

Ensayos

La urbanización como una de las causas de la extensión de las áreas de inundación en Huajuapán de León, Oaxaca

Recibido: 12-04-2018 Aceptado: 11-04-2019 (Artículo Arbitrado)

Resumen

En la Ciudad de Huajuapán de León el riesgo de inundaciones se incrementará en los próximos años, debido a que la urbanización de las cuencas provocará cambios en el régimen hidrológico. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la urbanización sobre el área de inundación del arroyo Las Campanas, cuya microcuenca abarca 20% de la superficie de la Ciudad. A partir de la tormenta de diseño asociada a un periodo de retorno de 2 años, se realizaron modelaciones hidrológicas e hidráulicas tanto para las condiciones actuales, como para un posible escenario futuro que contempla la sustitución de la vegetación natural por superficies impermeables. Se determinó que, al disminuir la cobertura vegetal, aumentará el gasto pico del hidrograma de escurrimiento directo de 8.9 a 14.2 m³/s, en consecuencia, la zona de inundación se extenderá de 51.6 a 74.3 hectáreas, lo que implica un incremento en el número de viviendas y edificaciones susceptibles a inundaciones por los escurrimientos pluviales del arroyo.

Abstract

In the City of Huajuapán de León, the risk of flooding will increase over the coming years because the urbanization of basins will cause changes in the hydrological regime. The aim of this work was to evaluate the effect of urbanization on the floodplain of the Las Campanas stream, whose microbasin covers 20% of the city's surface. Based on the design storm associated with a return period of 2 years, hydrological and hydraulic modeling were carried out both for current conditions and for a possible future scenario where natural vegetation is replaced by impermeable surfaces. It was determined that, when decreasing the vegetation cover, the peak flow of the direct runoff hydrograph will increase from 8.9 to 14.2 m³/s. Consequently, the flood zone will extend from 51.6 to 74.3 hectares, which implies an increase in the number of houses and buildings susceptible to floods by the runoff of the stream.

Résumé

Dans la ville de Huajuapán de León, le risque d'inondation augmentera dans les années à venir car l'urbanisation des bassins entraînera des modifications du régime hydrologique. L'objectif de ce travail était d'évaluer l'effet de l'urbanisation sur la plaine inondable de la rivière Las Campanas, dont le microbassin couvre 20% de la surface de la ville. À partir de l'évènement pluvio-hydrologique de conception associée à une période de retour de 2 ans, des modèles hydrologiques et hydrauliques ont été effectués aussi bien pour les conditions actuelles que pour un scénario futur possible qui envisage la substitution de la végétation naturelle par des surfaces imperméables. Il a été déterminé que, lors de la diminution de la couverture végétale, le débit de pointe de l'hydrogramme de ruissellement direct passera de 8,9 à 14,2 m³/s. Par conséquent, la zone inondable s'étendra de 51,6 à 74,3 hectares, ce qui implique une augmentation du nombre des maisons et des bâtiments susceptibles d'être inondés par le ruissellement du ruisseau.

Gabriela Álvarez Olguín¹
René Morales Luis
Corina Cisneros Cisneros
Fidencio Sustaita Rivera

Palabras clave: Desastres hidrometeorológicos, hidrograma de escurrimiento directo, gasto pico, modelación hidrológica, modelación hidráulica.

Keywords: Hydrometeorological disasters, direct runoff hydrograph, peak flow, hydrological modeling, hydraulic modeling.

Mots-clés: Catastrophes hydrométéorologiques, hydrogramme à ruissellement direct, pointe de débit, modélisation hydrologique, modélisation hydraulique.

Universidad Tecnológica de la Mixteca

Correspondencia:
¹galvarez@mixteco.utm.mx

Introducción

Las cuencas son espacios geográficos que proveen diversos servicios ambientales e hidrológicos, contribuyen a la conservación de la biodiversidad, protegen los recursos hídricos en términos de calidad y cantidad para los diversos usos, y mitigan riesgos relacionados con los flujos de agua, tales como, inundaciones y deslaves (Espinoza, 1999; Smith, Groot, Bergkamp y Perrot-Maitre, 2006). La proporción que ocupan los

asentamientos urbanos en el planeta es menos del 2%; sin embargo, la población que habita en ellos requiere de infinidad de recursos para subsistir, y son los principales causantes de la degradación de bosques, tierras de cultivo, pastizales y áreas rurales (Grübler, 1994). Esto implica que a medida que los ecosistemas dentro de una cuenca cambian, se pierden o degradan, se modifica su capacidad de prestar servicios para satisfacer las necesidades humanas.

En la urbanización de las cuencas, la superficie ocupada por las ciudades crece sobre paisajes ambientalmente sensibles de los lechos y bordes de los cauces fluviales (Vidal y Romero, 2010). En este proceso, la vegetación natural y el suelo no perturbado se reemplazan con concreto, asfalto y otras superficies impermeables, por lo tanto, cuando llueve es menos probable que el agua se infiltre y en cambio, fluye directamente hacia los cauces de los ríos (Uttara, Bhuvandas y Aggarwal, 2012) aumentando la magnitud de las avenidas máximas y provocando inundaciones.

La Ciudad de Huajuapán de León, es la más importante de la Mixteca Oaxaqueña (García, Martínez y Aquino, 1998), tiene una población de 77, 547 habitantes y una de las tasas de crecimiento poblacionales (2.3%) más altas del estado de Oaxaca (INEGI, 2015). En esta localidad, es común la ocurrencia de lluvias muy fuertes, en las que caen entre 30 y 60 mm de lluvia en una hora. Entre 2002 y 2014, se registraron 15 tormentas muy fuertes, que provocaron inundaciones en diferentes grados de afectación en algunas zonas de la Ciudad, como las colonias: La Merced, Centro y San José; ubicadas en la microcuenca del arroyo Las Campanas.

La severidad de este tipo de desastres hidrometeorológicos podría incrementarse en los próximos años debido al proceso de urbanización y a cambios climáticos globales que alteran el comportamiento de los eventos extremos de lluvia y escurrimientos. Evidencia de tales alteraciones en la región ha sido reportada por Blanco, Martínez, Sánchez, Rubio, Cisneros, Pedro y Sustaita (2001), quienes mencionaron que si se deforesta la Cuenca Alta del Río Mixteco la escorrentía superficial se multiplicaría enormemente,

por lo que se espera un drástico aumento del flujo de agua en los cauces. De esta forma, la urbanización de cuencas provocará cambios en el régimen hidrológico (O'Driscoll, Clinton, Jefferson, Manda, y McMillan, 2010; May, Horner, Karr, Mar, y Welch, 1999; Federovisky, 1990) y se incrementarán la magnitud y frecuencia de las inundaciones (Smith, 2013).

Pese al aumento inminente del riesgo de inundaciones en la ciudad, no existe un adecuado control sobre el crecimiento de la mancha urbana. Por tal razón, el objetivo de este proyecto fue evaluar el efecto de la urbanización sobre el área de inundación del arroyo Las Campanas de la Ciudad de Huajuapán de León. Se espera que los resultados ayuden a concienciar a la población y a las autoridades sobre la importancia de la planificación urbana para prevenir el aumento en el riesgo de desastres naturales, además serán una herramienta útil en la creación de estrategias locales de protección civil.

Metodología

El arroyo de Las Campanas es un tributario del río Mixteco, que nace al noroeste de la Ciudad de Huajuapán de León, tiene una microcuenca de 1028.8 hectáreas comprendidas entre las coordenadas geográficas 97° 49' 45" y 97° 46' 14" longitud oeste y, 17° 48' 21" y 17° 51' 20" latitud norte. Esta microcuenca contiene 20% de la superficie urbanizada de la Ciudad (Figura 1), más que el resto de las microcuencas que se encuentran total o parcialmente dentro de la zona urbana de la localidad (tales como los ríos Mixteco y Salado).

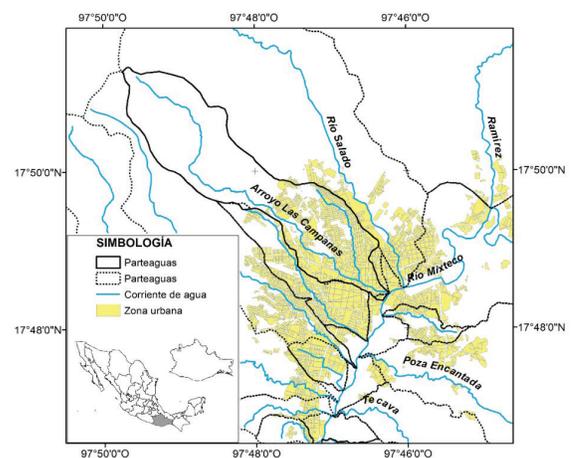


Figura 1. Principales corrientes de agua que atraviesan a la Ciudad de Huajuapán de León, Oaxaca.

Para evaluar el efecto de la urbanización en la microfrecuencia, se elaboraron mapas de inundaciones, tanto para las condiciones actuales de uso de suelo y coberturas vegetales, como para un posible escenario futuro que contempla la extensión de la mancha urbana. Los mapas se construyeron con base en modelaciones hidrológicas e hidráulicas realizadas respectivamente con los programas HEC-HMS (4.2.1) y HEC-RAS (5.0.3) del Hydraulic Engineering Center (HEC) del U.S. Army Corps of Engineers. Con la modelación hidrológica se obtuvieron hidrogramas de escurrimiento directo para el periodo de retorno de 2 años; mientras que con la modelación hidráulica se determinaron la extensión y profundidad de las zonas de inundación. Los pasos previos a las modelaciones se describen a continuación.

En ArcMap (10.4.1) se procesó y analizó información sobre elevación digital del terreno, tipo de suelos, uso de la tierra y cobertura vegetal; con lo cual se obtuvieron los límites de las subcuencas, la longitud y el desnivel de los cauces, y el número de curva (N).

Los tipos de suelos dominantes se obtuvieron de la investigación realizada por Blanco et al. (2001). Las superficies de uso de suelo y cobertura vegetal reportadas por estos autores, se actualizaron mediante la digitalización de la denominada World Imagery de 2018 disponible en ArcGIS online (Fuente: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community).

La determinación del valor de N se realizó en función del tipo de suelo, del uso del suelo y de la cobertura vegetal, con base en las recomendaciones realizadas por Mockus (2004) para zonas áridas y por Westphal (2001) para áreas urbanas. Además, se determinó el tiempo de concentración (T_c) mediante la ecuación (1), que es una expresión basada en la fórmula del U.S. Corps of Engineers (Campos Aranda, 2010). El tiempo de retraso (T_r) se estimó a partir de la ecuación (2).

$$T_c = 0.2733 \left(\frac{L_c \cdot L_{cg}}{\sqrt{S}} \right)^{0.38} \quad (1)$$

$$T_r = 0.6T_c \quad (2)$$

Donde L_c es la longitud del cauce principal en km, L_{cg} es la distancia en km sobre el cauce principal desde la salida de la cuenca hasta el punto más cercano al centro de gravedad de ésta, y S es la pendiente promedio adimensional.

Posteriormente, se determinaron las intensidades de lluvia máximas registradas entre los años 2002 y 2014, en la estación climatológica automatizada del Instituto de Hidrología de la Universidad Tecnológica de la Mixteca. A partir de esta información, se construyeron las curvas $i-d-T$ (intensidad-duración-periodo de retorno) mediante un análisis de regresión lineal múltiple de las variables intensidad, duración y periodo de retorno, basado en la ecuación (3).

$$i = \frac{kT^m}{d^n} \quad (3)$$

Donde k , m y n son constantes, i es la intensidad en mm/h, T es el periodo de retorno en años y d es la duración en minutos.

De las curvas $i-d-T$, se determinó la tormenta de diseño asociada a un periodo de retorno de 2 años, cuya duración mínima se consideró igual T_c de la microfrecuencia; el intervalo elegido para definir con exactitud el hidrograma, fue de 5 minutos. Posteriormente se obtuvieron las intensidades de las duraciones que son múltiplos del intervalo adoptado. Los valores de lluvia acumulada se determinaron multiplicando las intensidades por la duración acumulada y los incrementos de lluvia se calcularon restando a cada i -ésimo valor de lluvia acumulada el correspondiente valor anterior. Para adecuar las lluvias al tamaño de cuenca se utilizó el factor de reducción por área (FRA) definido por la expresión (4). El arreglo de cada tormenta balanceada consistió en colocar el valor máximo en el centro de la tormenta, el segundo más alto se colocó a la izquierda del mayor y el tercero a la derecha; siguiendo este mismo criterio, se ordenaron los incrementos restantes.

$$FRA = 1.0 - 0.3549D^{-0.42723} (1.0 - e^{-0.005794A}) \quad (4)$$

Donde, D es la duración de la precipitación en horas y A es el área de la cuenca en km^2 .

Los datos de entrada para la modelación hidrológica en HEC-HMS, fueron: área de la subcuenca, tiempo de retraso, número de curva y tormenta de diseño. El método seleccionado para determinar la lluvia en exceso fue el de número de curva del NRCS (Natural Resources Conservation Service) descrito por Mockus y Hjelmfelt (2004). Para definir la forma del hidrograma, se utilizó el método del hidrograma unitario del NRCS (Snider, Woodward, Hoelt, Merkel, Chaison y Fox, 2007). Como datos de salida se obtuvieron hidrogramas de escurrimiento directo.

La modelación hidráulica de las inundaciones en HEC-RAS, consistió en realizar un análisis bidimensional del flujo en régimen no permanente. Para esto, se construyó una malla con valor de espaciado de centros de celdas igual a 5 m. El número n de Manning utilizado fue de 0.045, que corresponde a arroyos en planicie sinuosos, con algunas irregularidades del fondo, algo de hierba y rocas (Chow, 1994). Se consideraron 3 condiciones de frontera: el hidrograma de escurrimiento directo aguas arriba sobre la microcuenca, un caudal constante de $1 \text{ m}^3/\text{s}$ sobre el río Mixteco y una condición de tirante normal sobre el río con pendiente de fricción igual a 0.01.

Resultados y Discusión

Los suelos dominantes en la microcuenca Las Campanas tienen textura franco-arenosa, por lo cual, se clasifican dentro del grupo hidrológico de suelos B, que se caracterizan por tener entre 10 y 20 % de arcilla y 50 a 90 % de arena (Mockus, 2004).

La mayor superficie de la microcuenca (62%) corresponde a la cobertura vegetal denominada arbolado claro (Figura 2), en la cual, predominan especies vegetales como: cacahuete blanco (*Ipomoea murucoides*), cacahuete negro (*Ipomoea pauciflora*), jarilla (*Dodonaea viscosa*), palma de sombrero (*Brahea dulcis*), maguey papalomé (*Agave potatorum*). La cobertura designada como arbolado denso abarca 5% de la superficie, en la que, además de las anteriormente mencionadas, se encuentran especies como: tehuixtle (*Acacia bilimekii*), cubata (*Acacia macracantha*), encino chaparro (*Quercus* sp.), enebro (*Juniperus flaccida*), uña de gato (*Mimosa pueblensis*), cuajote amarillo (*Bursera biflora*), cuajote rojo (*Bursera* sp.) y maguey espadilla (*Agave angustifolia*).

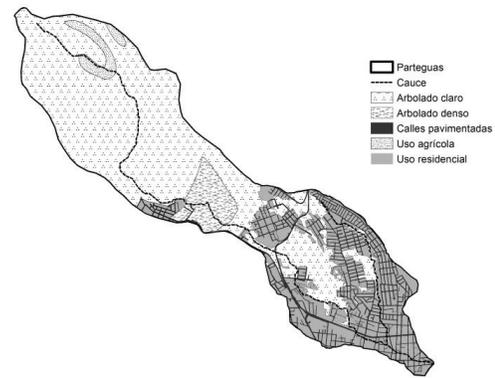


Figura 2. Uso del suelo y cobertura vegetal actual

Por otro lado, se calculó que 24% de la superficie pertenece a zonas residenciales con tamaño promedio de lote menor a 500 m^2 y que 7% está ocupado por calles pavimentadas.

La información sobre el grupo hidrológico de suelos, el uso de suelo y la cobertura vegetal; permitieron elegir los números de curva para los complejos suelo-cobertura de la Tabla 1. Los valores de N asignados indican el potencial de escurrimientos, de tal forma que un valor N más alto está asociado a un mayor escurrimiento. Se asumió, como posible escenario futuro, que la superficie ocupada por zonas residenciales y calles pavimentadas se extendió hasta abarcar 49% y 15% de la superficie respectivamente, esto significa que la superficie urbanizada se ha duplicado. Para el escenario futuro, el valor de N de la microcuenca, es cinco unidades más que el estimado para las condiciones actuales.

El valor de FRA estimado para la construcción de las tormentas fue de 0.985. Los valores estimados para k , m y n de la ecuación (3), fueron 170.37, 0.341 y 0.502, respectivamente; con estos datos, se construyó la ecuación (5), a partir de la cual se obtuvieron las tormentas e hidrogramas de diseño asociados a un periodo de retorno de 2 años o una probabilidad de ocurrencia de 50%. La representación gráfica de esta última ecuación, se muestra en la Figura 3, que representa las curvas $i-d-t$ para la zona de estudio. Se observa que a mayor periodo de retorno, mayor será la intensidad de la lluvia para cualquier duración. Además, dado que la probabilidad de ocurrencia es inversamente proporcional al periodo de retorno, las

Tabla 1. Valores del número de curva asignado

Uso el suelo y cobertura vegetal	Condiciones actuales				Posibles condiciones futuras			
	Superficie		Condición hidrológica	Número de curva	Superficie		Condición hidrológica	Número de curva
	Hectáreas	%			Hectáreas	%		
Agrícola	25.6	2		72	25.6	2		72
Arbolado denso	55.0	5	Buena	68	55.0	5	Buena	68
Arbolado claro	635.1	62	Regular	72	292.0	28	Regular	72
Zona residencial	242.8	24		85	506.2	49		85
Calles pavimentadas	70.4	7		98	150.0	15		98
Total	1028.8	100		77	1028.8	100		82

tormentas con menor probabilidad de ocurrencia serán más intensas. Por ejemplo, para una duración de 10 minutos, la intensidad de la lluvia asociada a un periodo de retorno de 2 años (probabilidad de 50%) es de 68 mm/h; mientras que para la misma duración pero con un periodo de retorno de 10 años (probabilidad de 10%) la intensidad es de 117.6 mm/h.

$$i = \frac{170.37T^{0.341}}{d^{0.502}} \quad (5)$$

Los gastos pico de los hidrogramas de la Figura 4, presentan un retraso con respecto al inicio de la tormenta, este retraso se debe al tiempo requerido para que el agua de lluvia recorra el terreno y la red de cauces hasta llegar al punto más bajo de la microcuenca. La magnitud de este retraso está en función de las dimensiones y características físicas de la microcuenca y se cuantificó a través de los tiempos de concentración (T_c) y de retraso (T_r). El tiempo de retraso es el lapso entre los centros de masa de la lluvia en exceso y el hidrograma (Campos, 2015). El tiempo de concentración es el lapso que tarda el escurrimiento de una tormenta en viajar desde el punto más distante hasta la salida y es el tiempo míni-

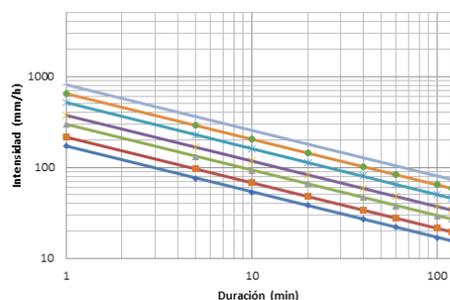


Figura 3. Curvas intensidad -duración -periodo de retorno

mo para que todas las porciones de la microcuenca contribuyan de manera simultánea al escurrimiento directo (Campos, 1987). La duración de las tormentas de diseño, se consideraron igual al tiempo de concentración. A partir de las características físicas de la microcuenca mostradas en la Tabla 2, se estimó que el tiempo de concentración y de retraso son de 2.11 y 1.27 h, respectivamente.

El gasto pico estimado para las condiciones actuales de la microcuenca es de 8.9 m³/s, mientras que el del escenario futuro sería de 14.2 m³/s; esto implica que, a medida que la impermeabilidad de la cuenca aumenta, los gastos pico se incrementarán, es decir, se tendrá mayor escurrimiento superficial. De acuerdo

Tabla 2. Características físicas de la micro cuenca

Descripción	Valor
Área (ha)	1028.8
Desnivel (m)	416.6
Longitud del cauce principal (km)	9.6
Distancia del cauce principal desde el centro de gravedad (km)	4.8
Pendiente (adimensional)	0.044

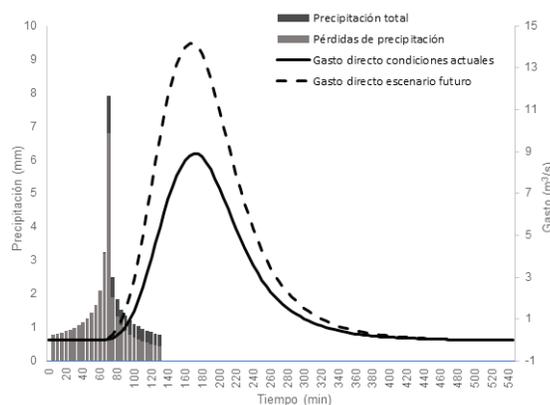


Figura 4. Hietograma e hidrogramas de diseño

con los resultados calculados, el área susceptible de inundación para las condiciones actuales de uso del suelo es de 51.6 ha, con profundidades máximas de 6.6 m (Figura 5a). Por otro lado, para el escenario futuro se estimó una superficie inundable de 74.3 ha con profundidades de hasta 7.4 m. Esto indica que, como efecto del incremento de los gastos pico, el área bajo amenaza de inundación se extenderá, aun en zonas alejadas del arroyo Las Campanas y del río Mixteco (Figura 5b).

Está claro que, para prevenir inundaciones, es necesario visualizar a la cuenca como la unidad básica de planeación. Para evitar que la amenaza de inun-

dación sea mayor, es necesario realizar un manejo integral de los recursos naturales, que favorezcan la infiltración del agua de lluvia. De esta forma, las estrategias de prevención y mitigación de inundaciones, no solo se deben enfocar a la atención de emergencias o construcción de obras (sistemas de drenaje, bordos, etc.) para el control de escurrimientos, sino que también deben incluir actividades preventivas en la microcuenca para evitar que los escurrimientos superficiales continúen incrementándose por efecto de la urbanización desordenada y por la degradación de los recursos suelo-vegetación. Las actividades preventivas en las partes altas de la microcuenca deben consistir en conservar el uso correspondiente al arbolado denso y recuperar el uso denominado como arbolado claro, mediante actividades como: reforestación, establecimiento de barreras vegetales, construcción de obras para la retención de suelos, creación de zonas protegidas, captación de agua de lluvia en techos, regulación del crecimiento urbano, entre otras.

La creación de estrategias de mitigación de inundaciones se debe abordar bajo el enfoque de manejo integral de cuencas; en el que se contemple la restauración y conservación de la vegetación y los suelos en las partes altas de las cuencas, como medida para prevenir inundaciones en las partes bajas donde se encuentran los asentamientos humanos.

Si bien frenar la expansión de la mancha urbana no es siempre posible, es de suma importancia que los nuevos asentamientos humanos se realicen en sitios donde el impacto negativo hacia el ambiente sea el mínimo posible y donde las personas no estén expuestas a un alto riesgo por desastres hidrometeorológicos; de aquí surge la necesidad de desarrollar un plan de ordenamiento ecológico territorial para el municipio de Huajuapán de León. Además, es importante informar y concienciar a la comunidad dentro de su espacio territorial, para que de esta forma exista la participación conjunta de la sociedad, las instituciones educativas y los diferentes niveles de gobierno (municipal, estatal y federal), para buscar soluciones y realizar acciones de prevención y mitigación.

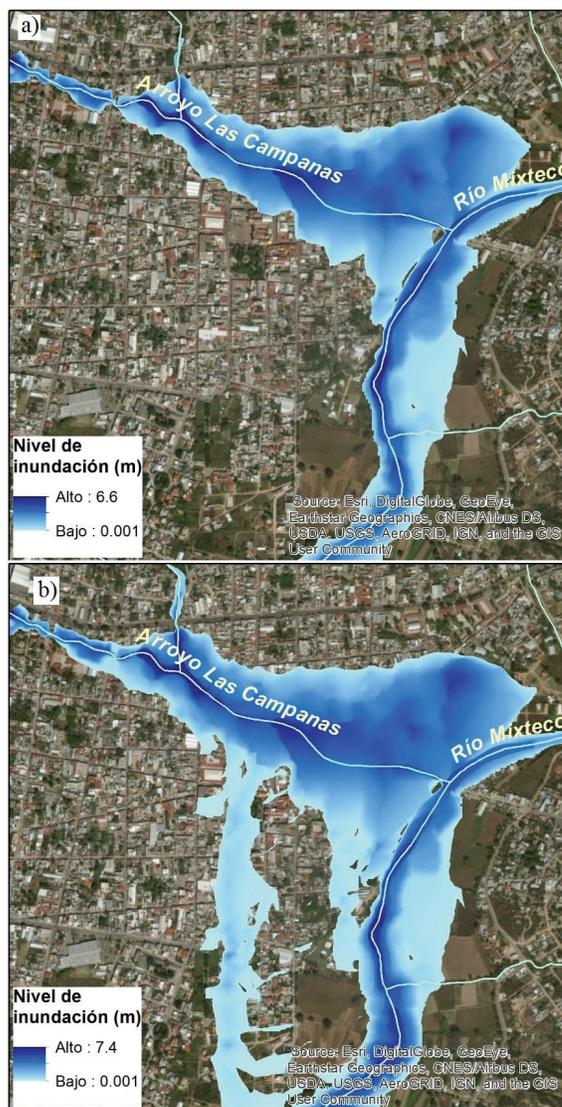


Figura 5. Áreas de inundación asociadas a un periodo de retorno de 2 años; a) número de curva igual a 77, b) número de curva igual a 82 (escenario futuro)

Conclusiones

En la microcuenca de Las Campanas, al duplicarse la superficie de calles pavimentadas y la destinada al uso residencial, el valor del número de curva sería cinco unidades más alto que el de las condiciones de uso de suelo y coberturas actuales, por lo que, el gasto pico del hidrograma de diseño para un periodo de retorno de 2 años, aumentará de 8.9 a 14.2 m³/s. En consecuencia, la superficie bajo amenaza de inundación se expandiría de 51.6 a 74.3 ha. Esto indica que si la urbanización en la microcuenca continúa de manera desordenada, aumentarán los escurrimientos máximos y en el futuro serán más las viviendas y edificaciones susceptibles a inundaciones.

Bibliografía

- Blanco, A., Martínez, S., Sánchez, O., Rubio, A., Cisneros, C., Pedro, E. C., & Sustaita, F. (2001). *Aplicación de un modelo de balances hídricos en la cuenca alta del Río Mixteco (Oaxaca): determinación del binomio infiltración/escurrimiento con vistas a la reconstrucción de sus ecosistemas forestales*. Universidad Tecnológica de la Mixteca. Huajuapán de León, Oax., México.
- Campos, A. D. (2010). *Introducción a la hidrología urbana*. San Luis Potosí, México.: Printego.
- Campos, A. D. F. (1987). Construcción de tormentas hipotéticas. *Ingeniería Hidráulica en México*, 9-22.
- Chow, V. T. (1994). *Hidráulica de canales abiertos*. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill/Interamericana.
- Espinoza, N. (1999). *El pago de servicios ambientales y el desarrollo sostenible en el medio rural* (Vol. 2). IICA.
- Federovisky, S. (1990). Influencias de la urbanización en un desastre: el caso del área metropolitana de la ciudad de Buenos Aires. *Medio ambiente y urbanización*, 8(30), 31-50.
- García, B.J.M., S. Martínez R. y F. Aquino H. 1998. Consideraciones preliminares sobre la situación de la Presa Yosocuta y su cuenca de alimentación. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 5(2): 17-31.
- Grübler A (1994). Technology and global change: Land-use, past and present. In: *Changes in Land Use and Land Cover: A Global Perspective*. Eds. Meyer, W.B. & Turner, B.L., pp. 287-328 Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- HEC-HMS (4.2.1) [Software]. (2017). Recuperado de <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/downloads.aspx>.
- HEC-RAS (5.0.3) [Software]. (2016). Recuperado de <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/downloads.aspx>.
- INEGI (2015). Principales resultados Encuesta Intercensal 2015, Oaxaca. Recuperado de <http://www.migrantes.oaxaca.gob.mx/wp-content/uploads/2016/02/ENCUESTA-INTERCENSAL-2015.pdf>.
- May, C. W., Horner, R. R., Karr, J. R., Mar, B. W., & Welch, E. B. (1999). Effects of urbanization on small streams in the Puget Sound ecoregion. *Watershed Protection Techniques*, 2(4), 79.
- Mockus, V. (2004). Hydrologic Soil-Cover Complexes. In *Hydrology National Engineering Handbook*. (pp 1-14), Washington, DC: Natural Resources Conservation Service.
- Mockus, V. and Hjelmfelt, A. (2004). Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall. In *Hydrology National Engineering Handbook*. (pp 1-20), Washington, DC: Natural Resources Conservation Service.
- O'Driscoll, M., Clinton, S., Jefferson, A., Manda, A., & McMillan, S. (2010). Urbanization effects on watershed hydrology and in-stream processes in the southern United States. *Water*, 2(3), 605-648.
- Smith, K. (2013). *Environmental Hazards. Assessing Risk & Reducing Disaster*. Routledge, London.
- Smith, M., De Groot, R. S., Bergkamp, G., & Perrot-Maitre, D. (2006). *Pay: Establishing payments for watershed services*. IUCN, Gland, Switzerland.
- Snider, D., Woodward, D., Hoelt, C., Merkel, W., Chaison, K. and Fox, H. (2007). Hydrographs. In *Hydrology National Engineering Handbook*. (pp 1-23), Washington, DC: Natural Resources Conservation Service.
- Uttara, S., Bhuvandas, N., & Aggarwal, V. (2012). Impacts of urbanization on environment. *International Journal of Research in Engineering and Applied Sciences*, 2(2), 1637-1645.
- Vidal, C., & Romero Aravena, H. (2010). Efectos ambientales de la urbanización de las cuencas de los ríos Biobío y Andalién sobre los riesgos de inundación y anegamiento de la ciudad de Concepción. In L. Pérez & R. Hidalgo Planes, *procesos y proyectos*. Pérez, L. e Hidalgo (Eds), Concepción Metropolitano: Evolución y desafíos. Santiago: SerieGEOlibros.
- Westphal, J. A. (2001). Hydrology for drainage system design and analysis. In *stormwater collection systems design handbook*.

