

XII Simposio Iberoamericano sobre planificación de sistemas de abastecimiento y drenaje

“IDENTIFICACIÓN DEL ESCURRIMIENTO PLUVIAL CON LÍNEAS DE CORRIENTE Y MICROCUENCAS GENERADAS EN EL HEC-GEOHMS EN ZONAS URBANAS”

Pedro Misael Albornoz Góngora (1), José Manuel Rodríguez Varela (2), Víctor Hugo Alcocer-Yamanaka (3), José Alberto Alonso Ovando (4), Humberto Vidal Russi (5)

(1) Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnáhuac no. 8532, Col. Progreso, Jiutepec, Mor., CP 62550, +52 (777) 329 3600, ptrsmsl@gmail.com.

(2) Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnáhuac no. 8532, Col. Progreso, Jiutepec, Mor., CP 62550, +52 (777) 329 3600,manuel_rodriguez@tlaloc.imta.mx.

(3) Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnáhuac no. 8532, Col. Progreso, Jiutepec, Mor., CP 62550, +52 (777) 329 3600, yamanaka@tlaloc.imta.mx.

(4) Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Quintana Roo, Av.Efraín Aguilar 210 Col. Centro. Chetumal, QR, México, C.P. 77000,+52 (983) 8350011, jalonso@capa.gob.mx.

(5) Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Quintana Roo, Av.Efraín Aguilar 210 Col. Centro. Chetumal, QR, México, C.P. 77000,+52 (983) 2853069, vidalrussi@hotmail.com

RESUMEN

En 2012 la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Quintana Roo (CAPA) solicitó acciones a corto, mediano y largo plazo para mitigar los problemas de inundación y encharcamiento en la ciudad de Chetumal, con base en lo anterior el presente estudio tiene por objetivo identificar las calles con escurrimiento pluvial importante y su respectiva área de aportación; las bocas de tormenta y colectores pluviales con mayor demanda de transporte pluvial. En hidrología existen herramientas como el HEC-GeoHMS que genera cuencas y líneas de corriente partiendo del Modelo Digital de Elevación (MDE) del terreno natural. Considerando en el MDE la traza urbana y con la aplicación de esta metodología es posible conocer los puntos problemáticos, sus áreas de aportación, y la mejor ubicación de infraestructura pluvial como bocas de tormenta y colectores sometidos a caudales importantes.

Palabras Clave:Alcantarillado Pluvial, Escurrimiento en zonas urbanas, Modelo de simulación 2-D

ABSTRACT

In 2012 the Commission of Water Supply and Sewerage of state of Quintana Roo (CAPA) requested actions in the short, medium and long term to mitigate the problems of flooding and waterlogging in the city of Chetumal. Based on the above, the present study aims to identify the major storm runoff streets and their area of contribution, storm drains and storm sewers transport demand more rain. In hydrology there are tools such as HEC-GEOHMS generating watersheds and stream lines based on the Digital Elevation Model (DEM) of the natural. Whereas in the DEM the urban areas and the application of this methodology is possible to know the hot spots, areas of contribution, and the best location of stormwater infrastructure such as storm drains and collectors that should lead large flows.

Keywords:Storm Sewer, Urban runoff, Model 2-D simulation

Pedro Misael Albornoz Góngora Realizó sus estudios de posgrado en ingeniería en la DEPEFI - UNAM campus Morelos, en donde obtuvo el grado de maestro en Ingeniería Hidráulica en el año 2011 con mención honorífica. Actualmente es especialista en hidráulica en la Subcoordinación de Hidráulica Urbana, sus principales líneas de trabajo son: simulación de redes de agua potable, alcantarillado sanitario y drenaje pluvial. Ha participado como jefe de seis proyectos.

ANTECEDENTES

Las áreas urbanas propensas a inundaciones generalmente son provocadas por inadecuados procesos de urbanización, que en muchas ocasiones se caracterizan por la ampliación de la frontera urbana en llanuras inundables y la densificación de viviendas e infraestructura vial sin considerar la capacidad de captación de los drenajes de aguas lluvias, la canalización de cauces naturales y la construcción de obras necesarias para disminuir el peligro de inundación.

En particular el tipo de inundación que le afecta a la ciudad de Chetumal es de origen pluvial (no cruzan ríos en la zona), ver Figura 1, y se asocia a la falta de sistemas de drenaje en algunas zonas de la ciudad, y presencia de basura en las calles lo que impacta en la capacidad de desalojo de aguas pluviales de los colectores actuales.

La zona baja que está compuesta por cavernas y presenta hundimientos, puede considerarse que los colectores, bocas de tormenta y en general el drenaje pluvial urbano están en riesgo de sufrir daños por hundimientos.

Por tanto es importante emplear herramientas que nos permitan ubicar los puntos de la zona urbana donde las obras de captación funcionen de forma adecuada.

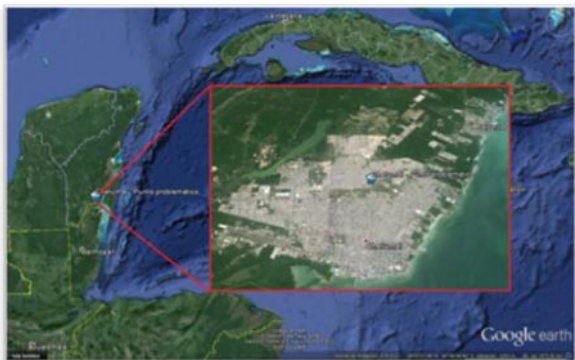


Figura 1. Ubicación del Chetumal, Quintana Roo, México.

INTRODUCCIÓN.

La ciudad de Chetumal se encuentra ubicada al sureste de México, en el estado de Quintana Roo, de acuerdo con el Censo del INEGI (2010) cuenta con 244 553 habitantes que en periodos de lluvia (Julio – Septiembre) provocan inundaciones, aunado a esto

se presentan la influencia de ciclones tropicales del mes de Junio a Noviembre.

Otros motivos que contribuyen a estas inundaciones es que la ciudad cuenta con múltiples microcuencas endorreicas, el nivel freático va de 1 a 6 metros de profundidad, la vegetación genera hojarasca que obstruyen las rejillas de las bocas de tormenta, entre otros.

En el 2012 la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Quintana Roo (CAPA) solicitó acciones a corto, mediano y largo plazo para mitigar los problemas de inundación y encharcamiento en la ciudad de Chetumal.

BASE CIENTÍFICO-TEÓRICA

Ante estos problemas para identificar y caracterizar la cuenca urbana de estudio, se utilizó el HEC-GeoHMS, que es una herramienta geoespacial desarrollada para uso de ingenieros e hidrólogos con experiencia en un sistema de información geográfica (SIG), utilizando el Arc View y el SpatialAnalyst para el desarrollo de modelos hidrológicos con entradas que pueden ser visualizadas (USACE, 2010).

Este programa transforma las trayectorias del drenaje y delimita las cuencas hidrográficas en una estructura de datos hidrológicos que representan la red completa.

Sin embargo cuando esta herramienta se aplica en zonas urbanas, la línea de corriente ya no se vincula a cauces, sino a calles de la ciudad.

Con base en lo anterior el motivo en este trabajo es identificar las calles con mayores escurrimientos y el área que lo aporta; con la finalidad poder ubicar las principales bocas de tormentas.

METODOLOGÍA

Creación del Modelo Digital de Elevaciones.

El elemento esencial a tener es el Modelo Digital de Elevaciones (MDE), que será nuestro punto de inicio en el proceso a realizar. Se encuentra definido por el Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática, INEGI (2013b) como una representación visual y matemática de los valores de

altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo.

Con la ayuda de este modelo se visualizan las condiciones del terreno y zonas despobladas que nos aportan datos precisos, sin embargo para el caso de cuencas urbanas se requiere considerar la urbanización, proceso llevado a cabo mediante la inclusión en el MDE de las calles, delimitándose las manzanas para tener un mejor análisis.

Para el análisis en SIG, el tamaño de la celda del MDE se vuelve fundamental, para modelos hidrológicos y trabajando con el terreno natural, Sharma et al. (2011) recomiendan realizar una malla de 90 x 90 metros, ya que captura satisfactoriamente las condiciones del terreno y permite una representación cercana a la realidad, ver Figura 2.

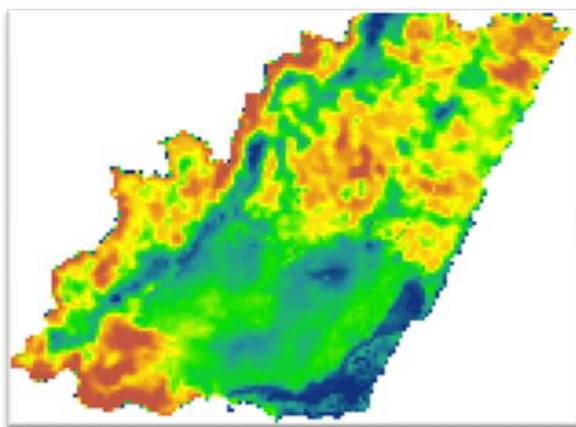


Figura 2. Terreno natural con la malla de 90x90 metros.

Para el objetivo del artículo se requiere de una malla de dimensiones menores para un mejores resultados, para esto se realizaron diferentes tamaños de malla, utilizándose diferentes mallas, desde de 0.3 – 10 metros con el fin de obtener el escurrimiento pluvial en calles, ver Figura 3.

En la actualidad existen herramientas que ayudan a tener un MDE con alta definición, como es el caso del *Light Detection And Ranging* (LiDAR) - Detección por luz y distancia que permiten tener una reducción en los puntos de error ya que realiza con vuelos para la captura de datos y tienen un control geodésico en la tierra (INEGI, 2013a)

Procesamiento del terreno.

Es común emplear herramientas tales como el HECGeo HMS y SpatialAnalyst (Hidrology) para identificar cuencas y líneas de corriente en terreno natural con el modelo digital del terreno natural (Pacheco, 2012; Rodríguez y Gil, 2010 y Ruiz & Torres, 2008)

Con base en lo anterior si empleamos la herramienta HEC-geoHMS con MDE que consideren la traza urbana, es posible determinar las calles que funcionan como líneas de drenaje urbano, calculándose los caudales y velocidades que presentan, siendo importantes.

Este método además permite ubicar la construcción de bocas de tormenta en zona habitacionales o analizar el escurrimiento actual de las calles y sus zonas de aportación.

Con el MDE que incluye las calles se inicia el procesamiento del mismo con el fin de identificar las calles con escurrimiento pluvial relevante y las áreas de aportación. Se realiza a través de diez etapas, ocho de ellas emplean la Extensión para ArcGIS "HEC-GeoHMS", fichero *TerrainPreprocessing*, ver Figura 3 (USACE, 2010).

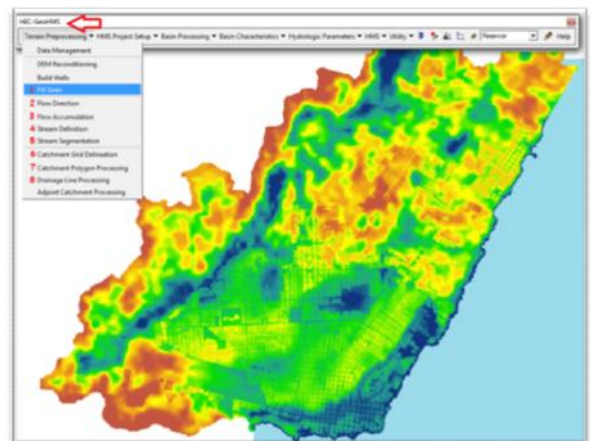


Figura 3. Primeras ocho etapas definidas dentro de la extensión de la extensión para ArcGis, HEC-GeoHMS.

Primera etapa (*Fillsinks*), consiste en rellenar las depresiones del MDE, donde se aumenta la cota de las celdas vecinas, asignándole a dicha celda la menor cota de las celdas circundantes.

Segunda etapa (*Flowdirection*), se define la dirección de la mayor pendiente, evaluando celda a celda las cuestas circundantes del análisis.

Tercera etapa (*Flowaccumulation*), se determinan el número de celdas que drenan a cada celda, una forma de calcularse manualmente es multiplicar el número de celdas por el área de cada celda.

Cuarta etapa (*Streamdefinition*), etapa en la cual se clasifican las celdas con flujo procedente de un número mayor a un umbral definido por el usuario como pertenecientes a la red de drenaje.

Quinta etapa (*StreamSegmentation*), se dividen los cauces en segmentos

Sexta etapa (*Catchmentgriddelineation*) en la cual se definen las cuencas por cada segmento del cauce.

Séptima etapa (*CatchmentPolygonProcessing*), proceso convierte las subcuencas de ser malla a un formato de vector, con esto se conocen las áreas de aportación originadas por el escurrimiento que puede producirse.

Octava etapa (*Drainage line Processing*), se convierten los cauces de la malla a un formato de vector.

Novena etapa (*FeaturesVerticesTo Point*), se crean puntos con el archivo analizado basado en sus vértices, los atributos de entrada del archivo se mantienen a la salida(ESRI; 2012).

Décima etapa, analizar los puntos distribuidos en la zona urbana y determinación de bocas de tormenta.

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Caso de estudio, Cd. de Chetumal

Para caracterizar el escurrimiento de las calles en la cuenca urbana de Chetumal, se obtuvo el MDE que considera la traza urbana, verFigura 4 .

Con el MDE de la ciudad de Chetumal se sigue la metodología previamente descrita, donde las primeras ocho etapas se realizan con la extensión HEC-Geo HMS para ArcGIS desarrollada por la *US Army Corps of Engineers*(USACE).

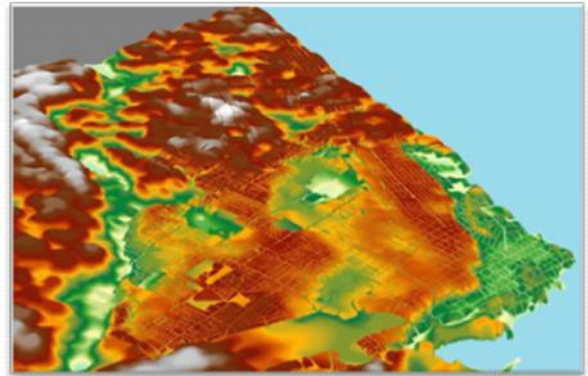


Figura 4. MDE de la ciudad de Chetumal con traza urbana.

Chetumal Etapa uno, se genera el *FillSink* considerando el valor de un metro en el fichero *FillThersholdy* vacia la celda *Input DerangedPolygon*. Con esto minimizaremos que se corten de manera abrupta las líneas de corriente.

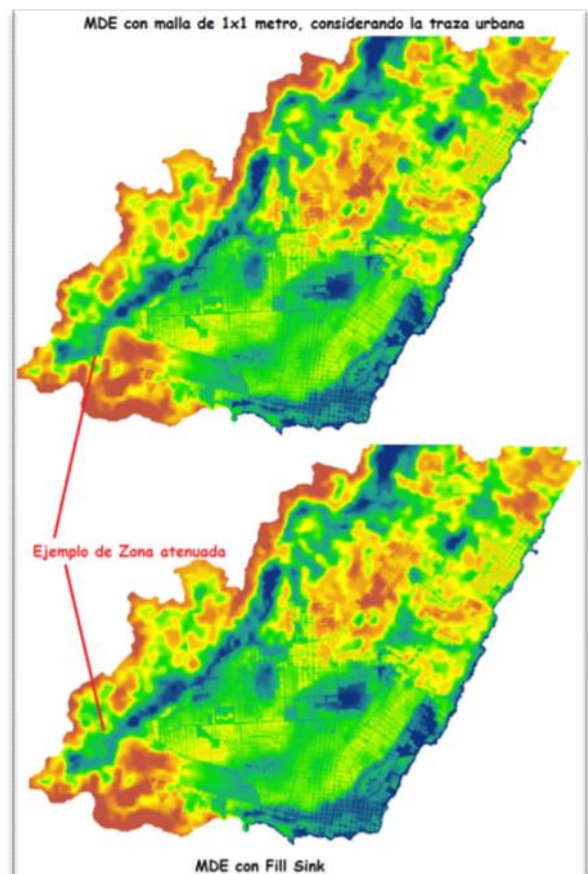


Figura 5. MDE antes y después del *FillSink*.

Chetumal Etapa dos, en la generación del *FlowDirection* se deja el fichero *Input Outer Wall Polygon* vacío para nuestro estudio, en la Figura 6 se aprecian las zonas con pendiente nulas y que la

topografía de la ciudad de Chetumal está conformada por múltiples microcuencas.

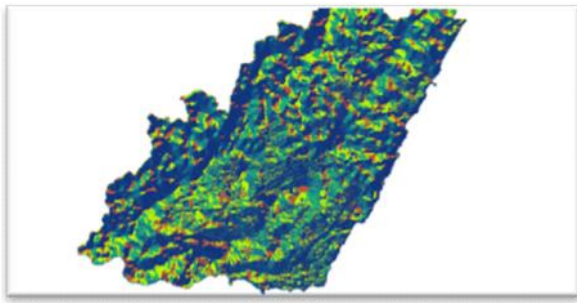


Figura 6. FlowDirection en el MDE de Chetumal.

Chetumal Etapa tres, en la generación del *Flowacumulación*, en la Figura 7 se muestran las celdas (diferente al color gris) que reciben el caudal acumulado, se observa que las celdas de las calles están entre las principales receptoras.

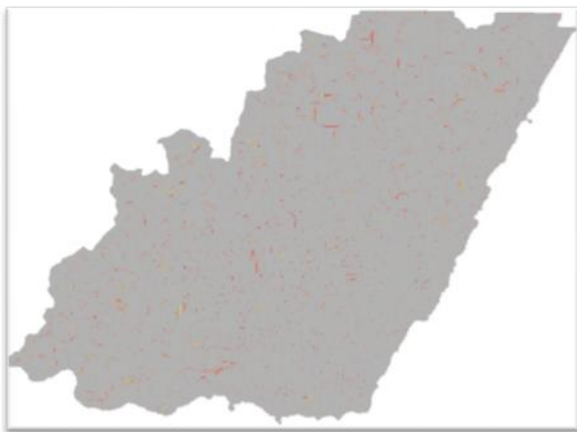


Figura 7. Flowacumulación en el MDE de Chetumal.

Chetumal Etapa cuatro, en la generación del *Streamdefinition*, se elige el área de 0.01 km² (*AreaSqKmtto define stream*) correspondiente a una hectárea, esto con el fin de observar el escurrimiento en calles, ver Figura 8, las celdas correspondientes a dicha área es 10 000 (celdas de 1x1 metro). En caso de desear menos líneas de corriente pero con mayor acumulación se debe aumentar el área elegida.



Figura 8. StreamDefinition en el MDE de Chetumal.

Chetumal Etapa cinco, en la generación del *StreamSegmentation* las celdas Input SinkWatershedGrid e Input SinkLinsGrid se dejan vacías, son claros los grupos formados, ver Figura 9.

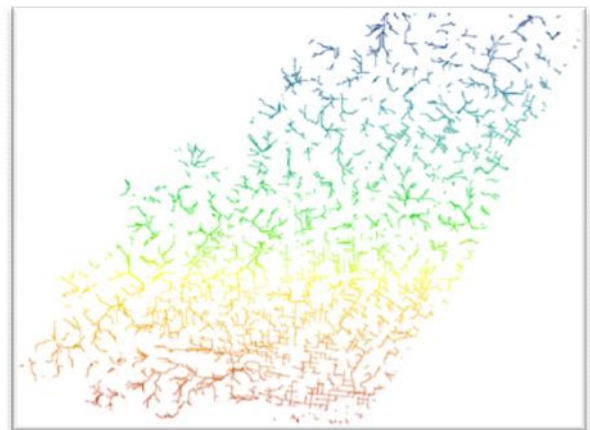


Figura 9. StreamSegmentation en el MDE de Chetumal.

Chetumal Etapa seis, en la generación del *Catchmentgriddelineation* se muestran zonas que no tienen celdas, esto se debe a que son las zonas más bajas y el agua se estanca en esos puntos por lo tanto no se puede definir el sentido del escurrimiento, ver Figura 10.



Figura 10. Catchmentgriddelineation en el MDE de Chetumal.

Chetumal Etapa siete, en la generación del *CatchmentPolygonProcessing* muestran las microcuencas considerados en la generación de las líneas de corriente, verFigura 11.

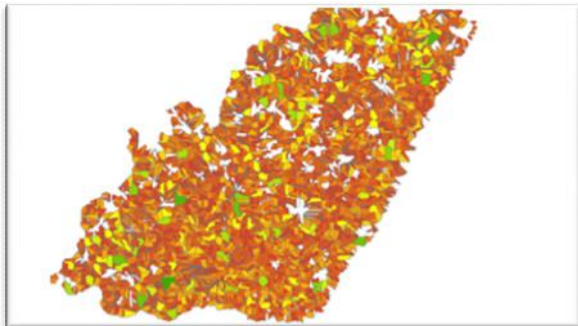


Figura 11. CatchmentPolygonProcessing en el MDE de Chetumal.

Chetumal Etapa ocho, en la generación del *Drainage line Processing* muestran las líneas de corriente generadas y el sentido del flujo.

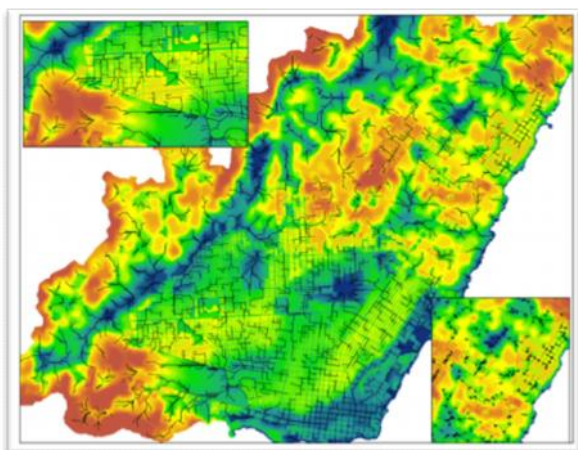


Figura 12. Drainage line Processing en el MDE de Chetumal.

De la Figura 12 se puede observar que las líneas de corriente no solamente se calcularon para la zona

urbana sino también para el área natural conurbada ya que estas pudieran aportar caudal a la ciudad.

De igual forma es claro que en la zona urbana las líneas de corriente se adecuan al sentido de las calles no solamente por el trazo sino por sus pendientes. Esto se aprecia por los cambio de noventa grados comunes en la zona urbana, mientras que en las zona naturales la líneas no tienen un patrón uniforme.

De igual forma es claro que dado que la ciudad de Chetumal está conformada por muchas microcuencas endorreicas, tiene diversas zonas donde convergen líneas de corriente de todos los sentidos y direcciones.

Novena etapa (*FeaturesVerticesTo Point*), con base en las líneas de drenaje se conoce cuáles son los puntos donde el escurrimiento converge, de tal forma que se emplea esta herramienta para obtener solamente los puntos de convergencia de la línea de corriente (ArcGis, 2013), verFigura 13.

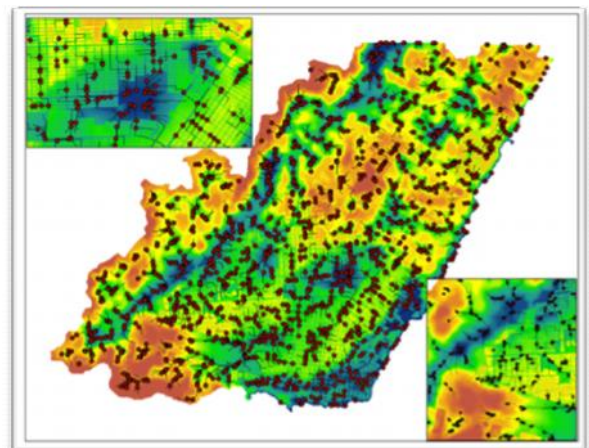


Figura 13. Puntos en la convergencia de las líneas de corriente.

Décima etapa, con base en los puntos generados en la convergencia de las líneas de corriente se realizan los siguientes filtros en el MDE.

Eliminar los puntos que se encuentran fuera de la zona urbana, unir los puntos que encuentran a una distancia entre sí menor a 10 metros.

Después de realizar los filtros, se redujeron los puntos de 1727 a 746, estos puntos filtrados restantes son los más propensos a recibir el mayor caudal y escurrimiento, por ende las zonas donde las bocas de tormenta deben estar en óptimas condiciones, ver Figura 14.

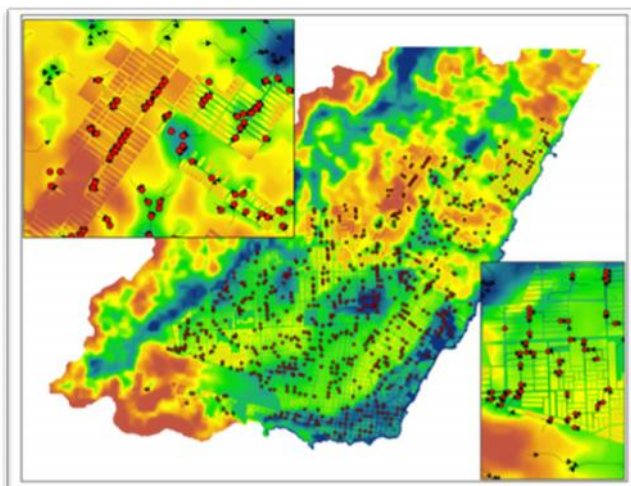


Figura 14. Puntos calculados para ubicar y analizar las bocas de tormenta.

Con base en los puntos obtenidos se recomendó a la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado de Quintana Roo, priorizar la revisión, limpieza y mantenimiento de las bocas de tormenta en dichos puntos.

Con esta acción se disminuyó el tiempo de residencia de escurrimiento pluvial en las calles y cruceros, de igual manera los colectores fueron empleados a su máxima capacidad. En lo que va de 2013 la ciudad de Chetumal ha presentado menos casos de inundación y encharcamiento, sin embargo no ha sido suficiente, por lo que se están diseñando nuevos colectores para solucionar el problema, es importante mencionar que dichos diseños consideran las líneas de corriente en las calles, para que funciones como colectores e interceptores.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos muestran que la aplicación del HEC-GeoHMS en zonas urbanas, es decir que el MDE considere la traza urbana, nos proporciona información útil para el diseño y entendimiento del drenaje pluvial urbano.

Entre los principales resultados obtenidos están los siguientes:

Se debe considerar en el MDE el terreno natural colindante con la zona urbana, ya que el escurrimiento que puede provenir del mismo llega a ser importante.

Se recomienda un MDE con mallas de 1x1 metro para conocer el escurrimiento en calles.

Se recomienda realizar el *FillSink* con valores menores a la altura mínima de los predios que conforman la calle (uno a dos metros).

El área adecuada para calcular líneas de corriente con una definición al nivel de microcuencas es de 0.01 km², es decir una hectárea.

Es posible conocer cuáles son las calles donde el escurrimiento es mayor y son propensas a problemas de inundación o encharcamiento.

Los puntos de convergencia de las líneas de corriente deben ser considerados prioritarios en el diseño y ubicación de las bocas de tormenta.

Se debe realizar el filtrado de los puntos de convergencia con el fin de no duplicar infraestructura (bocas de tormenta)

CONCLUSIONES

Para entender y conocer el escurrimiento pluvial en las zonas urbanas, en particular en las calles, es prioritario tener el MDE.

Considerar que las vialidades son parte de la red de drenaje pluvial urbana.

La ubicación de la obras de captación y bocas de tormenta se deben obtener del análisis de la líneas de corriente de escurrimiento superficial, esto con el fin de optimizar el drenaje pluvial urbano.

Determinar la ubicación de las bocas de tormenta empleando el HEC-GeoHMS o un sistema similar tiene la ventaja que considera parámetros hidráulicos, tales como las microcuencas y la pendiente; situación que no ocurre cuando solo se toma en cuenta las normas de construcción.

Con esta metodología resulta sencillo ubicar cuáles son las calles más propensas a tener problemas por peligro de inundación, tanto en tirantes como velocidades, sin embargo se requiere un análisis con láminas de precipitación para cuantificar esa información y ese punto no fue objeto del presente trabajo.

RECOMENDACIONES

Se deben aprovechar y promover herramientas como el LiDAR, pero sobre todo hay que optimizar sus resultados tales como MDE con alta definición.

Se debe considerar el terreno natural colindante, ya que el caudal que vierta en la zona urbana, puede ser importante.

Para conocer el drenaje pluvial urbano es preciso caracterizar la zona urbana, con base en su escurrimiento superficial en las calles.

Es importante ubicar y construir las bocas de tormenta considerando métodos como éste o similares (que consideren el escurrimiento en calles).

Ubicar de forma adecuada infraestructura de captación permite que los colectores pluviales cumplan con el funcionamiento de diseño

TRABAJO FUTURO

Crear una rutina automática para la ubicación de las bocas de tormenta.

Incluir el valor de la lámina de precipitación para calcular la capacidad recomendada para cada obra de captación o boca de tormenta.

Tomar en cuenta las líneas de corriente en calles para proponer un trazo óptimo de la red de colectores pluviales.

Vincular el trazo óptimo de la red y la capacidad de captación propuesta en las bocas de tormenta, de tal manera que se propongan áreas de la sección transversal en la red drenaje pluvial.

REFERENCIAS

- Rodríguez Y. y Gil L. (2010).“Modelo lluvia escurrimiento en la Cuenca del Reno.” Cie TécAgr, vol.19, pp. 31-37
- Sharma A., Tiwari K. y Bhadoria P. (2011). “Determining the optimum cell size of digital elevation model for hydrologic application.” Journal of Earth System Science 120, pp. 573-582
- USACE(2010). HEC-GeoHMS Geospatial Hydrologic Modeling Extension. Institute for Water Resources.
- Pacheco R. (2012) Modelación Hidrológica con HEC HMS en Cuencas. Tesis de maestría.

Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba.

ESRI (2012). Feature Vertices to Points. ArcGIS Desktop 9.3. [http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?id=1725&pid=1715&topicname=Feature_Vertices_To_Points_\(Data_Management\)](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?id=1725&pid=1715&topicname=Feature_Vertices_To_Points_(Data_Management)).

INEGI (2010). Censo de Población y Vivienda 2010. INEGI. <http://www.censo2010.org.mx/>

INEGI (2013a). Aspectos técnicos metodológicos, tecnología LiDAR. INEGI. <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geodesia/liDar.aspx>

INEGI (2013b). Datos de relieve. INEGI. <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/queesmde.aspx>