Ignimbrite flare - up and deformation in the southern Sierra Madre Occidental, western Mexico: Implications for the late subduction history of the Farallon plate. *Tectonics*, 21(4), 17-1.
- Finlayson, D., Montgomery, D., Hallet, B. 2002, Spatial coincidence of rapid inferred erosion young metamorphic massifs in the Himalayas: *Geological Society of America*, 30(3), 219-222.
- Flint, J. J. 1974. Stream gradient as a function of order, magnitude, and discharge. *Water Resources Research*, 10 (5):969-973.
- Gastil, R.G., and D. Krummenacher, 1978, A Reconnaissance Geologic Map of West-Central Part of the State of Nayarit, Mexico: *Geol. Soc. America Map and Chart Series MC-24*.
- Hack, J. 1973. Stream-Profile analysis and Stream-Gradient Index. *U. S. Geological Survey Journal Research*. 1 (4):421-429.
- Horton, R. E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins; Hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of Geological Society of America*. 56:275-370.
- Jiménez-Huerta, E. R., Cruz-Solís H. y Rábago-Anaya, J. 2007. Atlas de la producción de suelo urbano en la Zona Metropolitana de Guadalajara, 1970-2000. Universidad de Guadalajara. <http://148.202.105.12/atlasdesuelodeguadalajara/index.php>
- Keller, E. A. y Pinter, N. 2002. Active tectonics, earthquakes, uplift, and landscape. Prentice Hall, New Jersey, U.S. 338 p.
- Mahood, G., 1977. A summary of the geology and petrology of the Sierra La Primavera, Jalisco, Mexico. *Univ. Nac. Autom. México. Inst. Geología, Revista*, v. 1, No. 2, pp. 177-190.
- Mahood, G., 1980. Geological evolution of a Pleistocene rhyolitic center: Sierra La Primavera, Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. V. 8, p. 199-230.
- Mercado-Pérez, R. 2004. El origen comercial y foráneo de la industria textil y de vestir de Jalisco. Universidad de Guadalajara. <http://sincronia.cucsh.udg.mx/rmercado04.htm> (Última consulta: 01/12/2012)
- Moore, G., Marone, C., Carmichael, I. S. E. and Renne, P., 1994. Basaltic volcanism and extension near the intersection of the Sierra Madre Volcanic Province and the Mexican Volcanic Belt. *Geological Society of America Bulletin*, v. 106, p. 383-394.
- Nieto-Obregon, J., Delgado-Argote, L., and Damon, P. E., 1985. Geochronologic, petrologic, and structural data related to the large morphologic features between the Sierra Madre Oriental and the Mexican Volcanic Belt, *Geofis. Int.*, v. 24, p. 623-663.
- Rosas-Elguera, J., Ferrari, L., López-Martínez, M. and Urrutia-Fucugauchi, J., 1997. Stratigraphy and tectonics of the Guadalajara region and Triple-Junction Area, Western Mexico, *International Geology Review*, 39:2, 125-140, 10.1080/00206819709465263
- Rossotti, A., Ferrari, L., López-Martínez, M., & Rosas-Elguera, J. (2002). Geology of the boundary between the Sierra Madre Occidental and the Trans-mexican Volcanic Belt in the Guadalajara region, Western México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, año/vol. 19, número 001 Universidad Nacional Autónoma de México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 19(1), 1-15.
- Ruíz Velazco-Castañeda, A. H. 2004. Desigualdad socioespacial y segregación en Guadalajara: Una aproximación a la estructura urbana de la ciudad. Tesis de Maestría. Universidad de Guadalajara.
- Strahler, A. N. 1952. Hypsometric (Area-Altitude) analysis of erosional topography. *Bulletin of the Geological Society of America*, 63:1117-1142.
- Strahler, A. N. 1953. Revisions of Horton's quantitative factors in erosional terrain. *Trans. Am. Geophys. Union*, 34, 345.
- Urrutia-Fucugauchi J., Alba-Valdivia, L. M., Rosas-Elguera, J., Campos-Enriquez, O., Goguitaichvili, A., Soler-Arechalde, A. M., Caballero-Miranda, C., Venegas-Salgado, S. y Sánchez-Reyes, S., 2000. Magnetostratigraphy of the volcanic sequence of Rio Grande de Santiago-Sierra La Primavera Region, Jalisco, western Mexico. *Geofis. Int.*, v. 39, núm. 3, pp. 247-265.
- Weber, K. L., Fernandez, L. A., and Simmons, W. B., 1994. Geochemistry and mineralogy of the Eocene-Oligocene volcanic sequence, Southern Sierra Madre Occidental, Juchipila, Zacatecas, Mexico. *Geofis. Int.*, v. 33, p. 77-89.
- Whipple, K.X., 2004, Bedrock rivers and the geomorphology of active orogens: *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 32, 151-185.
- Wobus, C., Whipple, K., Kirby, E., Snyder, N., Johnson, J., Spyropoulou, K., Crosby, B., Sheehan, D., 2006, Tectonics from topography: Procedures, promise and pitfalls, en Willett, S.D., Hovius, N., Brandon, M.T., Fisher, D.M. (eds.), *Tectonics, Climate, and Landscape Evolution: Geological Society of America, Special Paper 398, Penrose Conference Series*, 55-74.

Sitios de Internet

http://estacioniitj.jalisco.gob.mx/app/tienda/aplicaciones/inventario.asp?n_arch=carto

http://estacioniitj.jalisco.gob.mx/app/tienda/aplicaciones/indices/cartografia/cartografia.asp?id_descargar=199

<http://www.conagua.gob.mx/Repda.aspx?n1=5&n2=37&n3=115>