

XII Simposio Iberoamericano sobre planificación de sistemas de abastecimiento y drenaje

“MEJORA DEL MANEJO DE AGUAS PLUVIALES EN LA LOCALIDAD DE CHETUMAL, QUINTANA ROO, MEXICO”

Juan Maldonado Silvestre (1), José Manuel Rodríguez Varela (2), Pedro Misael Albornoz Góngora (3), Víctor Hugo Alcocer Yamanaka (4)

(1), (2), (3), (4) Instituto Mexicano de Tecnología del Agua Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col. Progreso, Jiutepec, Mor., C. P. 62550, México jmaldon@tlaloc.imta.mx, manuel_rodriguez@tlaloc.imta.mx, ptrsmsl@gmail.com, yamanaka@tlaloc.imta.mx, Tel. (777) 329 36 78

RESUMEN

La ciudad de Chetumal experimenta un crecimiento acelerado en su mancha urbana, esto genera un cambio de uso de suelo, lo que contribuye al incremento de los escurrimientos superficiales que impactan directamente en el volumen de agua escurrido, así mismo al incremento de riesgos de inundaciones. Para mitigar al evento natural, se planteó un Programa Integral del Manejo de Aguas Pluviales para la ciudad de Chetumal, apoyado en un modelo de simulación hidráulico mediante el cual sea factible realizar diversos escenarios para identificar zonas de riesgo de inundaciones con la finalidad de mitigar los daños materiales que pudieran presentarse y a partir de dichos resultados proponer una solución viable a las inundaciones que padece la ciudad.

Palabras clave: Alcantarillado pluvial, modelo de simulación, acciones estructurales y no estructurales

ABSTRACT

The city of Chetumal is experiencing rapid growth in its urban area, this creates a change in land use, contributing to increased surface runoff that directly impact the volume of water drained, also to increased flood risk. To mitigate natural event raised an Integrated Storm water Management for the city of Chetumal, supported by a hydraulic simulation model by which it is feasible to perform various scenarios to identify flood risk areas in order to mitigate property damage which may arise from these results and propose a viable solution to the flooding that the city suffers.

Key words: Storm sewer, model simulation, structural and nonstructural actions

SOBRE EL AUTOR PRINCIPAL

Juan Maldonado Silvestre: Realizó sus estudios de licenciatura en la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura del Instituto Politécnico Nacional en donde obtuvo el grado de Ingeniero Civil en el año 1985, y el Posgrado en Ingeniería en la DEPMI – UNAM campus Morelos, en donde obtuvo el grado de maestro en Ingeniería Hidráulica en el año 2012. Actualmente es especialista en Hidráulica de la Subcoordinación de Hidráulica Urbana. Sus principales líneas de trabajo son: Estudios de evaluación de Pérdidas para los Sistemas de Agua Potable. Diseño y Gestión de Sectorización de Redes de Agua Potable. Diagnósticos Integrales de Planeación de Organismos Operadores de Agua Potable.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) México, la ciudad de Chetumal, capital de Quintana Roo, resultó ser la zona más lluviosa del país en el 2012, “e incluso rebasó los promedios históricos en un 200%”. Asimismo, precisó que la precipitación pluvial registrada en el mismo año, tan sólo en el mes de agosto fue de 515.9 milímetros de lluvia, un 260% más del promedio histórico que ha sido de 143.5 milímetros durante el mes y agregó "En este mes, el sur del estado y entre ellos, la ciudad de Chetumal fue impactado por el Huracán Ernesto y la Onda Tropical Número 11, ambos sistemas dejaron una gran cantidad de lluvia". Estos fenómenos naturales originan precipitaciones severas, y aunado a las características topográficas, la ciudad se ve afectada por inundaciones en diversas zonas. La Comisión de Agua Potable y Alcantarillado de Quintana Roo (CAPA), ha identificado 124 puntos críticos de inundación o encharcamiento que varía en extensión de acuerdo a la precipitación y el punto de ubicación.

BASE CIENTÍFICO - TEÓRICA

Debido a lo anterior, se planteó la necesidad de desarrollar el estudio: Programa para el Manejo del Agua Pluvial de la ciudad de Chetumal Quintana Roo, dicho estudio fue encargado por la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado (CAPA) al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) [Ref. 2]. Apoyándose en un modelo de simulación hidráulico, mediante el cual, sea factible realizar diversos escenarios para mitigar los daños materiales que pudieran presentarse debido a las inundaciones y a partir de dichos resultados proponer una solución viable a los problemas que padece la ciudad.

METODOLOGÍA

Para esto, se generó una metodología integrada por:

- Identificación de la problemática
- Análisis hidrológico e hidrográfico
- Herramientas de cálculo para la generación del modelo de simulación
- Generación de escenarios para mitigar las inundaciones.

En la figura 1, se muestra la estructura de la metodología para desarrollar el manejo integral de las aguas pluviales.



Figura 1. Estructura de la metodología

Identificación de la problemática

La ciudad de Chetumal está sujeta frecuentemente a la presencia de ciclones, tormentas tropicales, huracanes, estos fenómenos naturales originan constantes precipitaciones en periodos que van de 5 a 10 días seguidos, y aunado a las características topográficas, la ciudad se ve afectada por inundaciones en diversas zonas.

Las inundaciones se presentan porque existe la presencia de caliza muy compacta y dura con alto contenido de arcilla, y a la depresión topográfica y la existencia de áreas pantanosas, lagunas, ríos, son características favorables para las inundaciones, ver figura 2.

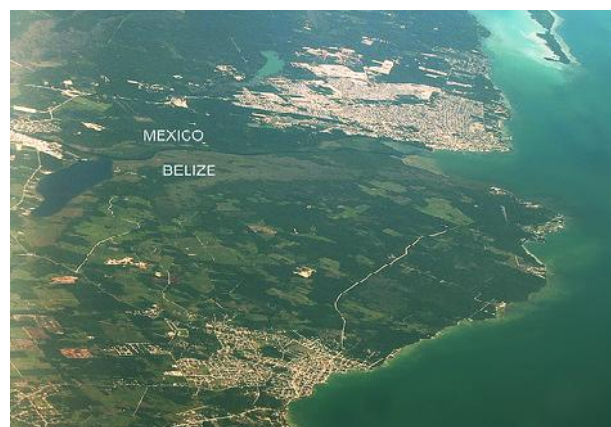


Figura 2. Ubicación de la ciudad de Chetumal entre lagunas y zona costera

Dentro del estudio se realizó un diagnóstico de los colectores pluviales y se identificaron diversas problemáticas que afectan el desalojo de las aguas pluviales como son:

La información referente al plano de catastro pluvial (ver figura 3), en algunos ramales se careció de información de los pozos de visita y era necesario realizar la actualización de algunos tramos. Otros tramos presentaban datos de pendiente cero, negativas o una pendiente casi plana, además con los reconocimientos de campo se encontraban azolvados, ver fotografía 1.



Figura 3. Plano de catastro pluvial.



Fotografía 1. Colector azolvado.

- Hundimientos del Terreno natural.- La ciudad de Chetumal en la zona baja (ver figura 4 y fotografía 2), ocurren con más frecuencia los hundimientos. Los suelos existentes en esta parte de la ciudad son la caliza fosilífera fracturada, superficialmente intemperizada y con pequeñas carsticidades en forma de vesículas u oquedades de dimensiones variables [Ref. 4].

Debido a lo anterior, las redes de alcantarillado, de agua potable y colectores pluviales, así como la infraestructura urbana, sufren daños estructurales lo que genera problemas en su funcionamiento.



Figura 4. Zona identificada con caliza fosilífera fracturada con oquedades.



Fotografía 2. Hundimiento en calle zona centro.

- Presencia de basura en las calles.- Otro problema es la presencia de basura en las calles que contribuye al taponamiento en las bocas de tormenta, por lo que la eficiencia de captación de estas estructuras puede caer a cero, asimismo genera obstrucciones dentro de los emisores pluviales con la consecuente disminución de su capacidad hidráulica, lo que impacta en las inundaciones dentro de la ciudad, (fotografía 3).



Fotografía 3. Bolsas de basura en la vía pública

- Nivel topográfico.- La topografía de la ciudad de Chetumal es plana, va de la cota 12 msnm a la cota 0 msnm, en algunas zonas de la ciudad se tienen niveles topográficos de 2 msnm, terrenos con pendientes mínimas y sin descargas al mar o la Sabana, lo que genera acumulación de agua por efecto del escurrimiento del agua de lluvia (ver fotografía 4)



Fotografía 4. Llanura con acumulación de agua de lluvia

- Lluvias torrenciales.- La Ciudad, se ubica en una región propensa a la entrada de huracanes y tormentas tropicales, mismas que generan lluvias con fuertes precipitaciones; en el mes de agosto del 2012 se registró una lluvia con precipitación acumulada de 210 mm, que generó inundaciones y encharcamientos, fotografía 5.



Fotografía 5. Domicilios y calle inundada

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Construcción del modelo digital de elevaciones (MDE).

El MDE se construyó a partir de las curvas topográficas proporcionadas por el Plan de Desarrollo Urbano del Municipio, con este modelo, desarrollado en ArcMap, fue posible identificar: las cuencas hidrográficas de la zona en estudio, las líneas de corriente de escurrimiento en calles. De este análisis se determinó que la ciudad está conformada por 22 cuencas que cubren el área de estudio, con una extensión total de 7850 has. Aunado a esto se identificaron los usos de suelo de la zona, divididos en 4 rubros; pavimento constituido por las calles, áreas no desarrolladas conformado por el terreno natural, las casas habitación indicadas en el plano de planimetría, y los Parques y terrenos sin construir dentro de la mancha urbana indicados como Parques y Baldíos, ver figura 5 y 6.



Figura 5. Cuencas de la zona de estudio

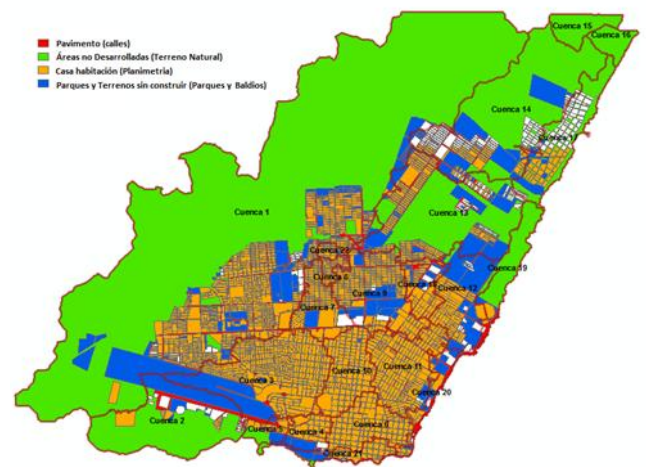


Figura 6. Usos de suelo

Identificación de microcuencas y usos de suelo

Derivado del MDE se calcularon 676 microcuencas; los usos de suelo se obtuvieron a partir de la información de planimetría, y a partir de ellos se obtuvieron los coeficientes de escurrimiento por cuenca y microcuenca. Éstos se utilizan para calcular el gasto máximo de escurrimiento a cada colector pluvial. Para cada una de ellas se calcularon sus parámetros siguientes: porcentajes de área impermeable, tiempo de concentración del escurrimiento, pendiente de cada microcuenca, caudal de aportación para los diferentes periodo de retorno, ver figura 7 y 8.

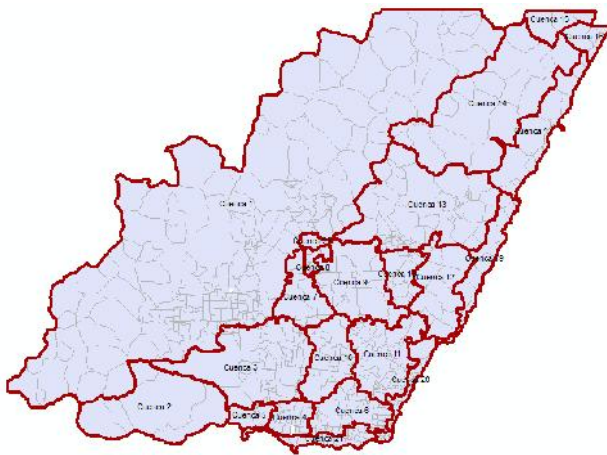


Figura 7. Microcuencas de la zona de estudio

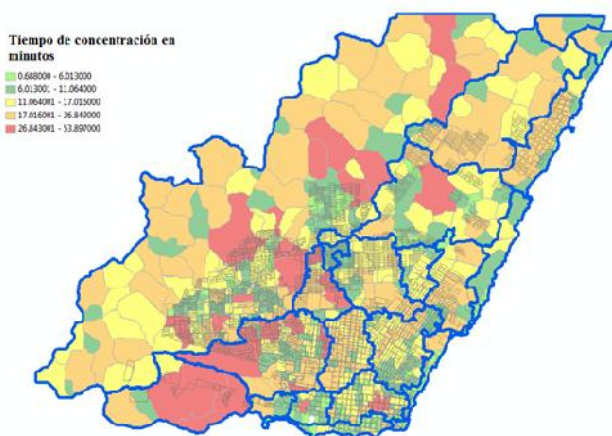


Figura 8. Tiempo de concentración en minutos

Estudio Hidrológico

Curvas precipitación - Duración – periodo de retorno (P-D-Tr) y estimación del hietograma tipo. Derivado del análisis de estaciones hidrológicas, se obtuvieron las curvas Precipitación (mm) – Duración (min) – Periodo de retorno mismas que se utilizan para la estimación de caudales generados con diferente duración y periodo de retorno. Con estos datos fue posible estimar los caudales escurridos en cada microcuenca para diversos periodos de retorno y dimensionar la infraestructura necesaria asociada a una lluvia tipo y que servirá para mitigar las inundaciones, ver figura 9 y 10.

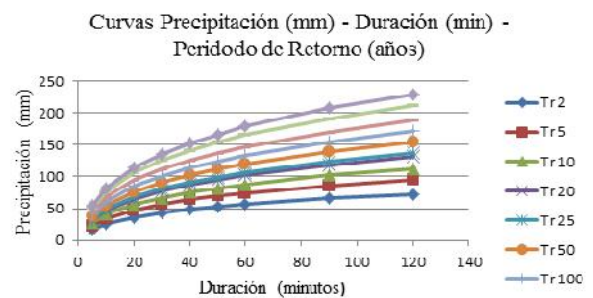


Figura 9. Curvas Precipitación (mm)- Duración (min- Periodo de retorno

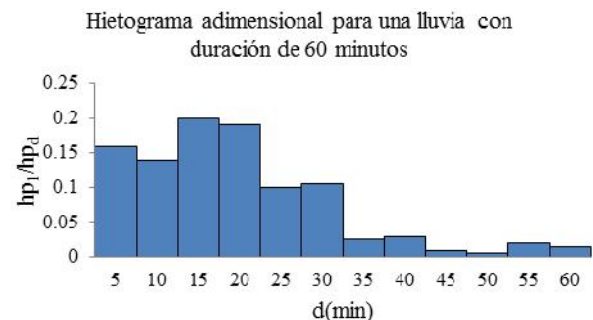


Figura 10. Hietograma adimensional para una lluvia con duración de 60 minutos

Simulación de lluvias precipitadas en Chetumal

Además de las lluvias obtenidas a partir del análisis estadístico, se simularan las lluvias reales precipitadas en la ciudad de Chetumal, con la finalidad de ajustar el modelo de simulación e indicar los problemas generados por dicha lluvia una vez realizada dicha simulación. En la figura 11, se muestra la precipitación (mm) registrada en la EMA, Chetumal, Quintana Roo los días 17 y 18 de abril del 2012, misma que provocó inundaciones y encharcamientos en la ciudad, de las 22:50 horas del día 17 de abril a las 2:30 de la mañana, del 18 de abril se tiene un acumulado de lluvia de 36 mm, es decir esto se presenta en un tiempo de 3 horas 40 minutos, posteriormente se tiene otra lluvia de las 3:00 de la mañana a las 4:30 horas, en este tiempo

de 1 hora y media se precipitan un total de 22.3 mm. Y por último de las 7:10 horas de la mañana a las 8:40, (en una hora y media) se precipitan un total de 29.3 mm.

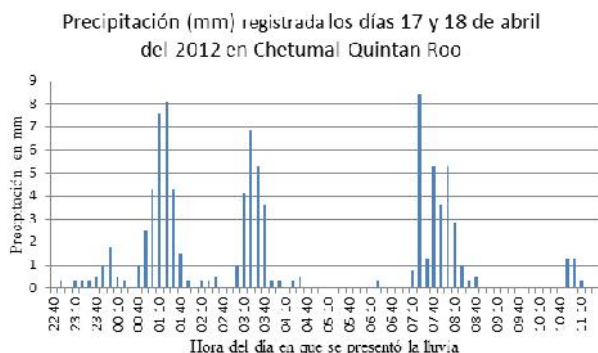


Figura 11. Precipitación en (mm) registrada los días 17 y 18 de agosto en la EMA Chetumal

Si se considera la lluvia precipitada de las 22:50 horas del día 17 de abril a las 11:10 horas del 18 de abril Por lo que se tienen de lluvia acumulada total, en un total de 12:30 horas se registran 90.8 mm de lluvia, lo que representa una lluvia para un periodo de retorno de 2 años.

En los días 16 y 17 de agosto del 2012 la EMA registró la lluvia mostrada en la figura 12, el hietograma de las 3:10 am a las 9:00 am del día 16 de agosto precipitaron un total de 128.78 mm, y de las 9:30 am a las 11:40 am vuelva una lluvia con un acumulado en dicho tiempo de 10.91 mm, de las 12:30 a las 15:50 se presenta la tercera lluvia con un acumulado de 41.89 mm, de las 20:30 a las 22:10 se tiene la cuarta lluvia con un acumulado de 20.57 mm, ya en el día 17 de agosto de las 6:40 am a las 11:30 am se presenta la quinta lluvia con un acumulado de 42.66 mm.

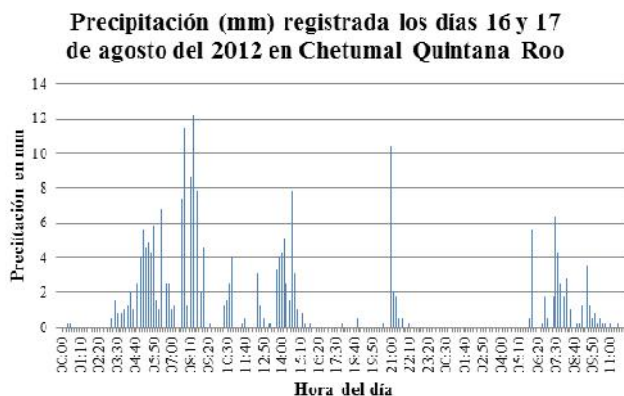


Figura 12. Precipitación en (mm) registrada los días 16 y 17 de agosto en la EMA Chetumal

En total las lluvias registradas del 16 al 17 de agosto se presenta un acumulado de 245.56 mm. Sólo el día 16 de agosto el acumulado de las lluvias precipitadas fue de 202.9 milímetros en un tiempo de 19 horas, es decir una lluvia con un periodo de retorno de 10 años. Si se considera el acumulado de los dos días la lluvia podría catalogarse como para un periodo de retorno de 20 años.

Modelo de simulación en SWMM.

El modelo de simulación hidráulica de los colectores pluviales (1D) se construyó en el software desarrollado por la EPA de los Estados Unidos y que es de distribución gratuita denominado SWMM (Storm Water Management Model). Para la construcción de dicho modelo se realizó una actualización de la información de los colectores pluviales, recorridos de campo, integración de información de otras dependencias de gobierno. El modelo incluye:

- Los colectores pluviales existentes que contaban con información catastral.
- Las 674 microcuencas con sus parámetros. Pendiente, área, etc.
- De acuerdo a la configuración de las microcuencas y su aportación a los colectores, sólo el 32 % de la zona en estudio cuenta con infraestructura pluvial.
- Las lluvias de diseño para diferentes periodos de retorno y las lluvias precipitadas en el mes de abril y agosto del 2012.

Analizando la red de colectores en conjunto con la simulación de una lluvia con periodo de retorno de 10 años, precipitación que ocurrió durante los días 17 y 18 de agosto de 2012, los colectores operaron a su capacidad máxima, ver figura 13 y 14.

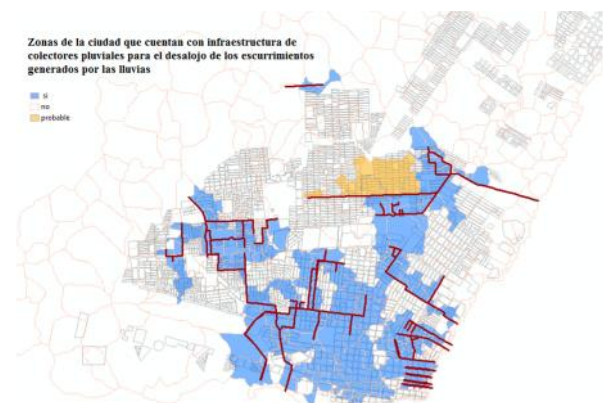


Figura 13. Microcuencas de la ciudad con infraestructura pluvia



Figura 14. Colectores operando a su máxima capacidad con una lluvia de 10 años

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Generación de mapas de peligro y acciones estructurales.

Con base en el Modelo Digital de Elevaciones (MDE), el análisis hidrológico e hidrográfico y el modelo de colectores pluviales, se construyó el modelo de simulación en 2D ligado al modelo de simulación 1D con el que se generaron los mapas de peligro para diferentes periodos de retorno. Con base en el modelo de simulación (1D y 2D) se propusieron diversas infraestructuras pluviales para mitigar los problemas de inundación y reducir su peligro. Como se puede observar en las figuras 15 y 16, en color azul se presentan las zonas con menor elevación topográfica y en color rojo las zonas con mayor elevación,.

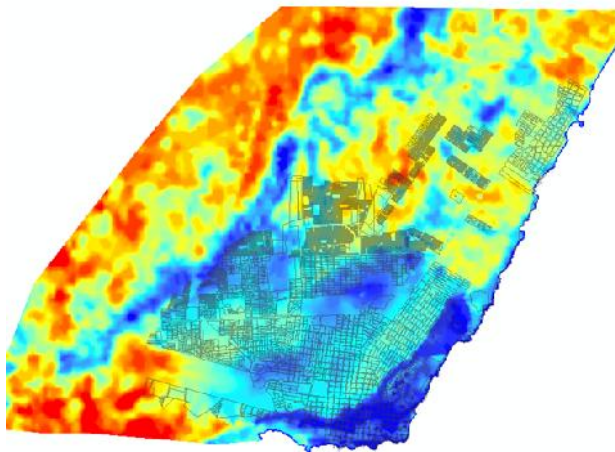


Figura 15. La ciudad de Chetumal se ubica en una zona baja o llanura.

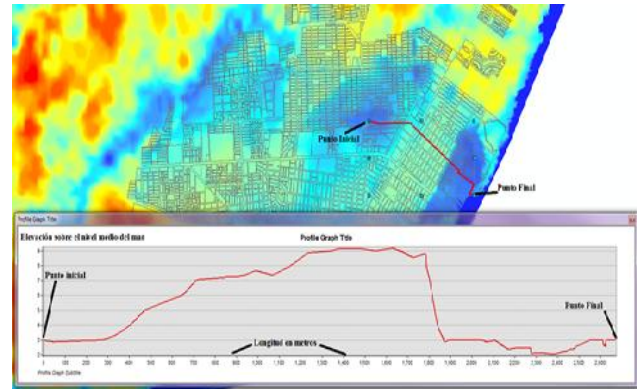


Figura 16. Perfil del terreno calculado a partir del MDE

Con las bondades de este modelo fue posible determinar las líneas de corriente a través de las calles de la ciudad, se logra identificar de forma visual, las zonas problemáticas de acumulación de agua dentro de la mancha urbana, se delimita con mayor detalle las microcuencas de la ciudad, así como se identifican las calles problemáticas de escurrimiento, ver figura 17.

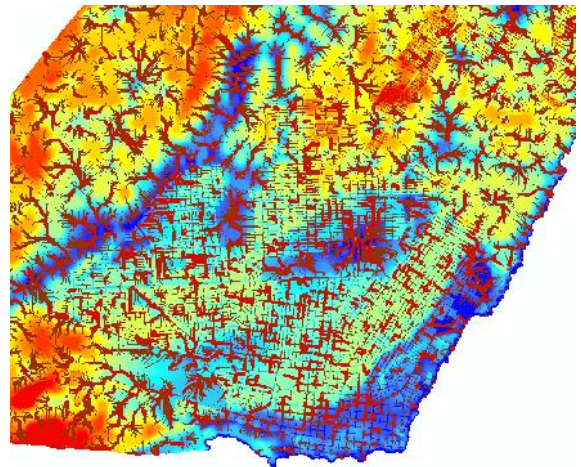


Figura 17. Líneas de corriente calculadas a partir del modelo digital de elevaciones en el que se incluye la planimetría.

En las figuras 18 y 19, se muestran los planos de riesgo en caso de que no se tenga infraestructura hidráulica pluvial para un periodo de retorno de 10 años (precipitación = 201 mm).

TIRANTES MAXIMOS PARA UN TR= 10 AÑOS
SIN INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA PLUVIAL

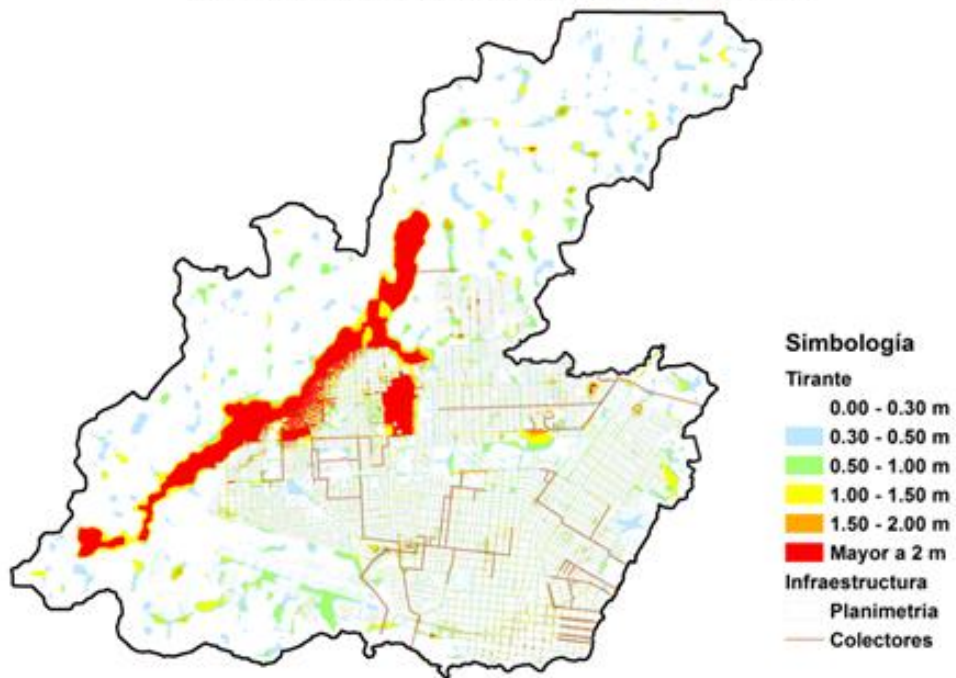


Figura 18. Tirante máximo para un Tr de 10 años si la ciudad no contara con infraestructura hidráulica pluvial.

MAPA DE PELIGRO PARA UN TR= 10 AÑOS
SIN INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA PLUVIAL

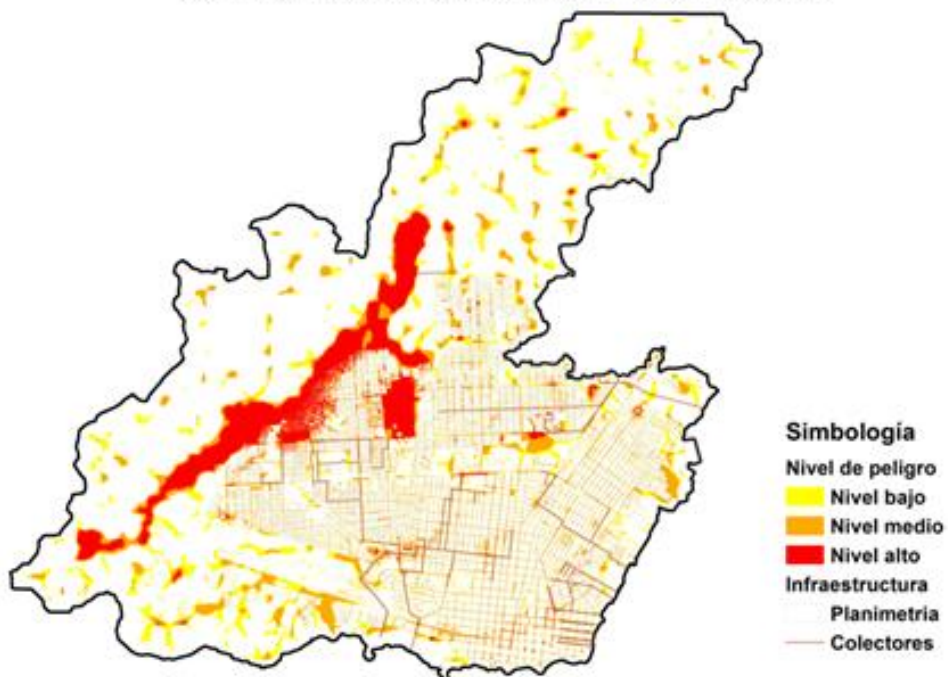


Figura 19. Mapa de peligro para un Tr de 10 años si la ciudad no contara con infraestructura hidráulica pluvial

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Con la metodología propuesta se generaron simulaciones que consideran la interacción de los colectores pluviales (simulación 1D) con el escurrimiento en calles (simulación 2D); se generaron los mapas de peligro para diferentes periodos de retorno. Con base en lo anterior se logró obtener una propuesta integral para el control de las inundaciones en la ciudad.

El modelo creado sirvió para generar acciones estructurales en las cuales se propone: la rehabilitación del Dren Soriana y el revestimiento del Canal Machuxac, para mejorar su capacidad de descarga, el redimensionamiento de las bocas de tormenta ubicadas al inicio del Dren Soriana. Se proponen la construcción de dos colectores nuevos, uno que desciende por la calle Morelos hasta su desembocadura al mar con capacidad para desalojar 21 m³/s y la construcción del colector Soriana Altamirano con capacidad para desalojar 38 metros cúbicos por segundo, ver figura 20.



Figura 20. Tanque de regulación, bombeo y colector paralelo al dren Soriana

Del diagnóstico realizado a la infraestructura urbana en conjunto con las autoridades de CAPA se plantearon las acciones no estructurales: Levantamiento catastral de los colectores ubicados en la zona centro, ya que se carece de dicha información; creación de un área responsable del mantenimiento, limpieza y operación de los colectores pluviales con el personal y equipamiento correspondiente, esta actividad está a cargo del municipio actualmente pero se carece de recursos económicos por lo que se propone que sea CAPA quien tome esta responsabilidad; Modificación o creación de una normatividad para descargas de aguas pluviales a los nuevos centros comerciales.

BIBLIOGRAFÍA

- Rodríguez Varela J. M., Maldonado Silvestre J., Albornoz Góngora P. M., Alcocer Yamanaka V. H., Alonso Ovando J. A., Vidal Russi H., Quiñones Baas J. R., Jiménez García M. A., Arceo Sánchez R., (2012), Programa para el manejo del agua pluvial de la ciudad de Chetumal, Quintana Roo, clave interna IMTA, HC1235.3, Subcoordinación de Hidráulica Urbana, 2012.
- Alcocer Yamanaka V. H., Rodríguez Varela J. M., Albornoz Góngora P. M., Maldonado Silvestre J., Alonso Ovando J. A., Vidal Russi H., Quiñones Baas J. R., (2012) Manejo de Aguas Pluviales de la ciudad de Chetumal, Quintana Roo, Revista Agua en Quintana Roo, 2, 4, Julio Septiembre 2012.
- CINVESTAV, I.P.N. (2009) Seminario de análisis de la vulnerabilidad y riesgos a la Contaminación de las aguas subterráneas en la Península de Yucatán, realizado en Mérida, Yucatán en diciembre de 2009.
- Centro de Información Geográfica (CIG) (2011) Atlas de Riesgo de la ciudad de Chetumal, Municipio de Othón P. Blanco, Quintana Roo, División de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Quintana Roo y la Dirección General de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente del Estado de Quintana Roo.
- López Orozco J. A. (2012) Manejo Integral del Agua Pluvial de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.- Tesis de maestría (en proceso), Facultad de Ingeniería de la UNAM.
- Gómez Valentín M. (2008). Hidrología Urbana, notas de curso, Universitat Politècnica de Catalunya, E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental.
- Salas Salinas M. A. (2011). Metodología para la elaboración de mapas de riesgo por inundaciones en zonas urbanas. Serie Atlas Nacional de riesgos, Fenómenos hidrometeorológicos, Centro Nacional de Prevención de Desastres. Sistema Nacional de Protección Civil, Dirección de Investigación.