

# Vulnerabilidad ante la ocurrencia de avenidas torrenciales en la microcuenca Menchaca, Querétaro

Anthony Philippe André Michel<sup>1</sup> y Juan Alfredo Hernández Guerrero<sup>2</sup>

<sup>1</sup>anthony.michel@gmail.com

<sup>2</sup>juan.hernandez@uaq.mx

<sup>1 y 2</sup> Maestría en Gestión Integrada de Cuencas.

Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro.

Querétaro, México

## Resumen

Las avenidas torrenciales son fenómenos hidrometeorológicos constituidos por un escurrimiento superficial de respuesta rápida que, según el caudal y la velocidad, determina el grado de afectación al sistema expuesto. En la dimensión social, los sistemas con mayores dificultades para anticiparse, responder o resistir son aquellos individuos o grupos en condiciones vulnerables. Al respecto, en la periferia de la ciudad de Querétaro, destaca la microcuenca Menchaca donde personas con evidentes desventajas socioeconómicas se asentaron en sitios susceptibles, sin tener conocimiento de ello, por lo que han sufrido daños y pérdidas materiales y humanas. El presente estudio tiene como objetivo identificar la vulnerabilidad ante la ocurrencia de avenidas torrenciales en una unidad de escurrimiento de la microcuenca Menchaca. Los métodos y herramientas utilizados consistieron en pláticas informales, encuestas, recorridos de campo y cartografía. Entre los hallazgos, la precipitación y la pendiente son condicionantes de avenidas torrenciales; pero esos fenómenos están supeditados por las modificaciones del lugar, las condiciones de los habitantes y por la limitada y permisible intervención de las autoridades.

**Palabras clave:** vulnerabilidad, riesgo, avenidas torrenciales, microcuenca, unidad de escurrimiento.

## Abstract

*Torrential floods are hydrometeorological phenomena constituted by a rapid response surface runoff that, according to the flow and speed, determines the degree of affectation to the exposed system. In the social dimension, the systems with the greatest difficulties in anticipating, responding or resisting are those individuals or groups of vulnerable conditions. In this regard, In this regard, in the periphery of the city of Querétaro, the Menchaca microwatershed stands out, where people with obvious socioeconomic disadvantages settled on susceptible sites, without having knowledge of it, for what have been the damages and the material and human losses. The aim of this study is to identify the vulnerability to the occurrence of torrential floods in a runoff unit of the Menchaca microwatershed. The methods and tools used were informal talks, surveys, field trips and cartography. Among the findings, precipitation and slope are conditions of torrential avenues; but these phenomena are subject to changes in the place, the conditions of the inhabitants and the limited and permissible intervention of the authorities.*

**Keywords:** Vulnerability, Risk, Torrential avenues, Microwatershed, Runoff unit.

---

### Artículo arbitrado

---

Recibido:

10 de abril de 2019

aceptado:

16 de julio de 2019

## Introducción

En ciudades con un acelerado crecimiento poblacional, el riesgo parece tener cada vez más aristas; especialmente, hacia las periferias urbanas debido a su propia dinámica: rápido cambio de uso de suelo, déficit de servicios urbanos, escasa vigilancia y clandestinidad (Vieyra, Méndez-Lemus y Hernández-Guerrero, 2016; Hagenlocher, Renaud, Hass y Sebesvari, 2018). Las cuencas hidrográficas, en esos sectores, presentan afectaciones cuasiirreversibles, al tiempo que la respuesta y mitigación disminuye, pero la vulnerabilidad aumenta (Peña, 2018).

Las avenidas torrenciales se encuentran entre las amenazas que continuamente impactan y condicionan la vulnerabilidad de los habitantes en cuencas periurbanas, a la vez que las características del lugar determinan el caudal, velocidad y afectaciones e intervienen en la respuesta (Pastorello, Hürlimann y D'Agostino, 2018; Vásquez, Gómez y Martínez, 2018). La periferia urbana de la ciudad de Querétaro ejemplifica el problema planteado a través de la microcuenca Menchaca, específicamente la unidad de escurrimiento “cañada Menchaca” (Figura 1). La unidad se localiza sobre una falla geológica con pendiente promedio de 20% y, por efecto, se acelera la velocidad de un cauce efímero que se forma en el temporal de lluvias (mayo a octubre con valores anuales entre 500 mm y 600 mm).

En esa unidad, destacan los asentamientos irregulares de las colonias Diana Laura I y Diana Laura II. Ambos se establecieron a principios de la década del 2000 sobre un escurrimiento con pendiente del 26%. El proceso de urbanización requirió el reemplazo de la cubierta vegetal, lo que dejó taludes no contenidos e inestables; mientras que las calles se construyeron en sentido de la pendiente. Lo anterior resultó en el aumento de la formación e impacto de las avenidas torrenciales.

Los habitantes, al carecer de tenencia segura del suelo, son excluidos de los planes de desarrollo urbano y no son beneficiados con infraestructura para atender el problema, al tiempo que se continúa con afectaciones en las actividades cotidianas, integridad física y patrimonio. A partir de lo señalado, ¿qué elementos condicionan la vulnerabilidad en la unidad de escurrimiento? y ¿cuáles son las estrategias para disminuir la vulnerabilidad? El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la vulnerabilidad de la unidad de escurrimiento “cañada Menchaca” en la periferia de la ciudad de Querétaro. La información obtenida es importante para evaluar la ocupación de sitios susceptibles y las consecuencias físicas y sociales por alterar la funcionalidad de una cuenca.

## Métodos y herramientas

Con el fin de responder al objetivo, se llevaron a cabo dos etapas. La primera se refiere a la determinación del peligro; para ello se utilizaron datos de precipitación mensual y máxima en 24h de la estación Querétaro para los años de 1983-2013, cuya información fue obtenida del IMTA y SEMARNAT (2013). Después, se determinaron los parámetros morfométricos de la microcuenca y unidad de escurrimiento establecidos por Valdés y Hernández (2018) para comprender la formación de avenidas torrenciales.

La segunda etapa consiste en la determinación de la vulnerabilidad. Se aplicaron pláticas informales, encuestas, recorridos de campo y cartografía. Así, se realizaron siete pláticas informales con los habitantes de la unidad de escurrimiento, al mismo tiempo se llevaron a cabo cinco recorridos exploratorios guiados por la representante vecinal. El resultado de

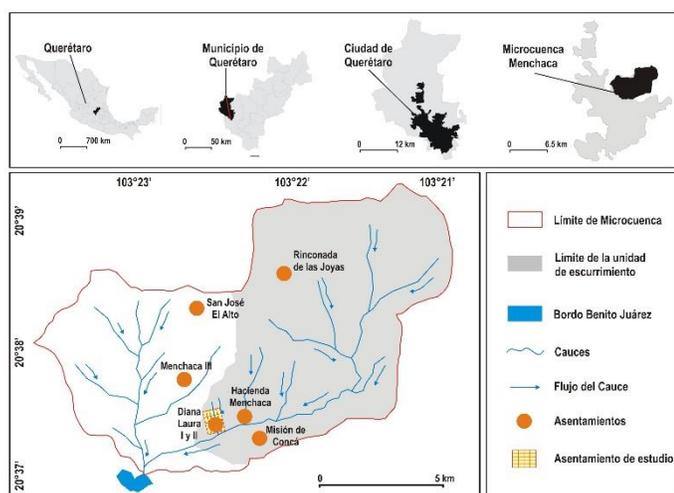


Figura 1. Zona de estudio. Fuente: datos del INEGI (2010).

ese primer ejercicio permitió la redacción del cuestionario piloto, donde dicho instrumento estuvo integrado por 20 preguntas de opción múltiple dividido en cuatro apartados: información general, vulnerabilidad física, vulnerabilidad social y acciones socioorganizativas. Las encuestas piloto se aplicaron a nueve personas. Posterior a ello, solo se eliminaron dos preguntas, por lo que se culminó con una encuesta estructurada de 18 preguntas. De las 110 viviendas que constituyen los asentamientos, la encuesta se aplicó en 60 viviendas con los responsables de la jefatura del hogar. El ejercicio fue dirigido mediante una cita con el encuestado.

Los argumentos señalados en la encuesta fueron corroborados con 15 recorridos de campo donde se levantó un compendio fotográfico, se georreferenciaron los lugares afectados y se elaboró cartografía con los recorridos guiados. En esta última, se establecieron los instrumentos y actores que influyen en la condición de vulnerabilidad y riesgo.

## Resultados

En el periodo de 1980 a 2013, los eventos de lluvia mensual presentaron relativa homogeneidad (Figura 2). Existen algunas fluctuaciones, pero el promedio se encuentra en un rango de 60mm. El periodo con mayores precipitaciones fue de junio a septiembre. La precipitación máxima en 24 horas alcanzó cifras de 125mm (septiembre 2003) u 80 mm (agosto 2002), pero el promedio fue de 50mm. Los valores de precipitación son indicativos en la formación de avenidas torrenciales, pero no la principal causa.

Por su parte, los escurrimientos intensos se forman posterior a una zona de transición altitudinal (Figura 3). La unidad de escurrimiento presenta los siguientes parámetros: morfométricos, pendiente inclinada (15%), forma ovalada (índice de Gravelius 1.27), moderada cantidad de cauces (orden 2), óptima área de drenaje (17 km<sup>2</sup>) y tiempo de concentración con respuesta contenida (1h55min). No obstante, donde se localiza los asentamientos de las colonias Diana Laura I y II, los parámetros cambian drásticamente: la pendiente es muy inclinada (26% promedio), tiene forma ovalada (índice de Gravelius 1.6), cauce de primer orden, pequeña área de drenaje (0.29 km<sup>2</sup>) y tiempo de

concentración rápido (0h33min). Todos esos parámetros influyen en la formación de escurrimientos de respuesta rápida con erosión intensa que favorece la carga de sedimentos.

El 53% de las personas encuestadas menciona que los eventos con mayor peligrosidad se asocian con tormentas por la noche; el 75% señaló que esos eventos rápidamente forman escurrimientos, y el 63% indicó que suelen combinarse con el arrastre de sedimentos (Figura 4). El 90% dijo sentir peligro cuando ocurre una tormenta y el 80% argumentó que la pavimentación de las calles contribuiría en la salida del agua y en disminuir el sedimento.

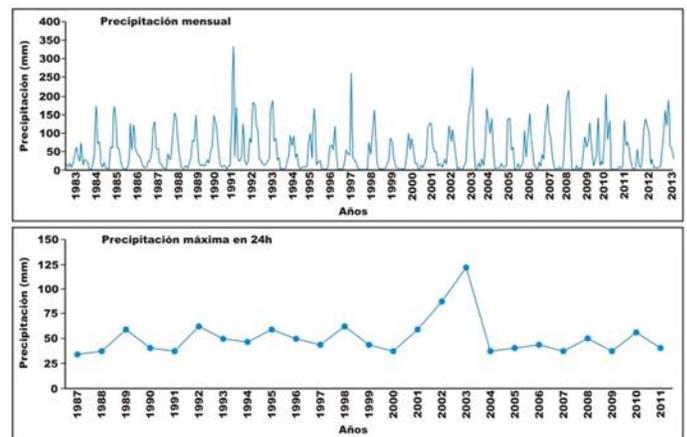


Figura 2. Precipitación mensual y máxima en 24h, estación Querétaro, 1983-2013. Fuente: datos del IMTA y SEMARNAT (2013).

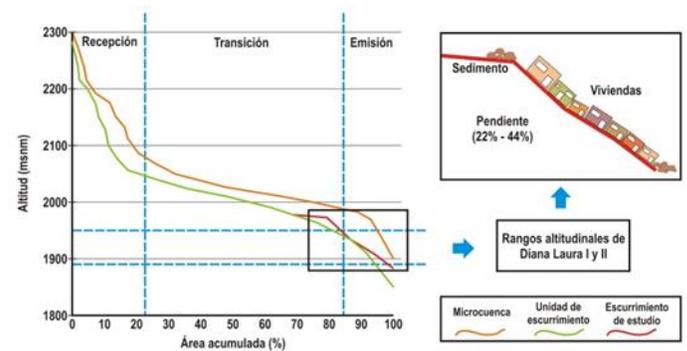
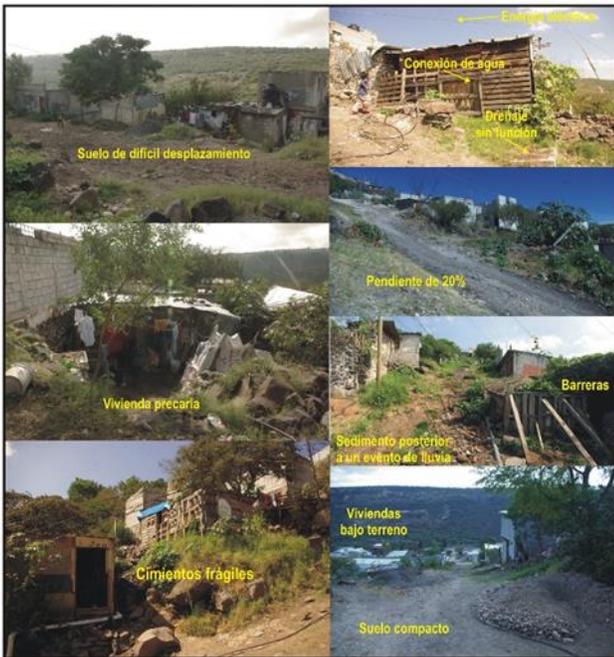


Figura 3. Establecimiento de los asentamientos en las unidades de escurrimiento. Fuente: información de recorridos de campo.



**Figura 4.** Condiciones físicas y tipo de sedimento en la colonia Diana Laura I. Fuente: recorridos de campo.



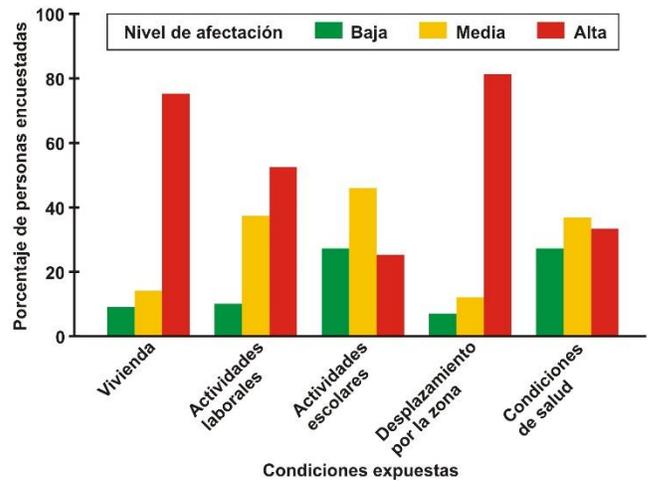
**Figura 5.** Condiciones de las viviendas y del lugar. Fuente: recorridos en campo.

Las viviendas presentan diferentes materiales de construcción en paredes (54% tabique, 37% madera y plástico y 9% lámina de metal), techos (43% lámina de metal, 30% concreto, 27 lámina de asbesto) y pisos (80% de concreto y 20% de tierra). La mayoría de las viviendas cuentan con servicios (agua 98%, luz 98% y drenaje 80%), aunque destaca su precariedad: el

agua es suministrada con ductos de plástico, la energía eléctrica es abastecida de forma clandestina de otros asentamientos y el drenaje es limitado y con salidas hacia el cauce principal (Figura 5).

Por otro lado, el 75% de los encuestados mencionó que por lo menos una vez ha tenido algún percance por las condiciones del lugar antes, durante o después de una tormenta. Entre los perjuicios destacan las caídas (60%), impactos por material (34%), daños a la vivienda (51%) y enfermedades (23%). Al ser afectados, el 91% de los habitantes les lleva  $\pm 4$  días regresar a sus actividades, aunque un 9% no ha regresado a una situación estable. Así, los daños a la vivienda, las afectaciones a las actividades diarias y los perjuicios a la salud aumentan la vulnerabilidad (Figura 6).

El 71% de las encuestas fueron contestadas por mujeres: el 29% viven solas, o bien, el esposo o pareja no están siempre en el hogar. Al respecto, el 39% de las viviendas tiene entre 3 y 4 dependientes, y el 61%, entre 1 y 2. La cantidad de adultos y niños es de 2.8 personas. Además, se presenta hacinamiento alto, representado por 4.7 personas por vivienda.



**Figura 6.** Nivel de afectación en vivienda, actividades y salud. Fuente: encuestas aplicadas en los asentamientos.

El principal ingreso económico es a través del padre (43%), seguido de la madre (19%) y por último los hijos (13%). El 15% de los encuestados tienen un ingreso mensual promedio de \$2,500, el 54% se encuentran entre \$2,500 y \$5,000 y un 15% tienen entre \$5,000 y \$10,000. Sin embargo, el 90% de los

encuestados no logran ahorrar. El déficit económico por avenidas torrenciales ha sido de \$1,000 en el 70% de los encuestados, aunque también se presentó un 8% entre \$2,000 y \$5,000. La principal opción para cubrirlo es a través de recursos propios (59%) y préstamos (30%). Por último, a pesar de que el 64% cuentan con seguro popular y el 34% son derechohabiente del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), es notoria la carencia económica para realizar gastos en servicios de salud de emergencia o medicamentos.

El 100% de los encuestados señalaron que el principal apoyo son los vecinos y familiares (Figura 7), ya que su rápida atención y organización favorece en una mejor respuesta durante y después del evento; además, previo a ello, se realizan estrategias de mitigación, aunque suelen ser frágiles. Además, el 65% de los encuestados señalaron que durante los eventos se suele tener apoyo de protección civil, bomberos y seguridad pública, pero después y antes es casi nula. El 55% mencionó que la organización Un Techo les ha beneficiado en mejorar su vivienda, pero no asiste durante un evento perjudicial, y la Comunidad Cristiana brinda provisiones de recursos después de lo ocurrido. Sin embargo, en ambos casos, la asistencia es mínima en comparación con familiares y vecinos. Finalmente, el 90% de los encuestados señalaron que el municipio no suele apoyarlos y solo atiende cuando el evento demanda la atención de los medios de comunicación.

De forma general, la vulnerabilidad frente al riesgo por avenidas torrenciales en la unidad de escurrimiento presenta un nivel medio (Figura 8); esto quiere decir que en cada temporal de lluvias el 75% de las viviendas son afectadas por lo menos una vez, especialmente por el impacto del sedimento; a la vez que el 80% de la población no tiene los recursos económicos suficientes para responder de forma adecuada. Por otro lado, la distribución de los habitantes con mayor vulnerabilidad se presenta en la zona alta y media, las que son representadas con el impacto del sedimento de mayor volumen.



Figura 7. Instrumentos y actores asociados el fenómeno de vulnerabilidad.

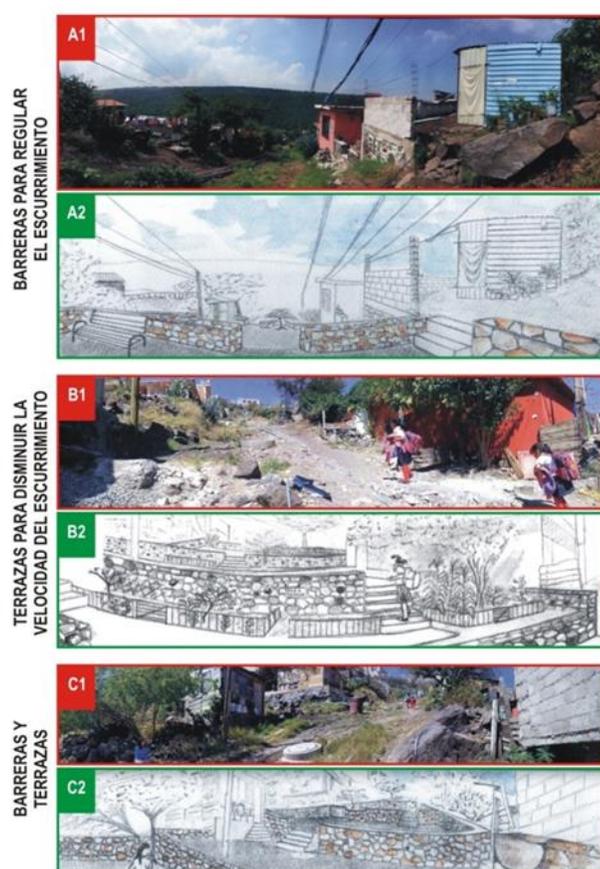


Figura 8. Nivel de vulnerabilidad en los asentamientos de las colonias Diana Laura I y II. Fuente: encuestas realizadas en los asentamientos.

## Discusión

Las características físicas del lugar y la precipitación son condicionantes que favorecen la formación de avenidas torrenciales, pero existen otras variables que acentúan el riesgo, sea la nula planeación de ocupación, infraestructura deficiente y bajos recursos económicos. Esos argumentos, ratifican lo señalado por Peña (2018), quien además menciona que la vulnerabilidad limita las oportunidades de mitigar y responder. Además, la recurrencia de los eventos, las pérdidas y daños con poca respuesta contribuyen que la vulnerabilidad sea crónica.

los sedimentos; esa opción estará acompañada de lugares de descanso y mejoras al desplazamiento (Figura 9, A1-A2). La segunda propuesta es la construcción de terrazas para reducir la velocidad de la avenida y sean acompañadas de áreas verdes o pequeños huertos para mitigar el escurrimiento (Figura 9, B1-B2). La tercera propuesta es la combinación de barreras y terrazas para mitigar el escurrimiento y los impactos del sedimento (Figura 10, C1-C2). Además, con esas intervenciones, el agua podrá direccionarse a canales contiguos a la banqueta y la cobertura del suelo (adoquín y empedrado) permitirá la infiltración del agua.



**Figura 9.** Propuestas para reducir el impacto de avenidas torrenciales.

Ante las evidentes limitaciones de los habitantes, la inoperatividad de las autoridades y las recurrentes y peligrosas avenidas torrenciales, se propone tres intervenciones para reducir el impacto que ayuden, dentro de todo, a mejorar la vulnerabilidad. La primera establece la construcción de barreras de contención, tanto para reducir el escurrimiento como

## Conclusiones

La vulnerabilidad física está supeditada por la vulnerabilidad social, pues las modificaciones y reconfiguración del lugar no solo propician la recurrencia de los eventos, sino que aumentan la intensidad del impacto. Si bien la población tiene cierto arraigo al lugar y las autoridades son permisivas con la ocupación, entonces la mitigación del riesgo en la unidad de escurrimiento “cañada Menchaca” debe ser intervenida con estrategias tanto estructurales como no estructurales. En cuanto a las primeras, se puede introducir infraestructura que aminore la velocidad e impacto del escurrimiento, ya sea el caso de terrazas que se acompañen de áreas verdes o pequeños jardines, así como canales subterráneos limítrofes con las banquetas. Para las segundas, será importante mejorar la organización de la población con talleres de prevención y respuesta, incluir la participación de los habitantes en la toma de decisiones y fortalecer el tejido social mediante apoyos institucionales. Debido a que el riesgo es un fenómeno multicausal, multiescala y multivariable, es necesario que se introduzca alternativas transversales que mejoren las oportunidades de empleo, educación y salud.

## Agradecimientos

Se agradece a la maestría en Gestión Integrada de Cuencas de la Universidad Autónoma de Querétaro por las facilidades brindadas con equipo e infraestructura para la realización del trabajo. Asimismo, el apoyo recibido a través del proyecto FOFI-UAQ Diferenciación socio-residencial y escenarios de riesgo en el paisaje de la periferia urbana de Querétaro, México: caso de las localidades urbanas de Juriquilla y Santa Rosa Jáuregui.

## Referencias

- Hagenlocher, M., Renaud, F., Hass, S. y Sebesvari, Z. (2018). Vulnerability and risk of deltaic social-ecological systems exposed to multiple hazards. *Science of the Total Environment*, pp. 631-632.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2013). *Extractor rápido de información climatológica ERIC III*. Información digital.
- Instituto Nacional de Geografía e Informática (INEGI). (2010). *Cartografía urbana*. Información digital. Aguascalientes, México. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/servicios/>
- Pastorello, R., Hürlimann, M. D'Agostino, V. (2018). Correlation between the rainfall, sediment recharge, and triggering of torrential flows in the Rebaixader catchment (Pyrenees, Spain). *Landslides*, 15, pp. 1921-1934.
- Peña, D. (2018). *Estrategia de manejo para la mitigación del riesgo por inundaciones en la microcuenca San José El Alto, Querétaro*. (Tesis de maestría). Maestría en Gestión Integrada de Cuencas. Universidad Autónoma de Querétaro, México.
- Váldez-Carrera, A. y Hernández-Guerrero, J. (2018). Zonas funcionales y unidades de paisaje físico-geográfico en la microcuenca Potrero de la Palmita, Nayarit, México. *Revista Geográfica de América Central*, 60, pp. 189-229.
- Vásquez, J., Gómez, V. y Martínez, H. (2018). La avenida torrencial de Mocoa, Putumayo ¿ejemplo de una retrospectiva sin punto final en la gestión del riesgo de desastres detonados por eventos naturales? *Revista de Derecho, Universidad del Norte*, 50, pp. 203-228.
- Vieyra, A., Méndez-Lemus, Y. y Hernández-Guerrero, J. (Coords.). (2016). *Procesos urbanos, pobreza y ambiente. Implicaciones en ciudades medias y megaciudades*. Morelia: CIGA-UNAM.