

Modelización del flujo superficial para el trazo de una red de drenaje pluvial en la ciudad de Cancún, Quintana Roo, México

Overland flow modeling for mapping of a storm drains network in Cancun city, Quintana Roo, Mexico

Óscar Jesús Llaguno Guilberto*^o, José Manuel Rodríguez Varela*, Víctor Hugo Alcocer Yamanaka**, Víctor Javier Bourguett Ortiz**

RESUMEN

El drenaje pluvial urbano es una medida no estructural que permite la mitigación de inundaciones en zonas que presentan afectaciones recurrentes. El diseño de sistemas de drenaje pluvial urbano con ayuda de un modelo de simulación hidráulica tiene por objetivo conocer el comportamiento del sistema actual y proponer un sistema de drenaje que permita tener la capacidad de desalojo en el menor tiempo posible. El caso de estudio son cinco colonias de Cancún, Quintana Roo, de donde resulta un sistema de drenaje pluvial a base de cárcamos de bombeos.

ABSTRACT

Urban stormwater drainage is a non-structural measure that allows flood mitigation in areas with recurring damages. Design of urban stormwater drainage systems with use of a hydraulic simulation model aims to understand current system behavior and propose a drainage system that allows to have evicition capacity in the shortest time possible. Case study corresponds to 5 colonies of Cancun, Quintana Roo, resulting in a stormwater drainage based on sumps pumps.

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Cancún, Quintana Roo, México, en los últimos años ha tenido un crecimiento poblacional acelerado. Esto ha contribuido a la construcción de viviendas, carreteras, espacios públicos, hoteles, etcétera, para los residentes y visitantes. El cambio del uso del terreno ha propiciado una mayor impermeabilidad de la zona que, aunado al nivel freático somero, coadyuva a generar encharcamientos e inundaciones en la zona. En el pasado, la región contaba con un ciclo hidrológico habitual, pero con las diversas influencias e intervenciones se presenta ahora un ciclo hidrológico urbano (Campos, 2010).

Estos factores han influido a que, con las precipitaciones estacionales, se generen problemas de inundaciones y encharcamientos urbanos, mismos que afectan a todos los sectores: social, económico, educativo, seguridad y de salud. Ante el problema generalizado, la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado (CAPA), en coordinación con el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), llevaron a cabo un estudio para conocer el comportamiento de los escurrimientos superficiales y proponer una medida que mitigue las inundaciones urbanas en cinco colonias de la ciudad de Cancún.

De acuerdo con el *Manual de alcantarillado pluvial. Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento* (MAPAS, 2015), existen diferentes tipos de alcantarillado, dependiendo del tipo de transporte del flujo de aguas; si es por el escurrimiento superficial, se le denomina drenaje pluvial, para el presente estudio es el tipo de sistema que será utilizado en el modelado hidráulico.

Recibido: 24 de octubre de 2015
Aceptado: 14 de noviembre de 2016

Palabras clave:

Drenaje urbano; SIG; simulación hidráulica e inundación.

Keywords:

Urban drainage; GIS; hydraulic simulation and inundation.

Cómo citar:

Llaguno Guilberto, O. J., Rodríguez Varela, J. M., Alcocer Yamanaka, V. H., & Bourguett Ortiz, V. J. (2016). Modelización del flujo superficial para el trazo de una red de drenaje pluvial en la ciudad de Cancún, Quintana Roo, México. *Acta Universitaria*, 26(NE-3), 98-106. doi: 10.15174/au.2016.1063

* Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac núm. 8532, Col. Progreso, Jiutepec, Morelos, México, C.P. 62550. Correos electrónicos: oscar_llaguno@tlaloc.imta.mx; manuel_rodriguez@tlaloc.imta.mx

** Comisión Nacional del Agua. Av. Insurgentes Sur núm. 2416, Delegación Coyoacán, Ciudad de México, México, C.P. 04340. Correos electrónicos: yamanaka@conagua.gob.mx; victor.bourguett@conagua.gob.mx

^o Autor de correspondencia.

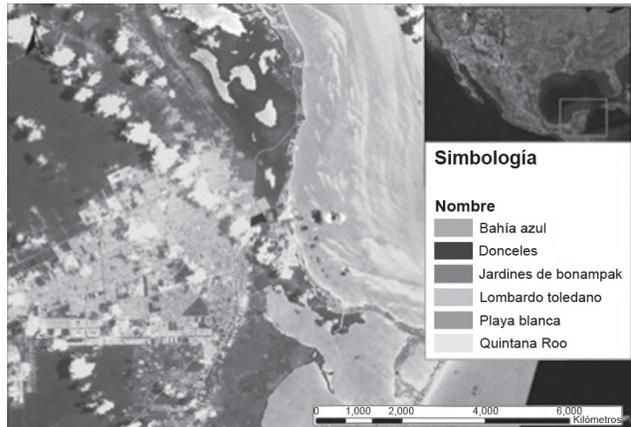


Figura 1. Macrolocalización y microlocalización.
Fuente: Llaguno, Alcocer, Rodríguez, Alborno & Cortez (2014).

La zona de estudio se encuentra en la parte norte del estado de Quintana Roo, localizándose dentro del municipio de Benito Juárez. En específico, se enfoca en las colonias contiguas a la Laguna Manatí, que son: Lombardo Toledano, Jardines de Bonampak, Donceles 28, Villas Playa Blanca y Bahía azul (figura 1).

Geográficamente se ubica entre los paralelos 21° 11' 35.59" y 21° 11' 56.11" de latitud norte y los meridianos 86° 49' 5.33" y 86° 48' 41.04" de longitud oeste.

Al 2010, el municipio registró una población de 661 176 habitantes, de acuerdo con los resultados de *Censos y conteos de población y vivienda*, del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2010).

MATERIALES Y MÉTODOS

El método empleado en el estudio se basa en lo descrito por Rodríguez, Alcocer-Yamanaka, Alborno, Santos & Llaguno (2014), donde se crea un sistema general para el análisis de inundaciones en zonas urbanas, y es adaptable para las diferentes zonas geográficas de la República mexicana. El análisis se basa en cinco ejes principales (figura 2):

- a) Análisis hidrológico e hidrográfico.
- b) Información física de la zona de estudio.
- c) Geomorfología de las subcuencas y microcuencas.
- d) Modelación hidráulica (modelo 2D).
- e) Diseño del drenaje pluvial urbano.

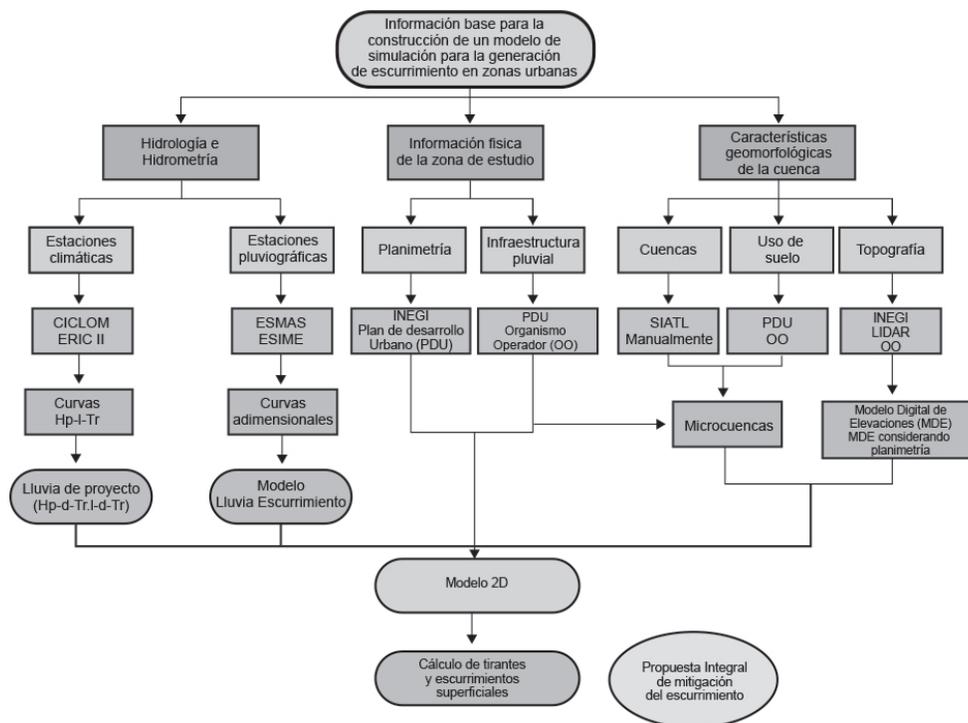


Figura 2. Metodología para la propuesta para la mitigación de inundaciones urbanas.
Fuente: Rodríguez et al. (2014).

Análisis hidrológico

Para el análisis hidrológico se recopiló la información de estaciones climatológicas y Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAS) que se encuentran alrededor de la zona de estudio; para las EMAS (estaciones Cozumel, Sian Kann y Cancún) se obtuvo un registro histórico de datos de 10 años (2004-2014) cada diez minutos; por otra parte, se seleccionaron cinco estaciones convencionales (23009, 23014, 23019, 23023 y 23155), contando con registros de precipitación acumulada diaria de 25 hasta 53 años. Para el análisis de las estaciones convencionales se completan las series de tiempo para no tener inconsistencias en los registros, con el método del inverso de la distancia al cuadrado (Aparicio, 1989); posteriormente, se obtienen los valores de la precipitación máxima anual por cada año de registro de la estación y, por último, mediante un análisis de frecuencias encontrar una función de distribución de probabilidad que ajuste los datos de la estación a una curva teórica, utilizando el método del error estándar de ajuste como parámetro de elección.

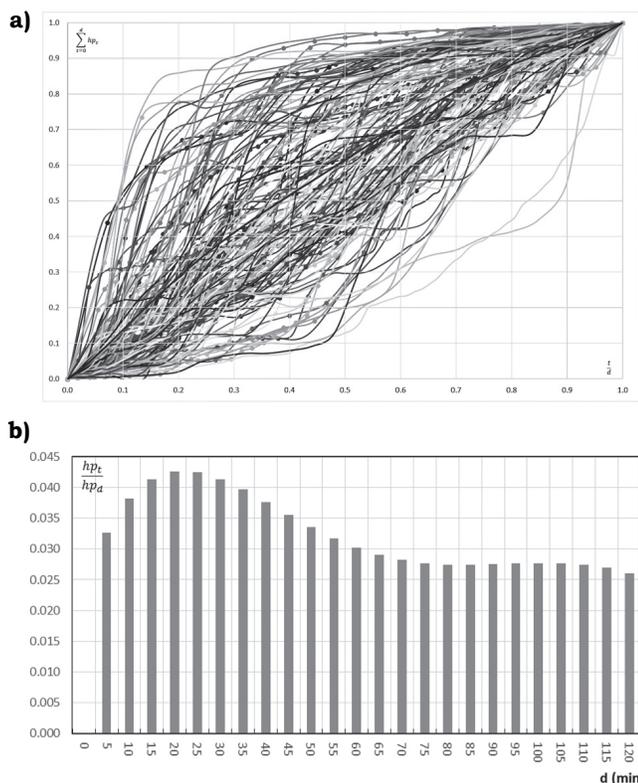


Figura 3. Resultados de la EMA Cancún para una duración de 120 min; a) curvas adimensionales y b) hietograma adimensional.
Fuente: Llaguno *et al.* (2014).

Con los datos de las EMAS se generan las curvas adimensionales de precipitación de acuerdo con Tholin & Keifer (1959), con tres diferentes duraciones: 60 min, 120 min y 180 min (figura 3), que permiten conocer su distribución temporal, y con esta información poder generar los hietogramas adimensionales de precipitación (Gómez, 2007).

Análisis hidrográfico

Para caracterizar la configuración del terreno, los datos se gestionan a través del INEGI, institución que proporcionó los datos *Light Detection And Ranging* (LIDAR) de la zona de Cancún. Esta información permitió construir el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) que considere las zonas urbanas.

Se delimitó la cuenca de estudio, se desagregó en subcuencas y microcuencas de aportación para conocer a detalle el comportamiento del flujo de las microcuencas afluentes (figura 4), se generan las líneas principales externas de corriente que llegan a la zona de estudio, con el objeto de conocer las aportaciones.

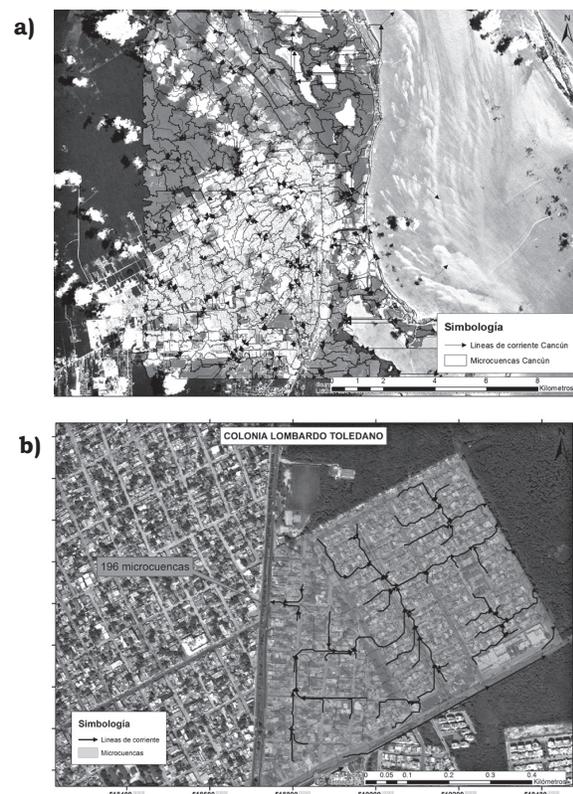


Figura 4. a) Subcuencas de aportación de la zona sur de Cancún y b) microcuencas de la colonia Lombardo Toledano.
Fuente: Llaguno *et al.* (2014).

Información física de la zona de estudio

A través de la dirección de catastro del municipio de Benito Juárez, se recopiló la información de las manzanas de la región. Estos datos permitieron caracterizar e identificar la infraestructura urbana existente, por ejemplo, calles y manzanas de la ciudad de Cancún (figura 5).

Geomorfología de las subcuencas y microcuencas

Al determinar las diferentes delimitaciones del análisis hidrográfico (subcuencas y microcuencas), a través de información específica de análisis, se generan los principales atributos geomorfológicos para cada elemento: área, ancho, pendiente, longitud, uso del terreno, impermeabilidad, en la figura 6, se presenta el coeficiente de escurrimiento (Chow, 1994) y de rugosidad (Westphal, 2001), los cuales se pueden trabajar por medio de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Modelación hidráulica (modelación 2d)

Los datos hidrológicos, hidrográficos, de información física de la zona de estudio y la caracterización de las subcuencas y microcuencas son los componentes indispensables para la construcción del modelo de escurrimiento bidimensional, al cual se le crea una malla variable en tamaño y forma que permite dar dirección y sentido al escurrimiento superficial. La variabilidad en la malla (figura 7) permitió que en zonas donde no se quería un resultado puntal se aumentara el tamaño de la retícula (hexagonal de 30 m por lado) y, por el contrario, en las colonias se redujo el tamaño de la malla (rectangular de 10 m por lado). Lo anterior contribuye a que el tiempo de la solución matemático se reduzca considerablemente.

Diseño del drenaje pluvial urbano

Bajo los diferentes escenarios (lluvias para un periodo de retorno de 10, 25, 50 y 100 años), se espera poder cuantificar las variaciones de los escurrimientos debido al efecto antropogénico. Con los resultados de las simulaciones matemáticas se formula un diseño del drenaje pluvial que trabaje como una medida integral, permitiendo mitigar las afectaciones provocadas por el escurrimiento pluvial en las diferentes colonias.



Figura 5. Calles de la ciudad de Cancún, Quintana Roo. Fuente: Llaguno *et al.* (2014).

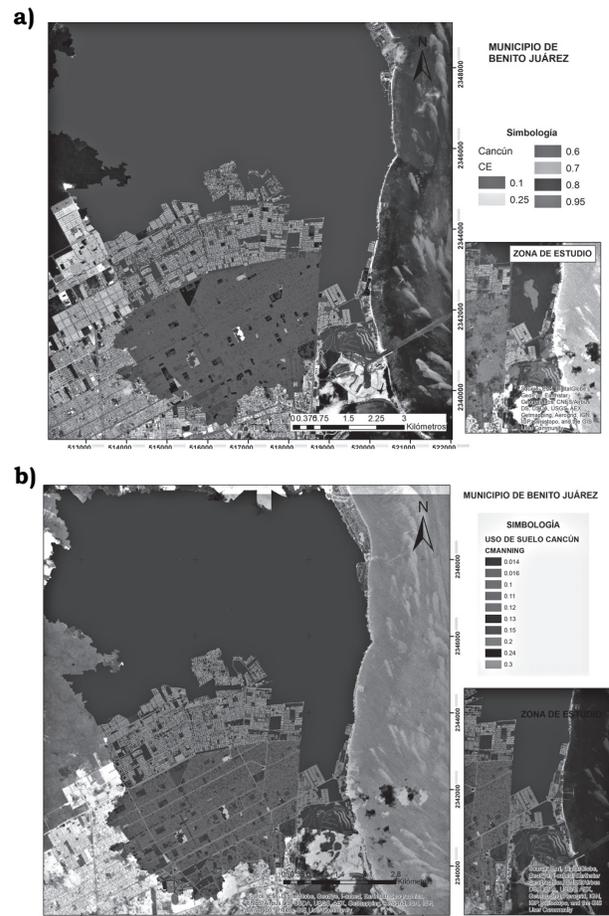


Figura 6. Coeficientes: a) de escurrimiento y b) de Manning para las subcuencas de aportación. Fuente: Llaguno *et al.* (2014).

RESULTADOS

Al modelo se le integraron 631 subcuencas y microcuencas de aportación, malla variable para el análisis del flujo, hietogramas de proyecto para los diferentes periodos de retorno (10, 25, 50 y 100 años), estableciéndose cinco diferentes escenarios (el último escenario se calibra con base en el comportamiento del sistema bajo una lluvia acontecida en la zona) (tabla 1).

Como resultado de cada escenario se obtienen los tirantes máximos, se tomarán algunos puntos de control en las diferentes colonias y a partir de estos conocer los volúmenes de escurrimiento. Para la colonia Bahía Azul, ubicada en la parte este, en el conjunto de las colonias de estudio, un área aproximada de 7.7 ha, utilizada en general para viviendas habitacionales, es en la calle Estéreo 2, al sureste de la colonia, la que presenta los mayores tirantes de inundación para cada escenario (tabla 2).

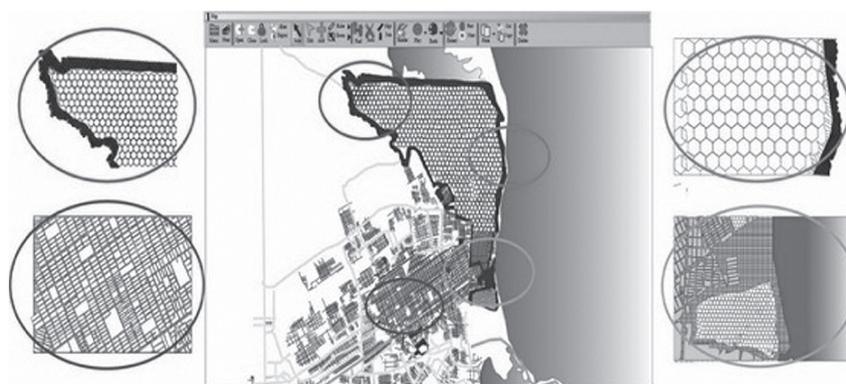


Figura 7. Formas de la celda utilizadas en el modelo matemático.
Fuente: Llaguno *et al.* (2014).

Tabla 1.
Escenarios simulados.

Número	Lluvia acontecida (vinculó periodo de retorno)	Precipitación (mm)	Duración (h)	Duración de la simulación (h)
1	Tr 10 años	125.75	2	4
2	Tr 25 años	151.5	2	4
3	Tr 50 años	140.95	2	4
4	Tr 100 años	190.46	2	4
5	1 de junio del 2013	223.9	16	24

Fuente: Llaguno *et al.* (2014).

Tabla 2.
Tirantes máximos en la colonia Bahía Azul.

Ubicación (calle)	Coordenadas UTM		Periodo de retorno				
	x	y	10	25	50	100	Real
Reforma	519490.364	2341709.08	0.26	0.27	0.27	0.29	0.28
Estéreo 2	519516.175	2341759.29	0.38	0.39	0.39	0.41	0.39
Cuenca	519355.207	2341731.8	0.32	0.33	0.33	0.34	0.39
Ensenada	519358.714	2341781.47	0.28	0.29	0.29	0.30	0.31
Estéreo	519506.147	2341844.14	0.37	0.38	0.39	0.42	0.41
Uno	519355.207	2341731.8	0.38	0.39	0.4	0.41	0.34

Fuente: Llaguno *et al.* (2014).

La colonia Jardines de Bonampak, con una extensión aproximada de 74 ha, ubicada al norte de las colonias de estudio, utilizada en lo general para viviendas casa-habitación, es en la zona sur la que presenta los mayores tirantes de inundación; como es el caso de la calle C. 45 (tabla 3).

La colonia Donceles 28, con un área aproximada de 15 ha, localizada al sur de las colonias de estudio, es una de las primeras zonas donde se construyeron viviendas. Los resultados de los diferentes escenarios

para esta colonia indican que es en la zona sur (calle Chichen-Itza) donde se tienen los mayores tirantes del escurrimiento pluvial, con respecto al periodo de retorno (tabla 4).

La colonia Lombardo Toledano, con una extensión aproximada de 25 ha, al este de las zonas estudiadas, es usada para viviendas. De acuerdo con los resultados de la simulación hidráulica, es la calle 16, ubicada al noreste de la colonia, la que registra una mayor vulnerabilidad por afectaciones (tabla 5).

Tabla 3.

Tirantes máximos en la colonia Jardines Bonampak.

Ubicación (calle)	Coordenadas UTM		Período de retorno				
	x	y	10	25	50	100	Real
77	517931.694	2343408.11	0.49	0.52	0.63	0.77	0.83
Av. 20 de Noviembre	518113.89	2343459.43	0.56	0.68	0.85	1.18	1.01
C.45-A LB	518145.939	2343473.48	0.83	0.97	1.06	1.24	1.28
Pera	518080.001	2343957.18	1.14	1.14	1.14	1.14	1.15
Sonora	518032.287	2344097.45	0.73	0.74	0.74	0.75	0.73
Los corales plus	518578.433	2343968.74	0.57	0.61	0.65	0.72	0.6
Los corales plus	518722.052	2343867	0.57	0.6	0.65	0.72	0.6

Fuente: Llaguno *et al.* (2014).**Tabla 4.**

Tirantes máximos en la colonia Donceles 28.

Ubicación (calle)	Coordenadas UTM		Período de retorno				
	x	y	10	25	50	100	Real
Chichen-Itza	518993.808	2341589.48	0.54	0.56	0.57	0.59	0.53
Francisco J. Mina	519010.66	2341634.24	0.45	0.39	0.35	0.31	0.46
José María Morelos	519105.969	2341633.45	0.51	0.53	0.55	0.56	0.52
Mariano Matamoros	519107.284	2341665.96	0.51	0.52	0.54	0.56	0.41
José Mariano Michelena	519229.723	2341630.67	0.42	0.44	0.44	0.47	0.43

Fuente: Llaguno *et al.* (2014).**Tabla 5.**

Tirantes máximos en la colonia Jardines Bonampak.

Ubicación (calle)	Coordenadas UTM		Período de retorno				
	x	y	10	25	50	100	Real
Toledano	519142.867	2342096.83	0.37	0.38	0.38	0.4	0.39
Aquiles	518976.812	2342478.53	0.39	0.4	0.4	0.41	0.42
Serdán	518962.762	2342465.51	0.45	0.46	0.46	0.47	0.47
Plan de Ayala	519009.345	2342369.25	0.42	0.43	0.43	0.44	0.43
20 de Noviembre	519046.781	2342291.24	0.52	0.53	0.53	0.54	0.53
Artículo LB	519089.117	2342241.51	0.42	0.43	0.44	0.45	0.43
Librado	519123.156	2342210.76	0.5	0.5	0.51	0.52	0.51
Rivera	519104.346	2342244.79	0.45	0.46	0.47	0.48	0.46
Artículo	519060.264	2342307.47	0.18	0.25	0.38	0.48	0.47
216	519363.938	2342335.75	0.52	0.55	0.58	0.61	0.58
16	519218.798	2342608.74	0.52	0.55	0.58	0.61	0.58
4	519363.938	2342335.75	0.39	0.4	0.41	0.43	0.39

Fuente: Llaguno *et al.* (2014).

Tabla 6.
Tirantes máximos (m) en la colonia Playa Blanca.

Ubicación (calle)	Coordenadas UTM		Período de retorno				
	x	y	10	25	50	100	Real
Espada	520004.611	2343707.58	0.29	0.3	0.31	0.34	0.37
Gupy	519954.872	2343505.9	0.26	0.27	0.27	0.29	0.31

Fuente: Llaguno *et al.* (2014).

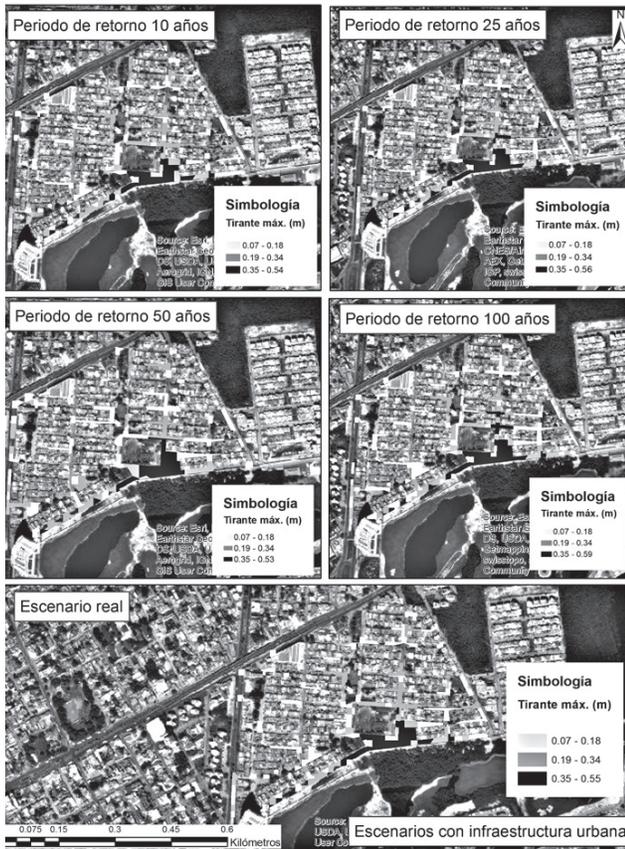


Figura 8. Tirantes máximos en la colonia Donceles 28.
Fuente: Llaguno *et al.* (2014).

La colonia Playa Blanca, situada al noreste de las colonias, abarca un área aproximada de 4 ha. Solo se tomaron dos puntos de control debido al tamaño del área de la colonia. El resultado la calle Espada es la que presenta los mayores tirantes de la zona de estudio (tabla 6).

En la figura 8 se presenta espacialmente el incremento de tirantes, producto de la lluvia generada para los diferentes escenarios en la colonia Donceles 28 (figura 8).

DISCUSIÓN

Al analizar las zonas donde se presentan concentraciones de escurrimiento por encontrarse en zonas en depresión entre las colonias (calles que en su mayoría no se encuentran pendientes que permitan el desalojo por gravedad), se localizaron 17 puntos de afectación para una lluvia con un periodo de retorno de 10 años, ligada al diseño de las obras de desalojo de aguas pluviales bajo la recomendación de la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos (GASIR, 1996), y que presentan escurrimientos con un tirante mayor a 0.2 m (que pudieran afectar la vida y los bienes muebles de los residentes). Como primera alternativa, se contempla sobreelevar el terreno de la forma siguiente: para la colonia Bahía Azul, Donceles 28, Lombardo Toledano y Playa Blanca a 0.75 m; en la colonia Bonampak rellenar 1.30 m, teniéndose un margen de tolerancia que permitiría configurar un drenaje dual, que facilitará transportar por gravedad el agua en las calles, y al tenerse tormentas intensas se desaloje por un drenaje pluvial. Esta propuesta no tendría viabilidad, debido a que modificar la cota de desplante de las viviendas tendría un costo elevado y probablemente la oposición de la comunidad.

Una segunda propuesta es desalojar el agua pluvial mediante sistemas electromecánicos, ubicados en cárcamos de agua pluvial; además, se integrarán bocas de tormenta y colectores pluviales. Se tenía contemplado el desalojo de los escurrimientos a la laguna, pero eso solo traería problemas en alguna otra zona, por lo que se opta el mar como punto de desalojo.

Para los conductos se plantea en su mayoría secciones muy anchas y que tengan un peralte pequeño, con el objetivo de aminorar el problema al tiempo de la construcción del nivel freático, con dimensiones que permitan no ser rebasadas. La captación en general se plantea a través de rejillas de piso, donde el escurrimiento será transportado por colectores, almacenado en cárcamos, y estos con bombas descargar el agua pluvial al mar.

Para generar los gastos de diseño se realizó una primera simulación con los diferentes escenarios; posteriormente, estos resultados se compararon con los datos generados a partir de la fórmula racional, y se ajustaron los parámetros de la cuenca (coeficiente de *manning* para la zona permeable e impermeable), con una diferencia promedio del 20%. El sentido y dirección, volúmenes y gastos de diseño permiten establecer el área de desalojo a considerar en los colectores; las dimensiones del conducto están en función de la altura de la zona de aireación del suelo. Estos datos se generaron a partir de un censo a diferentes pozos de observación, ubicados en zonas específicas que contribuyan a conocer la elevación del nivel estático.

Para la localización de los cárcamos de bombeo del agua pluvial se contemplaron zonas donde el municipio pueda tener la facilidad de adquisición y la transferencia del terreno a la CAPA; además, que fueran puntos que, por la condición del terreno, los conductos transportarán el agua pluvial a gravedad.

La configuración resultante del sistema es: ocho cárcamos de bombeo (figura 9); con sus respectivas bombas, 11.5 km de colectores, 6.07 km de emisores y rejillas de piso que permiten conducir el agua pluvial a los cárcamos.

En la tabla 7 se hace una comparativa de los tirantes y volúmenes acumulados en las colonias de estudio, llegándose a tener una reducción en promedio del volumen de un 76% y de los tirantes de inundación hasta en un 75%.

CONCLUSIONES

Es evidente la influencia de la topografía en el desalojo de las aguas pluviales; debido a las pendientes suaves, se presentan zonas con tirantes que pueden impedir el libre tránsito de las personas y vehículos.



Figura 9. Sistema integral de reducción de escurrimientos en las colonias de estudio.
Fuente: Laguno *et al.* (2014)

Tabla 7.
Resultado del análisis de escurrimientos por colonia con las condiciones actuales.

Colonias	Área de influencia (m ²)	Condiciones actuales			Condiciones con el sistema propuesto		
		Tirante máx. (m)	Tirante mín. (m)	Vol. acumulado (m ³)	Tirante máx. (m)	Tirante mín. (m)	Vol. acumulado (m ³)
Bahía azul	26156.275	0.33	0.043	2023.81	0.11	0.018	716.027
Donceles 28	37732.448	0.464	0.046	6151.13	0.138	0.012	1685.685
Playa Blanca	5771.062	0.275	0.035	370.78	0.04	0.005	53.28
Lombardo Toledano	39786.25	0.43	0.058	5552.27	0.072	0.002	725.712
Jardines de Bonampak	40611.71	0.75	0.06	6122.93	0.22	0.02	1704.568

Fuente: Laguno *et al.* (2014)

Las herramientas computacionales de análisis hidráulico permiten simular condiciones que puedan mitigar las inundaciones en zonas urbanas; asimismo, con el análisis de los resultados geoposicionados ayuda a que los tomadores de decisiones tengan una mejor comprensión de la problemática y mayor amplitud de los problemas encontrados.

Se evaluaron diferentes alternativas comparando las condiciones actuales para la mitigación de escurrimiento: reducción de tirantes y tiempo de residencia; y se tomó como primera opción la instalación de una red de desalojo de aguas pluviales en las diferentes colonias con cárcamos de bombeo.

Este sistema debe construirse de modo que sea impermeable y que no admita aportaciones del nivel freático, además de seguirse los sentidos del escurrimiento de tal manera que todos se conjunten en los cárcamos.

REFERENCIAS

- Aparicio, J. (1989). *Fundamentos de hidrología de superficie*. México: Editorial Limusa (registro número 121).
- Campos, F. (2010). *Introducción a la hidrología urbana* (pp. 5-30). México: Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Chow, V. (1994). *Hidráulica de canales abiertos* (pp. 352-376). Traducido por Juan G. Saldarriaga, Colombia: McGraw Hill (segunda edición).
- Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos (GASIR). (1996). *Norma hidrológica*. México: Subdirección Técnica, Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos, Conagua (Informe OMM/PROMMA No.85).
- Gómez, M. (2007). *Hidrología urbana* (pp. 81-119). Barcelona: FLUMEN, Dinámica Fluvial e Ingeniería Hidrológica.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). *Censos y conteos de población y vivienda*. México: INEGI. Recuperado el 20 de abril del 2015 de www.censo2010.org.mx/
- Llaguno O., Alcocer Y. V., Rodríguez J., Albornoz P., & Cortez P. (2014). *Estudio Geohidrológico y de escorrentía para la prevención de inundaciones en zonas aledañas a la Laguna del Manatí*, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, calve interna HC1453.3, Jiutepec, Morelos.
- Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS). (2015). *Manual de alcantarillado pluvial. Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*. México: Conagua.
- Rodríguez, J., Alcocer-Yamanaka, V., Albornoz, P., Santos, R., & Llaguno, O. (2014). *Estudio de riesgo de inundaciones en zonas urbanas de la República mexicana*. Jiutepec: Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo sobre el Agua, Conagua / Conacyt / IMTA.
- Tholin, A., & Keifer, C. (1959). The Hydrology of Urban Runoff. *Journal of the Sanitary Engineering Division*, 85(2), 47-106.
- Westphal, J. A. (2001) Hydrology for Drainage System Design and Analysis (pp. 4.1-4.44). Larry W. M. (ed.). In *Stormwater Collection Systems Design Handbook*. New York, USA: McGraw-Hill Companies, Inc.