

Riesgos geomorfológicos e hidrológicos en la Ciudad de Morelia, Michoacán, México

Eleazar Arreygue Rocha^{1,2}, Víctor Hugo Garduño Monroy¹, Paolo Canuti², Nicola Casagli², y Alberto Iotti²

¹ Depto. de Geología y Mineralogía, IIM, UMSNH (++52-443-316-8355), Morelia, Mich., México.

² Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Firenze, Italia.

arrocha@zeus.umich.mx

Resumen

La población de la Ciudad de Morelia se ha triplicado en los últimos veinte años. Esto ha incrementado sustancialmente los riesgos geomorfológicos (deslizamientos de masas de tierra y bloques) e hidrológicos (inundación de zonas habitacionales), entre otros. Se analizan y actualizan estos riesgos en dos de los principales elementos identificados en la ciudad que son el llamado escarpe La Paloma y el Río Chiquito, describiendo sus características y los factores que los vuelven elementos de peligro para las zonas habitacionales ubicadas en su cercanía.

Palabras Clave: Geomorfología, hidrología, zonas de riesgo, Morelia, deslizamientos de tierra.

Geomorphologic and hydrologic risks in Morelia City, Michoacán, Mexico

Abstract

The population of the City of Morelia has increased threefold in the last 20 years. The growth has increased the geomorphologic risks (landslides of mass and blocks) and hydrologic risks (flooding in residential zones). We analyze and update these risks for two major areas of the city: the so-called slope of La Paloma and the Chiquito River. We describe the characteristics of these zones, including risk factors for the residential zones surrounding them.

Keywords: Geomorphology, hydrology, risk zones, Morelia, landslides.

1. Introducción

La realidad económica y social de un país en vías de desarrollo, como México, se refleja, entre otros aspectos, en la expansión indiscriminada de los centros urbanos o industriales y, en consecuencia, en las condiciones de riesgo hidrológico y geomorfológico a que se exponen por la falta de conocimiento de los peligros de tipo estructural, geológicos y geohidrológicos a que están expuestos.

Las dificultades de una correcta administración del territorio en México, nacen de la falta de conocimiento de los riesgos mencionados, por la ausencia de estudios del terreno antes de ser utilizados. Contribuye también la inexacta o nula valoración de la problemática actual en las zonas habitacionales expuestas a estos tipos de riesgos.

Es indispensable la realización de un plan urbano que tome muy en cuenta el equilibrio hidrogeológico del área, que debe estar en posibilidad de unir la aptitud de un terreno con su destino efectivo de uso del suelo. Un plan adecuado de expansión urbana tiene como base el conocimiento profundo del territorio, desde un punto de vista geológico, geomorfológico e hidrológico, gracias a una serie de estudios indispensables para conocer las condiciones de la zona a utilizar.

En este trabajo se describen los elementos de riesgo geomorfológico e hidrológico en la Ciudad de Morelia, enfatizándose los casos del escarpe La Paloma y el Río Chiquito, con el objetivo de ofrecer un panorama real de la problemática que ha venido enfrentando la ciudad en la últimas dos décadas, en las que ha experimentado un crecimiento poblacional vertiginoso.

La Ciudad de Morelia y su municipio se encuentran localizados al norte-oeste del Estado de Michoacán (Fig. 1), a los 19° 42' de latitud norte y 101° 11' de longitud oeste, con una altura promedio de 1941 msnm. El municipio cubre una superficie de 1308 km², con una extensión de la planicie de 25 km de oriente a poniente y de 15 km de norte a sur. Rodeando a la ciudad se encuentran los volcanes de Atécuaro y Punhuato, de edad Mioceno-Plioceno, y los volcanes Quinceo-Las Tetillas y El Águila, de edad cuaternaria. Estos últimos forman parte del Cinturón Volcánico Mexicano (CVM).



Fig. 1. Localización de la Ciudad de Morelia, Mich.

2. Crecimiento urbano en Morelia

La Ciudad de Morelia tiene un origen colonial. Fue fundada el 18 de mayo de 1541 (Ruiz, 1992). Las primeras construcciones fueron hechas en la parte más alta del valle entonces conocido como Valle de Guayangareo, donde podían estar resguardadas de los periódicos desbordamientos de los ríos Grande, Chiquito y La Hoya, que cruzan la planicie en diferentes puntos.

En 1898 la extensión de la ciudad era todavía comparable con la de la época colonial y Morelia cubría un área de aproximadamente 287 hectáreas. El desarrollo de la ciudad mantuvo sus valores modestos hasta

casi 1980, cuando la superficie ocupada era de unas 1900 hectáreas y la población de unos 300 mil habitantes. A partir de 1983 la ciudad ha sufrido un rápido incremento en su expansión urbana, acelerada aún más por los terremotos de la Ciudad de México de septiembre de 1985 que provocaron un fuerte flujo migratorio hacia Morelia (Vargas, 1994), y así la población actual rebasa el millón de habitantes (Fig. 2). Esta situación propició una expansión urbana sobre tierras de agostadero y bosques (López-Granados, 1999).

En la Figura 3 se representa la evolución en el tiempo del desarrollo urbano de Morelia, y se marcan los principales elementos geomorfológicos presentes en el área. Las áreas edificadas actuales y las obras civiles han invadido ampliamente zonas caracterizadas, en estudios previos, como de fuerte riesgo hidrológico (Arreygue *et al.*, 1998, 1999, 2002).

En los últimos veinte años las construcciones han llegado a la base de la ladera conocida como La Paloma, que se ubica al sur de la ciudad (Fig. 3), caracterizada por un elevado grado de inestabilidad y que ha sido escenario de diversos deslizamientos en masa, tanto pequeños como grandes.

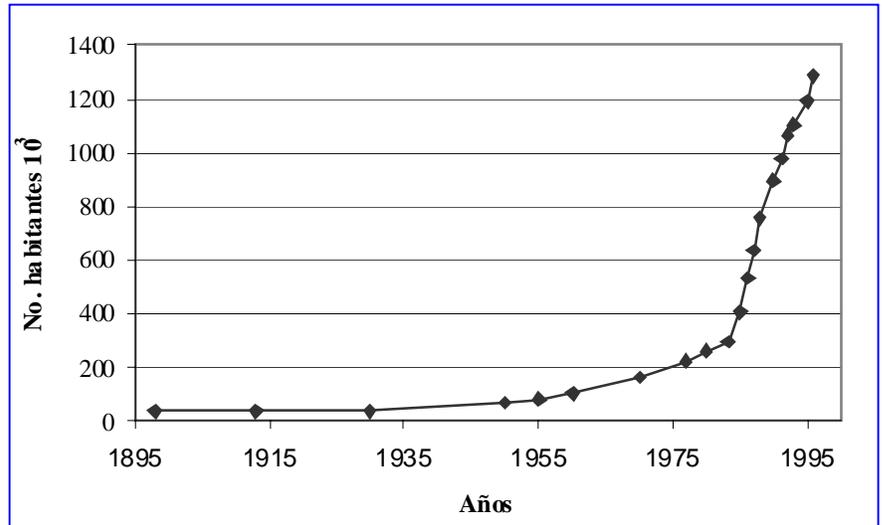


Fig. 2. Incremento de la población en Morelia

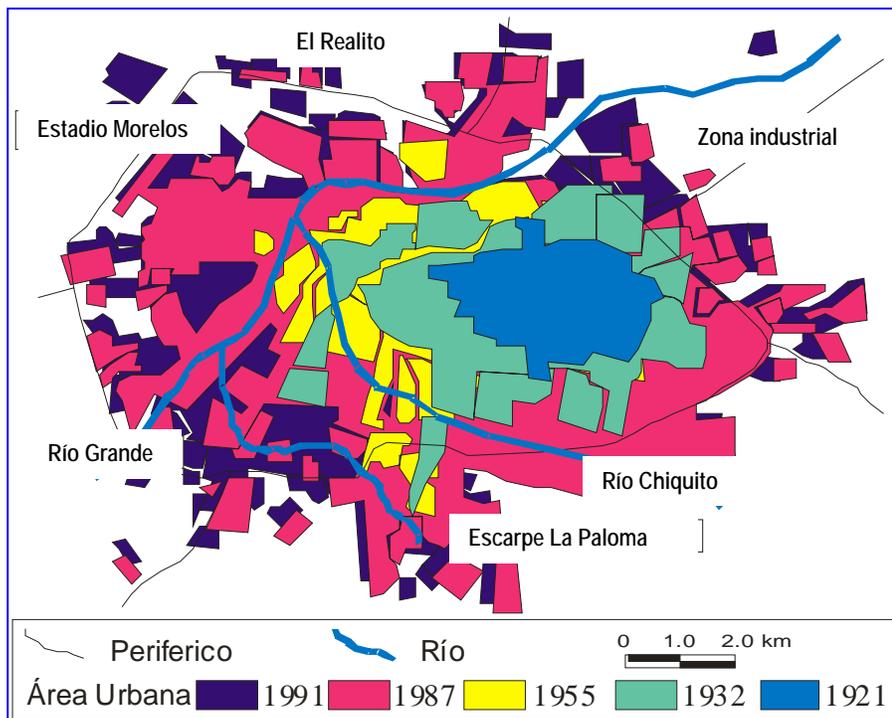


Fig. 3. Desarrollo urbano de la ciudad de Morelia de 1921 a 1991

3. Geología

Estratigrafía

Desde un punto de vista estratigráfico se pueden reconocer diferentes unidades litológicas (Fig. 4). Partiendo de la parte baja se encuentra una primera unidad de composición andesítica llamada Mil Cumbres que constituye el substrato más profundo del área. Estos materiales se encuentran aflorando en diferentes partes

de la ciudad, tienen una edad comprendida entre los 24 y los 8 Ma, (SARH, 1977; Pasquaré *et al.*, 1991) y su espesor supera los 800 m.

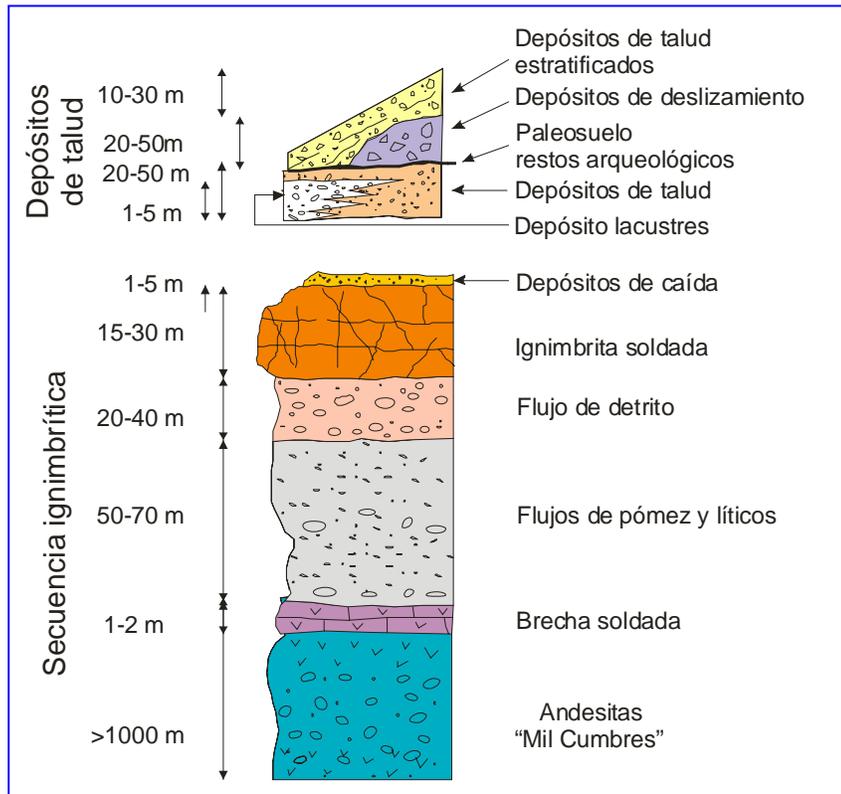


Fig. 4. Secuencia estratigráfica de la Ciudad de Morelia

de flujos riolíticos fracturados con espesor de 15 a 30 m. Todos estos paquetes de rocas piroclásticas y lavas son de composición riolítica y carácter calcoalcalino (Pasquaré *et al.*, 1991). Cierra la secuencia un depósito de cenizas de caída con un espesor variable de 1 a 5 m, que se ha denominado Alegría. Por su posición estratigráfica se ha considerado del Cuaternario (inferior a 500 mil años).

Sobreyaciendo a la Cantera de Morelia, se encuentran productos ligados a depósitos lacustres que en el área de Morelia tienen un espesor máximo de 50 m (Israde-Alcantara y Garduño-Monroy, 1999). Estos depósitos se pueden observar en el talud de La Paloma.

En el mismo escarpe de La Paloma, pero topográficamente más arriba, se encuentran depósitos de derrumbes separados de los anteriores por niveles de paleosuelos. En la parte más alta se encuentran brechas de talud estratificadas, con espesor de 2 a 4 metros.

Marco geológico-estructural

La Ciudad de Morelia forma parte del Cinturón Volcánico Mexicano. Como tal, es una zona geológicamente joven, caracterizada por la presencia de una fuerte actividad sísmica ligada a la presencia de numerosas fallas activas de dirección NE-SW y E-W con desarrollo e importancia regional. Pertenecen al sistema de fallas Acambay-Morelia. Las fallas activas NE-SW presentan procesos de deslizamiento (*creep-falla*) asociados con desplazamientos verticales que en 1996 fueron medidos en 6 cm/año (Garduño-Monroy *et al.*, 2001).

Sobre las andesitas se encuentra una secuencia piroclástica con un espesor máximo de 200 m aproximadamente, llamada Cantera de Morelia, la cual fue depositada por una fase explosiva asociada a los centros volcánicos que rodean a la ciudad, de una edad inferior a los 15 Ma (Garduño-Monroy *et al.*, 1999). Esta secuencia aflora de manera aislada en toda la ciudad y de manera continua en el escarpe La Paloma. Está constituida por una secuencia piroclástica que se puede dividir en diferentes intervalos: en la base se encuentra una brecha consolidada por calor que representa el contacto con el substrato andesítico y el espesor de esta brecha, en los límites donde aflora, es de 1 a 2 metros. Más arriba se encuentra una ceniza de caída aérea de color blanco, poco cementada, con espesor de 50 a 70 m. Sigue un nivel de conglomerados y brechas volcánicas con espesor de 20 a 40 m. Arriba se encuentra un nivel continuo consolidado

La orientación de las estructuras con expresión morfológica es E-W. Sin embargo, se conocen también lineamientos menores de dirección N-S, entre los cuales está la estructura por la que corre el Río Chiquito.

4. Riesgo geomorfológico asociado al escarpe de La Paloma

El escarpe de La Paloma (Fig. 5) constituye uno de los elementos geomorfológicos principales de la ciudad de Morelia. Está situado en la parte sur de la ciudad y se extiende con dirección E-W. Su altura máxima es de aproximadamente 200 m. La parte oriental está constituida principalmente de material andesítico, mientras en la parte occidental se observan materiales piroclásticos.

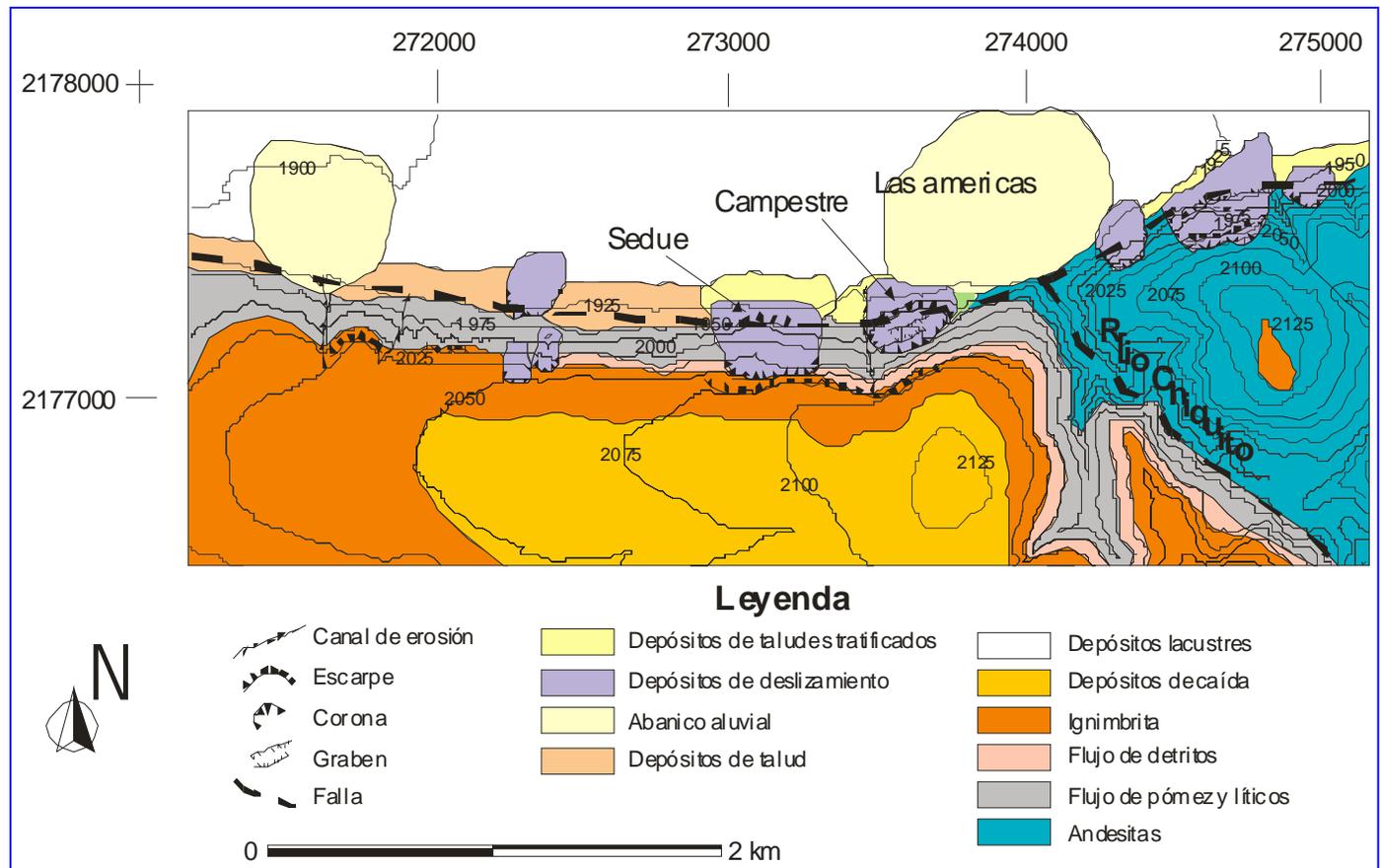


Fig. 5. Carta geológica del escarpe de La Paloma

Desde un punto de vista geológico-estructural el acantilado representa el flanco de un graben y, por lo tanto, corresponde a una falla normal con evidencias de actividad muy reciente (Arreygue-Rocha *et al.*, 1998, 1999, 2002; Garduño-Monroy, 2001).

La tipología de los movimientos observados es variada y está relacionada con las características litológicas de los materiales. Las dimensiones de los fenómenos que han ocurrido en el escarpe resultan extremadamente variables. En esta zona se pudieron reconocer fenómenos de deslizamientos roto-traslacionales (Varnes, 1978, 1984; Canuti y Casagli, 1994), tanto en la andesita como dentro de la secuencia piroclástica. Además, se detectaron en el mismo escarpe fenómenos de caída y volcamiento de bloques de rocas piroclásticas consolidadas. Varios bloques con volúmenes de 1 a 15 m³, que se han detenido a la mitad del talud y que son susceptibles de nuevos movimientos, están asociados con estos fenómenos. Estos bloques, debido a la

ausencia de obstáculos morfológicos en su trayectoria, pueden llegar a la zona habitada ubicada en la parte inferior del escarpe (Arreygue-Rocha *et al.*, 1998, 1999, 2002; Garduño-Monroy *et al.*, 2001).

Deslizamientos en materiales piroclásticos

Existen fenómenos de deslizamientos roto-traslacionales que sólo afectan a la secuencia piroclástica de la Cantera de Morelia, visibles únicamente en la parte occidental del escarpe de La Paloma.

Los fenómenos principales de deslizamiento estudiados son dos grandes movimientos: el deslizamiento denominado SEDUE (acrónimo de la anterior Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, actual Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente) y el deslizamiento conocido como del Campestre. Existen además otros deslizamientos de dimensiones más pequeñas que representan un interés menor, pero que en caso de tener movimientos podrían ocasionar daños a las zonas habitadas (Fig. 5). La presencia de un sistema mayor de discontinuidades paralelas a la orientación de la falla principal (E-W, inclinación 45°) pudo haber constituido una línea de debilitamiento a lo largo de la cual se produjeron los deslizamientos en masa.

El deslizamiento de la SEDUE constituye el movimiento de mayor dimensión. Tiene aproximadamente 600 m de largo, 400 m de ancho y 40 m de espesor. Sin embargo, no se puede excluir que el fenómeno esté en realidad compuesto por dos grandes deslizamientos contiguos que con el tiempo se unieron en un único gran movimiento (Arreygue-Rocha *et al.*, 1998, 1999, 2002; Garduño-Monroy *et al.*, 2001).

Se realizó una sección de la zona donde ocurrió el deslizamiento y se propone una posible reconstrucción a profundidad del movimiento. En la corona se encuentran grandes fracturas y trincheras con orientación paralela al escarpe, que evidencian una continua actividad del fenómeno, debido a la falta de detritos y de suelo dentro de las fracturas (Fig. 6).

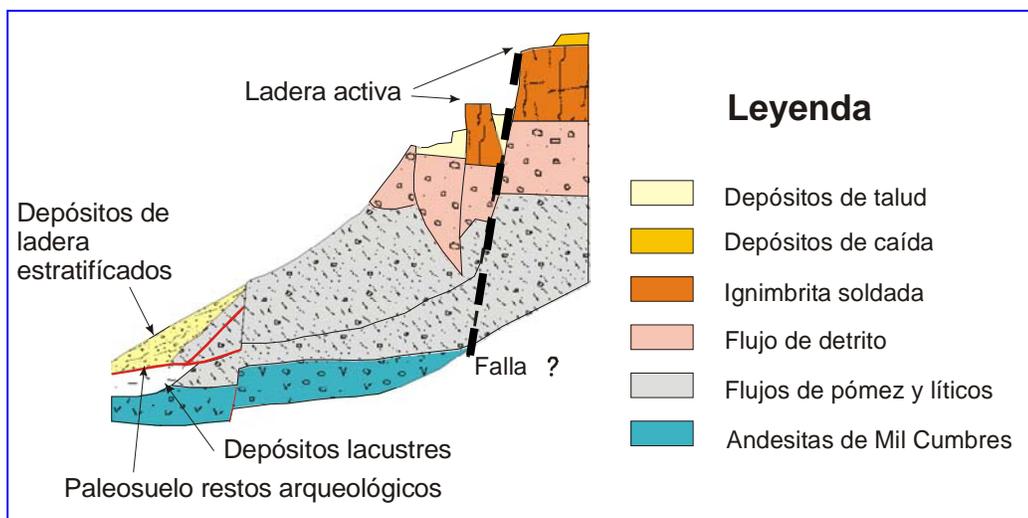


Fig. 6. Sección vertical con el deslizamiento de la SEDUE

El deslizamiento del Campestre, por su parte, es un movimiento roto-traslacional con dimensiones menores al anterior (400 m de ancho, 250 m de largo y 30 m de profundidad). Este cuerpo inestable se distingue por la presencia de una amplia área plana (mesa), inmediatamente debajo de la corona que ha quedado en la parte alta del escarpe de la falla La Paloma. Se cree que esta área fue habitada por la cultura Pirindas, como lo atestiguan los restos de cerámica que se han encontrado, enterrados, en la base del escarpe (Arreygue-Rocha *et al.*, 1998, 1999, 2002; Garduño-Monroy *et al.*, 2001).

5. Riesgo hidrológico

En Morelia hay diferentes áreas sujetas a inundaciones. El rápido crecimiento urbano ha hecho que en los últimos veinte años gran parte de estas áreas hayan sido invadidas por asentamientos habitacionales. La consecuencia lógica es un aumento del riesgo hidrológico.

Parte del cauce natural del Río Chiquito fue modificado sin tomar en cuenta sus características hidrológicas. En el nuevo cauce no se respetó la altura de sus márgenes, ya que éstas se encuentran por arriba del nivel de las calles aledañas, incrementando el riesgo hidráulico.

Además, se han construido demasiados puentes que representan un obstáculo para la escorrentía cuando se presentan periodos de lluvias excepcionales. Así, los materiales arrastrados por el agua durante su descenso se acumulan en los primeros puentes al ingresar a la ciudad, formándose diques que propician desbordamientos y posteriores inundaciones de áreas donde actualmente hay asentamientos urbanos.

En este estudio sólo se analiza el caso del Río Chiquito, afluente de la margen derecha del Río Grande, ya que se trata del dren con problemas hidrológicos más significativos.

La cuenca hidrográfica del Río Chiquito tiene una extensión de 85 km² hasta la confluencia con el Río Grande. El área drenada es de 81,21 km² hasta la estación hidrométrica Chiquito, que estuvo funcionando hasta 1989 y que está ubicada 3,8 km aguas arriba de la confluencia con el Río Grande. El cauce del río en su tramo urbano fue rectificado en 1939 y en particular sus secciones fueron redimensionadas para un gasto máximo de proyecto de 125 m³ por segundo (SARH, 1977).

Actualmente el cauce está afectado por una fuerte sedimentación y por una espesa cobertura vegetal, lo que produce una sensible reducción del área hidráulica y un aumento en el riesgo de inundaciones en las zonas inmediatamente adyacentes al curso de la corriente. Estudios efectuados por la SARH (1985) sobre la capacidad hidráulica efectiva del Río Chiquito, sin considerar los puentes, dan un valor de gasto de 70 m³/s.

La limitada capacidad del Río Chiquito para desalojar la escorrentía se comprueba por las inundaciones que han ocurrido en algunas colonias aledañas. En la gráfica de la Figura 7 se reporta la información obtenida con base en una recopilación hemerográfica de notas aparecidas en el diario *La Voz de Michoacán* durante el periodo 1955-1995. En estos cuarenta años hubo un total de trece eventos excepcionales, siete de los cuales ocurrieron durante el mes de agosto, tres en septiembre, y uno en los meses de abril, junio y julio. Por lo tanto, hay un 77% de probabilidad de que, de haber una inundación, ésta ocurra en los meses de agosto y septiembre, mientras que la probabilidad se reduce a sólo un 8% para los meses de abril a julio.

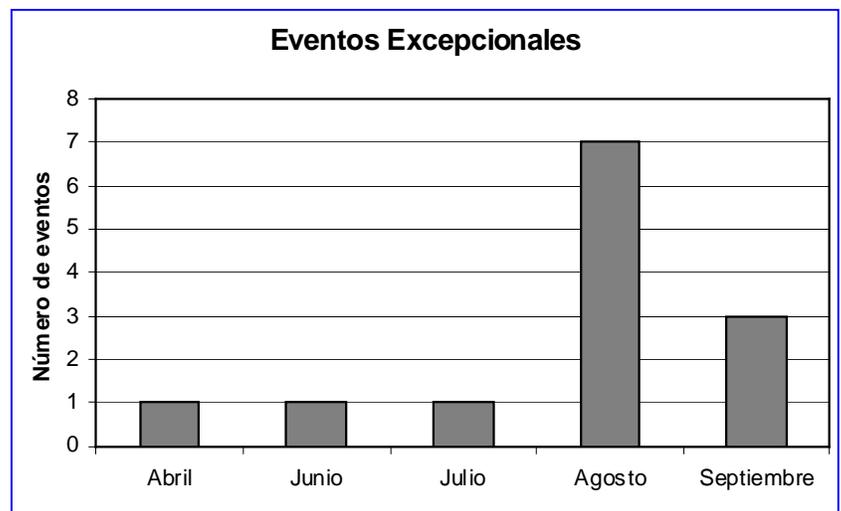


Fig. 7. Noticias históricas sobre inundaciones provocadas por el Río Chiquito en el periodo comprendido de 1955 a 1995.

La cuenca hidrológica del Río Chiquito tiene condiciones morfológicas tales que, aun cuando los valores de gasto regular no son elevados, la geometría del cauce constituye un desagüe inadecuado bajo condiciones críticas, es decir cuando ocurren avenidas extraordinarias (Arreygue-Rocha *et al.*, 1998, 1999).

Análisis hidrológico del Río Chiquito

Se estudió un tramo urbano del Río Chiquito, que se extiende una longitud de 3380 metros entre el puente de la Avenida Camelinas hasta el puente de la calle García Obeso. El desnivel que se observa en este tramo es de 17.25 metros. Los datos relativos a las secciones transversales y a las características geométricas de los puentes corresponden al archivo oficial de la Secretaría de Recursos Hidráulicos.

Para el análisis se utilizó el programa *Hec-Ras*, que permite crear perfiles de la superficie del flujo. Además permite calcular los perfiles de los regímenes subcríticos, supercríticos y mixtos. Todo ello se calcula con base en las ecuaciones del perfil, que se subdividen en secciones transversales que convengan: coeficiente de Manning para el canal principal, coeficientes de velocidad, evaluación de pérdidas por fricción, pérdidas por contracción y expansión, determinación de la profundidad (tirante) crítica, aplicación del momento y limitaciones de flujo uniforme. Esto hace posible evaluar el desplazamiento del perfil libre en condiciones de movimiento permanente del río, las condiciones geométricas de las secciones y el valor del gasto, y, en el caso del Río Chiquito, pone especial atención en el efecto de los puentes considerando su geometría.

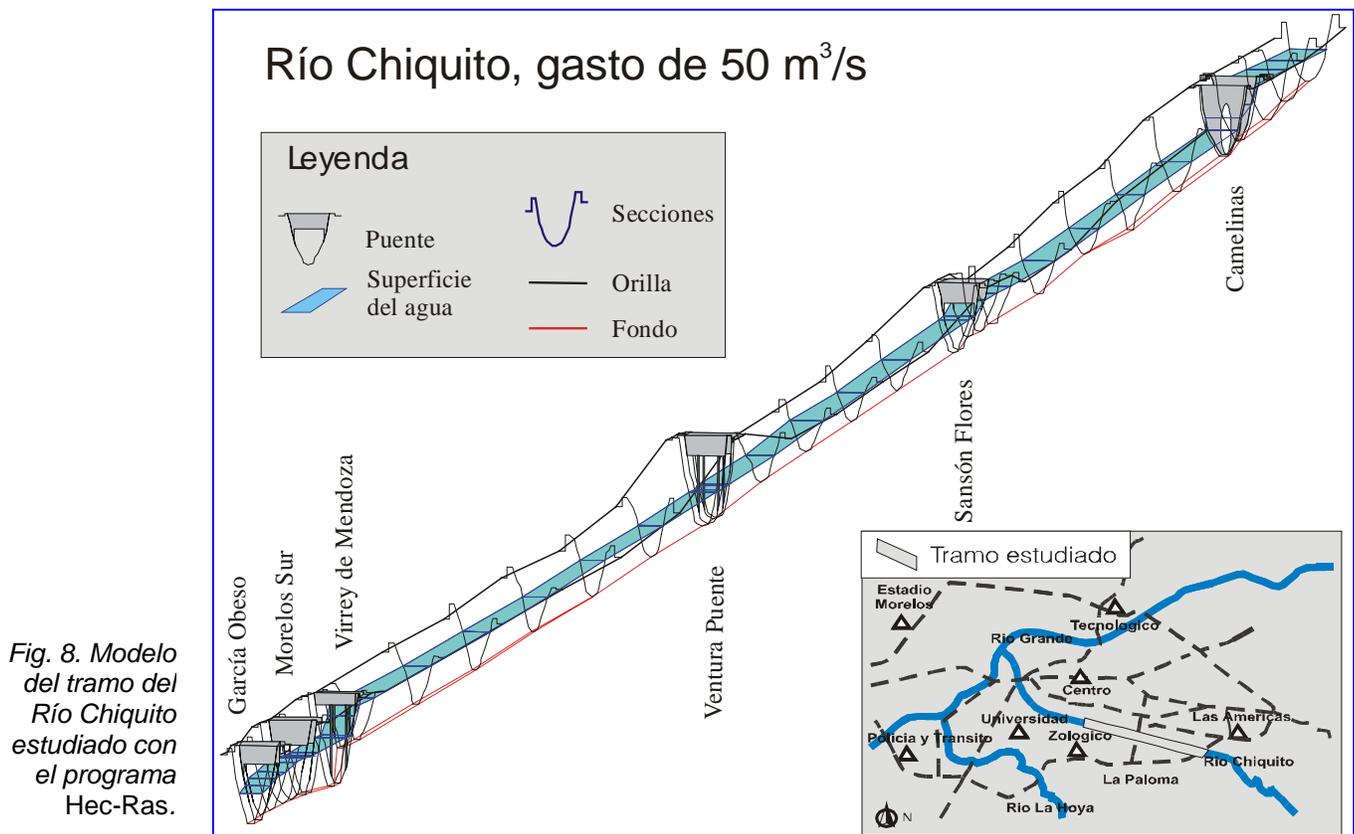


Fig. 8. Modelo del tramo del Río Chiquito estudiado con el programa Hec-Ras.

En el tramo estudiado hay seis puentes vehiculares, que atraviesan el río en las calles siguientes, partiendo aguas arriba de la corriente: Avenida Camelinas, Sansón Flores, Ventura Puente, Virrey de Mendoza, Morelos Sur y García Obeso (Fig. 8). Las secciones longitudinales de estos puentes son muy variadas, pues hay algunos con longitud de más de 40 metros (Avenida Camelinas), hasta puentes de menos de 10 metros. Sus secciones transversales también varían, ya que van desde los 9,54 m² (Avenida Camelinas) hasta los 71,1

m² (Avenida Ventura Puente). Además, dos de los puentes (Ventura Puente y Virrey de Mendoza) tienen cuatro columnas rectangulares cimentadas en el lecho del río, las cuales constituyen un obstáculo al paso de la corriente (Arreygue-Rocha *et al.*, 1998, 1999).

Se consideraron 30 secciones transversales del río (Fig. 8), a las cuales se les asignaron dos valores distintos del coeficiente de Manning: 0,033 para el fondo (por las características naturales del fondo del cauce), y 0,041 para las márgenes, debido a la presencia de vegetación sobre los taludes.

El programa arroja como resultado que, en el tramo considerado, el gasto máximo que puede contener sin problemas el cauce del río es de 50 metros cúbicos por segundo. Esta cifra es un promedio para la longitud estudiada, ya que, por ejemplo, en el puente de la Avenida Camelinas el cauce puede admitir un flujo de agua ligeramente mayor, de hasta 54 m³/s. Por lo tanto, cualquier lluvia que ocasione un flujo superior a esos 50 m³/s a lo largo del cauce provocará desbordamientos que inundarán las zonas habitadas en ambos márgenes del río.

Análisis de Gumbel con los gastos máximos del Río Chiquito

Con la finalidad de efectuar una estimación de los posibles tiempos de retorno de los valores del gasto máximo del Río Chiquito, se realizó un análisis según la ley de los valores extremos de Gumbel (Aparicio, 1993), tomando los datos de los gastos máximos registrados en la mencionada estación hidrométrica Chiquito.

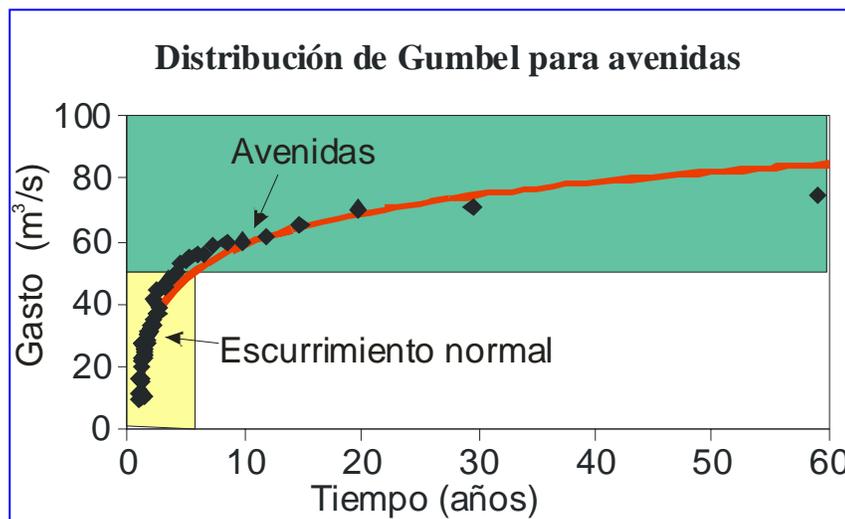


Fig. 9. Análisis de Gumbel para los gastos máximos del Río Chiquito en el período 1927-1989.

La información disponible es para el período 1927-1989, con la cual se obtuvieron los resultados que se reportan en la Figura 9, indicando que para una capacidad máxima de 50 m³ por segundo el tiempo de retorno es de 5 a 7 años. Si se considera la capacidad máxima de 70 m³/s, que reporta la SARH (1985), sin tomar en cuenta los puentes, el tiempo de retorno resultante es de aproximadamente 20 años (Fig. 9).

Por lo tanto, es de esperar que aproximadamente cada cinco años las áreas habitacionales aledañas a los márgenes del Río Chiquito sufran inundaciones, particularmente las áreas

cercanas a los puentes mencionados en el capítulo precedente.

6. Conclusiones

Aún de manera preliminar, este trabajo presenta las condiciones actuales de riesgo geomorfológico e hidrológico en dos de los elementos de riesgo identificados en la ciudad de Morelia: el escarpe de La Paloma y un tramo urbano del Río Chiquito.

El escarpe de La Paloma es producto de una falla normal activa de dirección E-W con caído hacia el sur, que a su vez es la parte meridional de un graben. En la zona hay riesgo de deslizamientos roto-traslacionales de tierra y caídas de bloques que pueden llegar a las zonas habitacionales ubicadas en la parte inferior.

El Río Chiquito es el afluente principal de la margen derecha del Río Grande, con una cuenca hidrográfica de 85 km². Su cauce fue modificado, y su capacidad máxima de proyecto, que fue de 125 m³/s, actualmente se ha reducido a 70 m³/s, sin considerar los puentes en el tramo urbano de 3,4 km de longitud que se estudió. Para un flujo máximo de 50 m³/s tomando en cuenta los puentes, es de esperar que cada cinco a siete años ocurran desbordamientos que inunden las zonas habitacionales de sus márgenes, según el análisis de Gumbel aplicado. En este caso, hay un 77% de probabilidad de que la inundación ocurra en agosto o septiembre, y un 23% de probabilidad de que ocurra en el periodo abril-julio. En los demás meses del año prácticamente no hay riesgo de inundación.

Referencias

- Aparicio Mijares, F.J. (1993). *Fundamentos de hidrología de superficie*. Segunda reimpresión. Editorial Limusa, México, 303 p.
- Arreygue, E., P. Canuti, A. Iotti y V.H. Garduño-M. (1998). Hydrogeological hazard in the urban area of Morelia, Mich. (Mexico). *Proceedings of the Eight International Congress of the Association for Engineering Geology and the Environment*, pp. 2245-2250.
- Arreygue R., E., P. Canuti, N. Casagli, A. Iotti y V.H. Garduño M. (1999). Las condiciones de riesgo hidrogeológico en la Ciudad de Morelia, (Michoacán, México), Patrimonio Mundial de la Humanidad. En *Asamblea Internacional y Congreso Mundial de Conservación del Patrimonio Monumental de ICOMOS* (Internacional Council on Monuments and Sites): Roma, 14 p.
- Arreygue-Rocha E., V.H. Garduño-Monroy, Paolo Canuti, Nicola Casagli, Alberto Iotti y Sergio Chiesa (2002). Análisis geomecánico de la inestabilidad del escarpe La Paloma en la Ciudad de Morelia, Michoacán, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 19 (2), pp. 91-106.
- Canuti, P., and N. Casagli (1994). Considerazioni sulla valutazione del rischio di frana. En: *Atti del convegno "Fenomeni Franosi e Centri Abitati"*, Bologna, 27 Maggio 1994, CNR – GNDICI, Regione Emilia Romagna.
- Garduño-Monroy, V.H., G.M. Rodríguez-Torres, I. Israde-Alcántara, E. Arreygue-Rocha, P. Canuti y S. Chiesa (1999). Efectos del clima (El Niño) en los fenómenos de fluencia de las fallas geológicas de la Ciudad de Morelia. *GEOS*, Unión Geofísica Mexicana, 9 (2), pp. 8-93.
- Garduño-Monroy, V.H., E. Arreygue-Rocha, I. Israde-Alcántara, y G.M. Rodríguez-Torres (2001). Efectos de las fallas asociadas a sobreexplotación de acuíferos y la presencia de fallas potencialmente sísmicas en Morelia, Michoacán, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 18 (1), pp. 37-54.
- Israde-Alcantara, I., and V.H. Garduño-Monroy (1999). Lacustrine record in a volcanic intra-arc setting. The evolution of the Late Neogene Cuitzeo basin system (central western Michoacan, Mexico): *Palaecogeography, Palaecology*, 15 (1-3), pp. 209-227.

- López-Granados, E.M. (1999). Cambio de uso de suelo y crecimiento urbano en la ciudad de Morelia, Michoacán. Tesis de Maestría, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 134 p. Inédito.
- Pasquaré, G., L. Ferrari, V.H. Garduño, A. Tibaldi, and L. Vezzoli (1991). Geology of the central sector of the Mexican Volcanic Belt, Status of Guanajuato and Michoacán: *Geological Society of America, Map and Chart series*, Boulder, Co., MCH072, 1 mapa, 22 p.
- Periódico *La Voz de Michoacán* (1950-1996).
- Ruiz, J.F. (1992). *Estampas de su pasado: Morelia, Michoacán*. Sociedad Quinto Centenario, Morelia, Mich., México. 200 p.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) (1977). Estudio geohidrológico preliminar del Valle de Morelia – Queréndaro, Michoacán, México. 201 p. Inédito.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) (1985). Estudio hidrológico: “Obras de Protección a la Ciudad de Morelia, Mich., en el Cauce del Río Chiquito de Morelia”. 50 p. Inédito.
- Vargas-Urbe, G. (1994). El crecimiento urbano-territorial de Morelia (1921-1993). *Ciencias Nicolaítas*, 7, pp. 24-49.
- Varnes, D.J. (1978). Slope movements types and processes. In: Schuster, R.L., Krizeck, R.J. (eds.), *Landslides, analysis and control*. National Academy of Sciences, Transportation Research Board, Special Report, 176, pp. 11-33.
- Varnes, D.J. (1984). *Landslide hazard zonation. A review of principles and practice*. United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (UNESCO), Natural Hazards Series, 3, 63 p.