

Anexo I.8. Sistema de alcantarillado y zonas inundables.

La fuente primaria de este anexo es el estudio denominado “Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final” 2016, elaborado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado de Quintana Roo (CAPA); mismo que fue amablemente proporcionado por la CAPA para complementar el nivel y calidad de información técnica para este Programa de Desarrollo Urbano de Chetumal, Calderitas, Subteniente López, Huay-Pix y Xul-Há.

I. Drenaje pluvial

El drenaje pluvial urbano tiene como función la captación y desalojo de las aguas de lluvia hasta sitios donde se descarguen en los cuerpos de agua. El sistema de drenaje está constituido por una red de conductos e instalaciones complementarias que permitan el desalojo de las aguas de la lluvia las cuales requerirán un adecuado mantenimiento para una correcta operación de los mismos. Un sistema de drenaje pluvial urbano se integra de las partes siguientes:

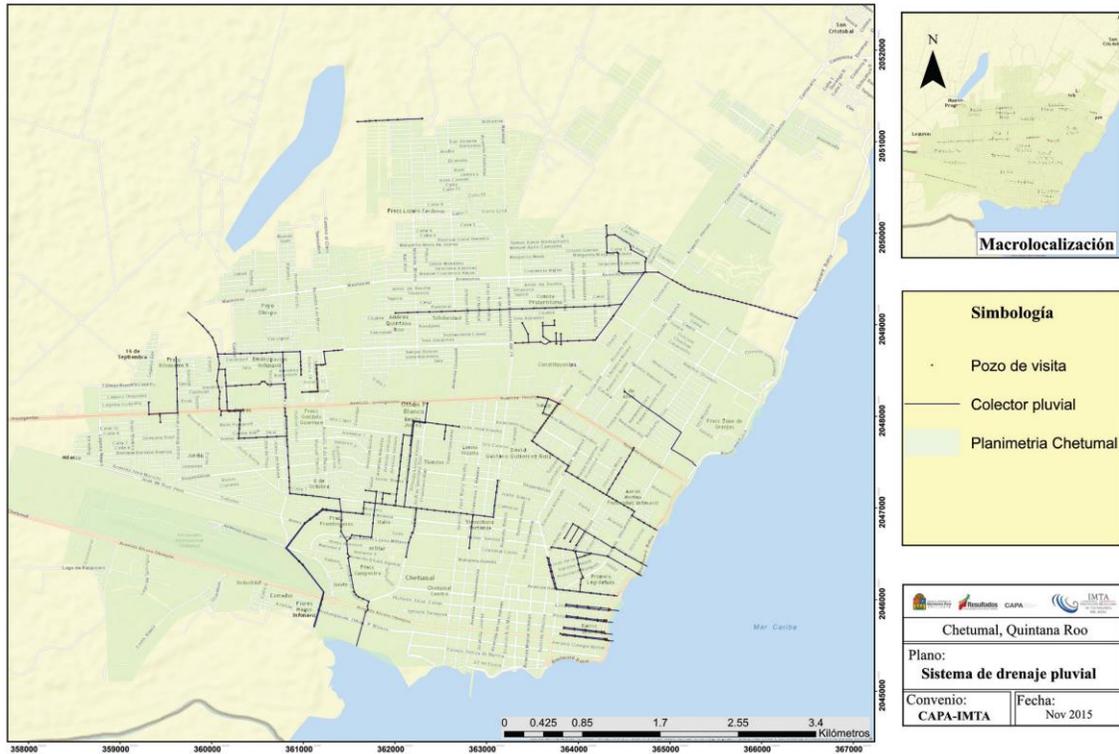
1. Estructura de captación: Recolectan las aguas a transportar, en el caso de los sistemas de drenaje pluvial urbano se utilizan bocas de tormenta como estructuras de captación. En las captaciones (ubicadas convenientemente en puntos bajos del terreno y a cierta distancia en las calles) se coloca una rejilla o coladera para evitar el ingreso de objetos que obstruyan los conductos, por lo que son conocidas como coladeras pluviales.
2. Estructura de conducción: son aquellas en las cuales se transportan las aguas recolectadas por las estructuras de captación hacia el sitio de almacenamiento o conductos cerrados y/o abiertos, conocidos como tuberías y canales, respectivamente.
3. Estructura de conexión y mantenimiento: Facilitan la conexión y mantenimiento de los conductos que forman la red de drenaje, pues además de permitir la conexión de varios conductos, incluso de diferente diámetro o material, también disponen del espacio suficiente para que un operador baje hasta el nivel de las tuberías y maniobre para llevar a cabo la limpieza e inspección de los conductos; tales estructuras son conocidas como pozos de visita.
4. Estructuras de vertido: Son estructuras de descarga terminales que protegen y mantienen libre de obstáculos la descarga final del agua drenada, se diseñan para evitar posibles daños al último tramo de tubería, que pueden ser causados por la corriente a donde descarga la red o por el propio flujo de salida de la conducción.
5. Obras complementarias: Se considera dentro de este grupo a las instalaciones que no necesariamente forman parte de todos los sistemas de drenaje, pero que en ciertos casos resultan importantes para su correcto funcionamiento. Entre ellas se tiene a los cárcamos de bombeo, estructuras de cruce, lagunas de retención y detención, disipadores de energía, etc.

I.1. Sistema pluvial de ciudad de Chetumal.

A partir de los últimos años, la CAPA ha diseñado y construido infraestructura pluvial, con el objetivo principal de desalojar los escurrimientos superficiales en el menor tiempo posible. En conjunto, el sistema de colectores pluviales llegan a sumar una longitud de 40.17 km. (imagen No. 1) se presenta la disposición geográfica de las estructuras actuales.

El sistema trabaja mediante bocas de tormenta que permiten interceptar el agua de lluvia que escurre por las calles, este flujo es conducido por medio de tuberías (colectores) hasta su descarga, que es el caso particular de la ciudad de Chetumal, la bahía y cuerpos lagunares.

Imagen No. 1. Sistema pluvial de la ciudad de Chetumal.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final”, CAPA-IMTA, 2016.

I.2. Principales problemas de capacidad de desalojo óptimo.

Como parte de la planificación y diseño del sistema de drenaje pluvial, se debe garantizar que el desalojo de las aguas pluviales no afecte a las zonas aguas abajo; es decir que no por mitigar el efecto en una colonia, los escurrimientos superficiales sean conducidos a otro afectando a viviendas, carreteras o cualquier otra infraestructura.

En general los problemas en la capacidad del drenaje pluvial, se establecen a partir del crecimiento demográfico en la población; donde la infraestructura urbana ha aumentado considerablemente, consecuentemente se tienen menores zonas de infiltración y retención del escurrimiento; esto ha provocado que aumenten los escurrimientos por las calles de la ciudad de Chetumal, factor ponderante para que se generen encharcamientos en la zona (imagen No. 2).

El material kárstico son rocas calizas que sufren un proceso de alteración química por la acción del agua de lluvia. Disuelve la roca tanto en la superficie como en el subsuelo dando el lugar a oquedades, grietas, así como hundimientos. Este material es donde yace desplantada la ciudad de Chetumal, y a pesar de los rellenos que realizan para la construcción de las vialidades, los hundimientos provocados por lluvias intensas hacen que se cambien la configuración de las pendientes de las calles; formándose oquedades donde se acumula la precipitación pluvial (imagen No. 3).

Imagen No. 2. Inundación en la Calle José María Morelos.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final”, CAPA-IMTA, 2016.

El material kárstico son rocas calizas que sufren un proceso de alteración química por la acción del agua de lluvia. Disuelve la roca tanto en la superficie como en el subsuelo dando el lugar a oquedades, grietas, así como hundimientos. Este material es donde yace desplantada la ciudad de Chetumal, y a pesar de los rellenos que realizan para la construcción de las vialidades, los hundimientos provocados por lluvias intensas hacen que se cambien la configuración de las pendientes de las calles; formándose oquedades donde se acumula la precipitación pluvial (imagen No. 3).

Imagen No. 3. Hundimientos y encharcamientos en la Av. Adolfo López Mateos.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final”, CAPA-IMTA, 2016.

I.2.1. Obstrucciones.

Una de las funciones más importantes en el mantenimiento de un sistema de drenaje pluvial es la remoción de obstrucciones. Las causas más frecuentes de estas son: grasas, trapos, plásticos, vidrios, raíces, arenas y piedras.

Tabla No. 1. Causas frecuentes de obstrucciones de un sistema de drenaje pluvial.

Grasas	Normalmente las zonas aledañas a mercados y restaurantes presentan mayor incidencia de obstrucciones por esta causa. Las grasas cuando llegan a las redes de alcantarillado se endurecen y progresivamente forman tacos de sebo que obstruyen las tuberías. Se presenta con mayor incidencia en tramos de baja pendiente y en tuberías rugosas como las de concreto.
Trapos, plásticos y vidrios	Estos materiales se encuentran a menudo obstruyendo las tuberías y su incidencia es mayor en aquellas zonas donde hacen mal uso del servicio de alcantarillado, por ejemplo, casas donde arrojan trapos, cartones y plásticos en la taza sanitaria o en la calle donde vierten la basura a las cámaras de inspección.
Raíces	Obstrucciones por raíces se presentan con mayor incidencia en zonas donde las redes de alcantarillado están ubicadas en zonas verdes con árboles. Las raíces penetran por las juntas o roturas de las tuberías y pueden llegar a causar obstrucciones completas. Estas obstrucciones pueden removerse con equipos corta raíces y también con la aplicación de sulfato de cobre (imagen No. 4).

Arenas y piedras	Estos materiales penetran con mayor incidencia en las calles con superficies en tierra o lastre, donde por causa de tuberías rotas o buzones sin tapa éstas penetran al alcantarillado sanitario. También se forma arena y sedimento en tramos con muy poca pendiente debido a la descomposición que sufre la materia orgánica. Es necesario detectar los tramos con mayor incidencia de obstrucción por arenas a fin de limpiarlos periódicamente. Estos materiales tienen que ser necesariamente extraídos, porque el solo lavado, traslada y concentra el problema en otro sitio (imagen No. 5).
------------------	---

Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final^o, CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 4. Raíces y vegetación que obstruyen el flujo de un canal.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final^o, CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 5. Arenas y piedras ubicadas en las rejillas de las bocas de tormenta.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final^o, CAPA-IMTA, 2016.

I.2.2. Roturas.

Las roturas y fallas que se presentan en las redes de alcantarillado frecuentemente pueden ser resultado de algunas de las siguientes causas:

Tabla No. 2. Causas frecuentes de roturas en las redes de alcantarillado.

Soporte inapropiado del tubo	Cuando las tuberías del alcantarillado se colocan en una zanja de fondo rocoso, o con piedras en el fondo, con toda seguridad la tubería fallará por falta de uniformidad en la cama de apoyo. Contrariamente, si las mismas tuberías se colocan sobre una cama de apoyo correctamente construida, la capacidad de la tubería para soportar cargas se incrementará. El personal de operación y mantenimiento debe tener un conocimiento claro de estos aspectos a fin de que al realizar las reparaciones de las tuberías se cimienten apropiadamente.
Movimiento del suelo	Se presenta durante un sismo e implica la reconstrucción total del tramo fallado. La reposición de las tuberías rígidas por tuberías flexibles con uniones también flexibles soluciona el problema en muchos casos (imagen No. 6).
Raíces	Cuando el problema de raíces se acentúa, éstas llegan a fracturar las tuberías por lo que es necesario cambiar los tramos afectados (imagen No. 7).
Vandalismo	Los problemas asociados con el vandalismo son bien conocidos. La sustracción de tapas de hierro fundido dejan las cámaras de inspección al descubierto causando problemas de obstrucción de los colectores. Este

problema se acentúa en red de alcantarillado a campo traviesa o ubicada en las márgenes de los ríos, quebradas y acequias.
El personal de operación y mantenimiento deberá sellar las tapas con asfalto y arena o concreto si es necesario, a fin de evitar estos problemas. Además, deberá realizar un recorrido periódico y frecuente de estas líneas para la reparación de los daños con la premura del caso evitando daños mayores (imagen No. 8).

Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 6. Problemas en las captaciones del escurrimiento pluvial.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 7. Raíces a la entrada de la boca de tormenta.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 8. Falta de una tapa del canal por vandalismo.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

Este problema en las estructuras de captación de las aguas pluviales y en algunos casos su falta de dimensionamiento adecuado ha hecho que se tengan problemas al tiempo de precipitaciones extraordinarias, una de estos escenarios de lluvia extrema ocurrió del 17 al 19 de octubre del 2015.

I.3. Inundación del 17 al 19 de octubre del 2015.

La onda tropical núm. 44 causó inundaciones en la capital del estado de Quintana Roo; para el día 17 de octubre se determinó cerrar 14 puntos de diversas vialidades donde el nivel del agua supero los 80 centímetros; dichos cruces fueron: San Salvador esquina Morelos, Justo Sierra esquina Independencia, Erik Paolo por Constituyentes del `74, avenida Chetumal por Insurgentes, Javier Rojo Gómez por Erik Paolo, Estadio Nachan kaan, Primo de Verdad esquina Heriberto Frías, Pacto Obrero, Chicozapote con framboyanes, Faisán entre Tela y Erick Paolo, Veracruz con Chapultepec. El gobierno municipal de Othón P. Blanco habilitó como albergue la escuela primaria Francisco I. Madero para las familias que se vieron afectadas por alguna inundación, hasta la tarde de este sábado 3 personas solicitaron un espacio.

De acuerdo con un comunicado oficial del gobierno del Estado, los presidentes municipales de dichos municipios del sur de Quintana Roo, así como la Coordinación Estatal de Protección Civil, suspendieron las clases el lunes 19 de octubre luego de valorar la situación en la que se encontraban los planteles educativos. Las intensas lluvias siguieron hasta el día 19 de octubre, la secretaría de Seguridad Pública informó el cierre de nuevas intersecciones por encharcamientos, siendo los que se muestran en la Tabla 3.

La imagen No. 9 muestra los puntos de estancamientos que se generaron a partir de las intensas lluvias producidas por la onda tropical núm. 44, estos datos fueron recolectados por personal de la CAPA.

Tabla No. 3. Intersecciones bloqueadas por encharcamientos.

1	Erick Paolo con Constituyentes
2	Faisán con Constituyentes
3	Erick Paolo con 4 de marzo
4	Erick Paolo con 4 de marzo
5	Erick Paolo con Constituyentes y Tela
6	San Salvador con José María Morelos
7	Nicolás Bravo con Cuba
8	Chicozapote con Machuxac
9	Chicozapote con Dos Aguadas
10	Chicozapote con Flamboyanes
11	Nicolás Bravo con Yaxcopoil
12	Canadá con Paramarimbo
13	Puerto España con Canadá
14	Chetumal con Insurgentes
15	Constituyentes con Río Verde
16	Centenario con Comonfort

Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final^o, CAPA-IMTA, 2016.

Durante el recorrido realizado por parte del IMTA los días 20 y 21 de octubre se revisó el tirante alcanzado en los puntos más críticos, así mismo se hizo la visita a la planta Centenario la cual presento severos problemas.

En la imagen No. 10 se observa la avenida Chetumal esquina con Insurgentes, la cual se registró un tirante de 0.20 m. además se realizó una visita a la planta Centenario, la cual recibe la aportación de todos los cárcamos de aguas residuales en la ciudad de Chetumal, en la calle Progreso esquina con Camino al Cielo los tirantes alcanzados fueron de 0.70 m en la parte alta y en la zona baja de 1.20 m. La imagen No. 11 presenta los problemas de inundación que existen en la planta Centenario.

Sobre la avenida 4 de Marzo esquina con calle Armadillo en la colonia Tamalcab se realizó una inspección de los tirantes que se alcanzaron durante el registro de la lluvia (considerando las marcas de agua dejadas en las paredes), resultando alturas de hasta 0.50 m. Al dirigirse a la avenida Machuxac esquina con 4 de Marzo, se observó que los tirantes alcanzados fueron de 0.40 m (ver imagen No. 12).

Imagen No. 9. Calles cerradas por encharcamientos.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final⁹, CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 10. Encharcamientos registros sobre la avenida Chetumal.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final⁹, CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 11. Planta Centenario, encharcamientos registrados.





Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final^o, CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 12. Izquierda.- tirantes alcanzados sobre la Av. 4 de marzo; derecha.- Av. 4 de marzo esquina con Machuxac.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final^o, CAPA-IMTA, 2016.

En la calle Colibrí esquina con Celul de la colonia Payo Obispo se registraron tirantes de 0.15 m, se considera que los tirantes alcanzados durante la precipitación fueron mayores que los presentados (imagen No. 13).

Imagen No. 13. Encharcamientos producidos sobre la calle Colibrí y Celul.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final^o, CAPA-IMTA, 2016.

Al situarse sobre la avenida Erick Paolo Martínez y la calle Laguna Om ubicada en la colonia Los Monos, se registraron tirantes de 0.30 m. (imagen No. 14). En la calle Laguna Om esquina con Carmen Cardín hasta desembocar a la Sabana se presentaron tirantes de 0.40 m (imagen No. 15). Algo semejante ocurre en la calle 1 Diego Romero Castillo esquina con Laguna Paila en la colonia Lagunitas, donde se registraron tirantes de 0.16 m (ver Ilustración 7.111). También en la avenida Constituyentes del 74 y Erick Paolo Martínez se presentaron afectaciones, donde se registraron tirantes de 1.66 m, afectando la colonias Solidaridad y Proterritorio, esta zona es de las más urbanizadas de la ciudad de Chetumal (ver imagen No. 17).

**Imagen No. 14. Izquierda.- Calle Laguna Om con dirección a la avenida Erick Paolo;
derecha.- el tirante alcanzo entrar a las viviendas.**



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

**Imagen No. 15. Encharcamientos registrados sobre la calle Laguna Om con dirección hacia
La Sabana.**



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 16. Situación en la que se encontraba la calle Diego durante el recorrido.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 17. Afectaciones en la Av. Constituyentes del 74.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

En la avenida San Salvador entre las calles José María Morelos y Francisco I Madero, se registraron tirantes de 1.25 m. La Av. San Salvador tiene la característica principal que delimita las colonias David Gustavo y Venustiano Carranza (imagen No. 18).

Imagen No. 18. Encharcamientos sobre la avenida San Salvador.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

La avenida Justo Sierra esquina con Independencia de la colonia David Gustavo, se presentaron afectaciones con niveles de tirantes de inundación de 0.59 m, lo que generó que las viviendas se vieran afectadas (ver imagen No. 19).

Imagen No. 19. Casas afectadas en la colonia David Gustavo.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

En la calle Plan de Guadalupe entre las avenidas San Salvador y Venustiano Carranza de la colonia Venustiano Carranza (casitas), los tirantes alcanzados fueron de 0.65 m (ver imagen No. 20). La calle camino al cielo esquina con avenida Machuxac, se alcanzaron tirantes de 1.30 m (ver imagen No. 21).

Imagen No. 20. Casas afectadas en la calle Plan de Guadalupe.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 21. Zonas afectadas por las intensas lluvias.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

En el boulevard bahía entre las avenidas José María Morelos y Emiliano Zapata de la colonia Centro, se registraron tirantes de 0.40 m durante los días de las intensas lluvias (ver imagen No. 22).

Imagen No. 22. Encharcamientos sobre el Boulevard Bahía.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final^o, CAPA-IMTA, 2016.

I.3.1. Después de la inundación.

Los contaminantes de los alcantarillados y otros residuos provocan grandes consecuencias sanitarias y epidemiológicas en una inundación. Entre estas, las más comunes son: la contaminación de las fuentes de origen del agua, que crea condiciones que favorecen las epidemias; la migración de roedores a las viviendas durante la inundación y después de ella, la formación de charcos de agua estancada, lo que facilita la reproducción de mosquito, provocadores del paludismo, el dengue y otras enfermedades transmitidas debido a este fenómeno.

Debido a esto se optó por la utilización de pastillas de cloro, con el objeto de evitar los malos olores y al mismo tiempo tenga la utilidad de eliminar bacterias provocadas por estancamiento del agua. Las pastillas fueron colocadas por personal de protección civil de la ciudad, los cuales ubicaron puntos estratégicos para hacer más eficiente el uso de dichas pastillas. De allí que, después de una inundación en zonas urbanas se requiere la desinfección del agua, que consiste en matar o eliminar los patógenos presentes en los almacenamientos de agua y proteger la salud pública. Sin desinfección, el riesgo de enfermedades transmitidas por el agua aumenta.

Además se llevó acabo el uso de herramientas y equipos de bombeo portátiles (ver imagen No. 23), realizadas por las brigadas de protección civil que operan en conjunto, con el objetivo específico de desalojar las aguas estancadas. Estos equipos de bombeos fueron distribuidos en las localidades más vulnerables pero principalmente en avenidas y calles principales, con el propósito de movilizar el tráfico de personas, vehículos y así agilizar las actividades diarias.

Los equipos de bombeo pueden desalojar hasta mil litros por segundo, con este gasto que puede desplazar puede ir disminuyendo el excedente del agua de lluvia y dar accesos a las zonas afectadas. Directivos, administrativos y personal de CAPA, al término de las intensas lluvias, se trasladaron hasta la zona de desastre visitando las áreas más afectadas de la localidad Othón P. Blanco. Atendiendo la llamada de la población que solicitaba el apoyo para el desalojo de las aguas dentro de sus viviendas, al igual que una ayuda alimenticia y artículos para higiene personal a los damnificados por las devastadoras inundaciones que azotaron sus comunidades.

CAPA aseguró que: su equipo de trabajo estudiará muy detenidamente sus planes de prevención de inundaciones para que en situaciones similares futuras, los ciudadanos tengan tiempo para adoptar medidas necesarias.

Imagen No. 23. Equipos de bombeo utilizadas para desalojar el agua de zonas anegadas.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

II. Mapas de zonas inundables.

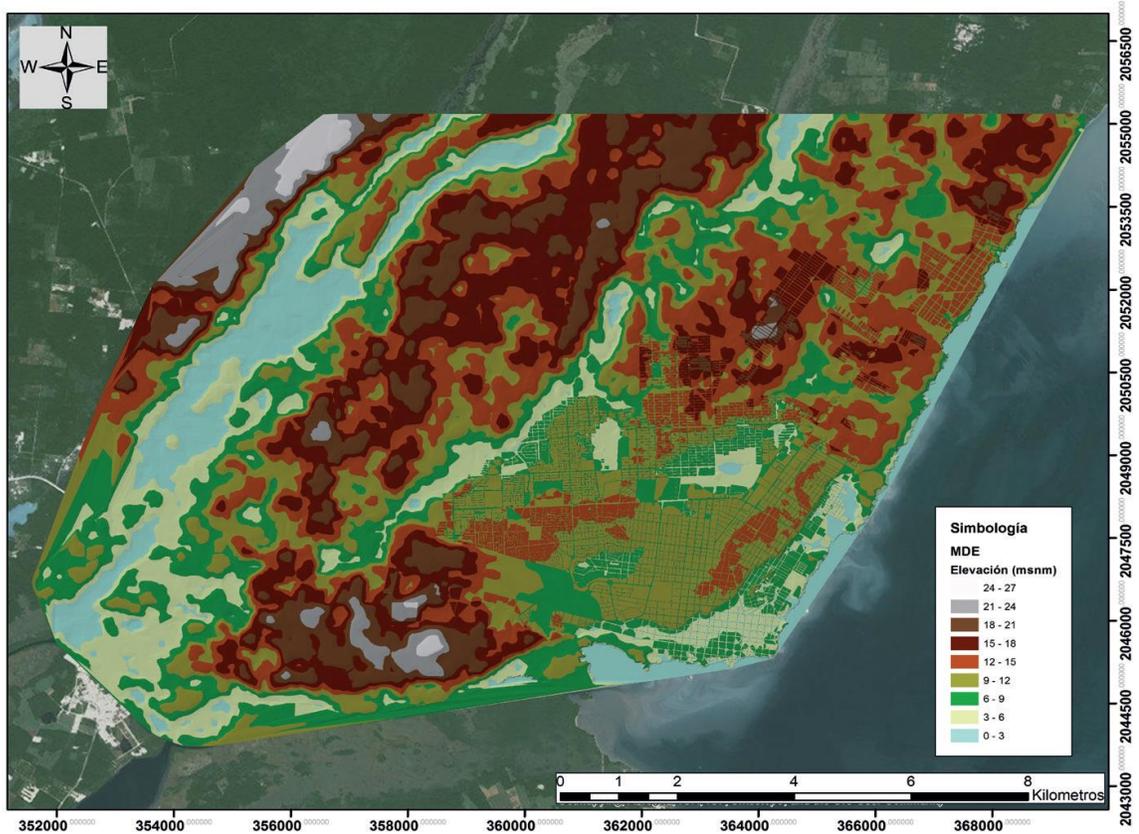
Para la construcción de los mapas de zonas inundables se requiere caracterizar la zona de estudio, por lo tanto se toma como referencia la metodología generada por Rodríguez et al (2015), en la cual se menciona la sistematización de los insumos necesarios para la creación de los mapas. Estos se determinan a partir de la construcción de un Modelo Digital de Elevaciones (MDE), planimetría de la zona urbana que resultara mediante un proceso descrito posteriormente las líneas principales de corriente. Se trabajará en el análisis hidrológico para conocer las lluvias de diseño, que permitirán construir el modelo de simulación hidráulica.

II.1. Delimitación de las áreas tributarias.

II.1.1. Modelo Digital de Elevaciones.

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2015), un modelo digital de elevación (MDE) es 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. En la Ilustración 8.1 se presenta el MDE generado con ayuda de las cartas Light Detection And Ranging -detecciones por luz y distancia- con abreviatura LIDAR proporcionadas por el INEGI. Esta información fue corroborada a través de levantamientos topográficos que cuenta la CAPA en su base de datos, ver imagen No. 24.

Imagen No. 24. Modelo Digital de Elevaciones de la Ciudad de Chetumal, Quintana Roo.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final¹, CAPA-IMTA, 2016.

II.1.2. Planimetría.

La planimetría de la zona, es un conjunto de métodos y procedimientos utilizados para obtener la representación a escala de todos los detalles relevantes del terreno sobre una superficie plana, prescindiendo del relieve y representando al objeto en forma horizontal.

Los datos de la planimetría se obtuvieron a partir de datos de la información proporcionada por el organismo operador de agua potable y se corroboraron a través de los datos del INEGI (AGEB's), representándose las divisiones realizadas para el seccionamiento de las zonas de construcciones, ya sean delimitadas por avenidas o calles. En la imagen No. 25 se presenta la planta de la zona urbana de la ciudad de Chetumal.

Imagen No. 25. Planimetría de la Ciudad de Chetumal.

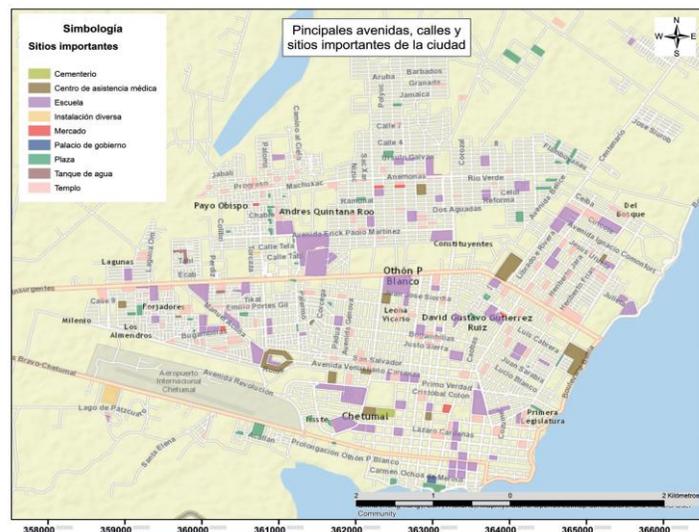


Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final”, CAPA-IMTA, 2016.

II.1.3. Traza urbana, nombres de calles, colonias y sitios importantes.

Parte de conocer el entorno de la ciudad de Chetumal, consiste en saber la ubicación de sitios de importancia; mediante los datos contenidos en el AGEB; estos datos nos permiten ubicar los sitios de importancia, así como establecer los nombres de las vialidades (ver imagen No. 26). Además de tener la delimitación por colonias de la ciudad, identificándose 139 colonias en la ciudad (ver imagen No. 27).

Imagen No. 26. Lugares principales y avenidas importantes de Chetumal.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final”, CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 27. Colonias de la Ciudad de Chetumal.

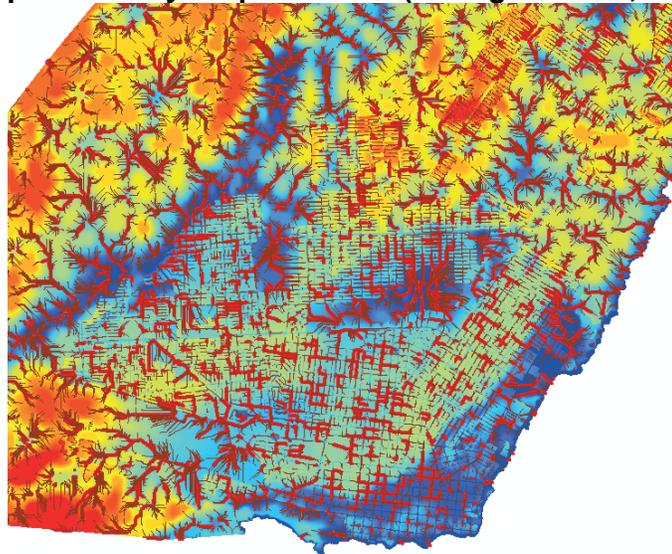


Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final^o, CAPA-IMTA, 2016.

II.1.4. Líneas de corriente principales.

Con la información de la topografía y planimetría de la ciudad, fue posible obtener el Modelo Digital de Elevaciones considerando las calles de la ciudad, es decir la planimetría de ésta fue integrada dentro del MDE (ver imagen No. 24), una ventaja de este modelo, reside en la utilización para determinar las líneas de corriente a través de las calles de la ciudad (ver imagen No. 26), esto ayudará a conocer las zonas que se delimitan formado áreas denominadas microcuencas. En la imagen No. 28, se muestran las líneas de corriente con las zonas de inundación dentro de la ciudad, en el que se observa que las líneas de corriente tienden a los niveles topográficos más bajos y coinciden con las zonas inundables de la ciudad.

Imagen No. 28. Líneas de corriente calculadas a partir del modelo digital de elevaciones en el que se incluye la planimetría (Rodríguez et al., 2012).



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final^o, CAPA-IMTA, 2016.

II.1.5. Generación de subcuencas de aportación.

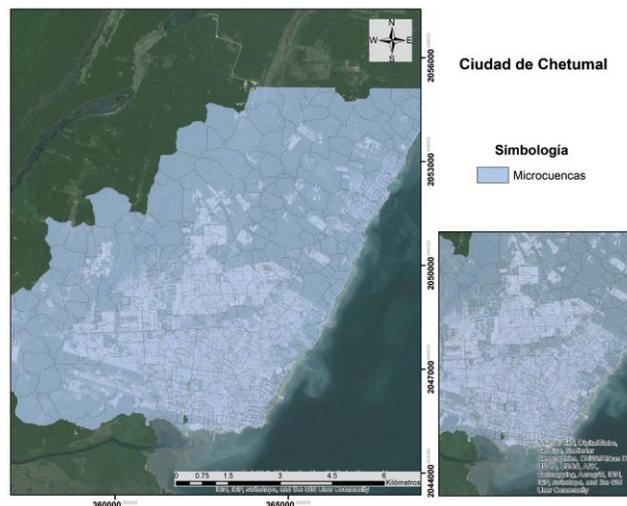
Para la generación de las microcuencas se tomó como punto de partida el MDE con zonas urbanas, el archivo se procesó con ayuda de un software que trabaje mediante algún Sistema de Información Geográfica (SIG). Se utilizó el programa ArcGis®, ya que permite trabajar datos con datos topográficos, bases de datos y facilita la delimitación de las microcuencas de acuerdo con las elevaciones registradas en el MDE.

La extensión del ArcGis utilizada es HecGeo-Hms®; a continuación se da una breve explicación de los pasos que se siguieron para la delimitación.

1. Fill sinks (relleno de sumideros), 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.
2. Flow direction (dirección de flujo), se define la dirección de la mayor pendiente, evaluando celda a celda las cotas circundantes del análisis.
3. Flow accumulation (acumulación de flujo), 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.
4. Stream definition (definición del flujo), 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.
5. Stream Segmentation (segmentación del flujo), se dividen los cauces en segmentos.
6. Catchment grid delineation (delimitación de las cuencas) en la cual se definen las cuencas por cada segmento del cauce.
7. Catchment Polygon Processing (proceso de una cuenca en polígono), proceso que convierte las subcuencas de malla a un formato de vector, con esto se conocen las áreas de aportación originadas por el escurrimiento que puede producirse.
8. Drainage line Processing (proceso del trazo de las líneas de corriente), se convierten los cauces de la malla a un formato de vector.

A partir del proceso descrito anteriormente, resultaron para la zona de estudio un total de 674 microcuencas de aportación para la ciudad de Chetumal (ver imagen No. 29)

Imagen No. 29. Microcuencas de aportación de la ciudad de Chetumal.

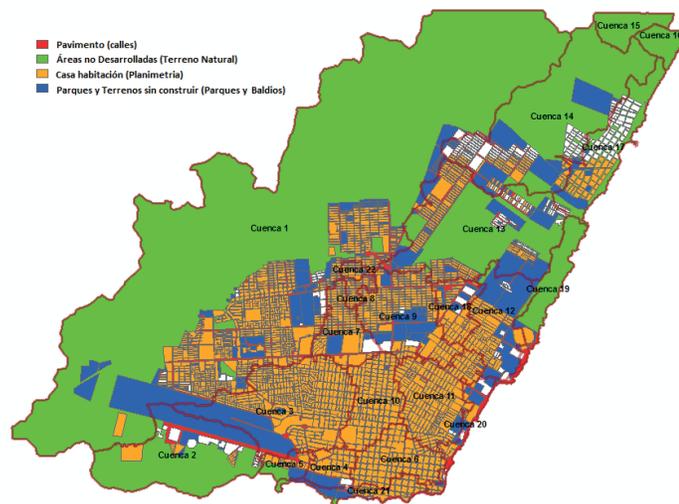


Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

II.1.5.1. Caracterización de la subcuencas y microcuencas de aportación.

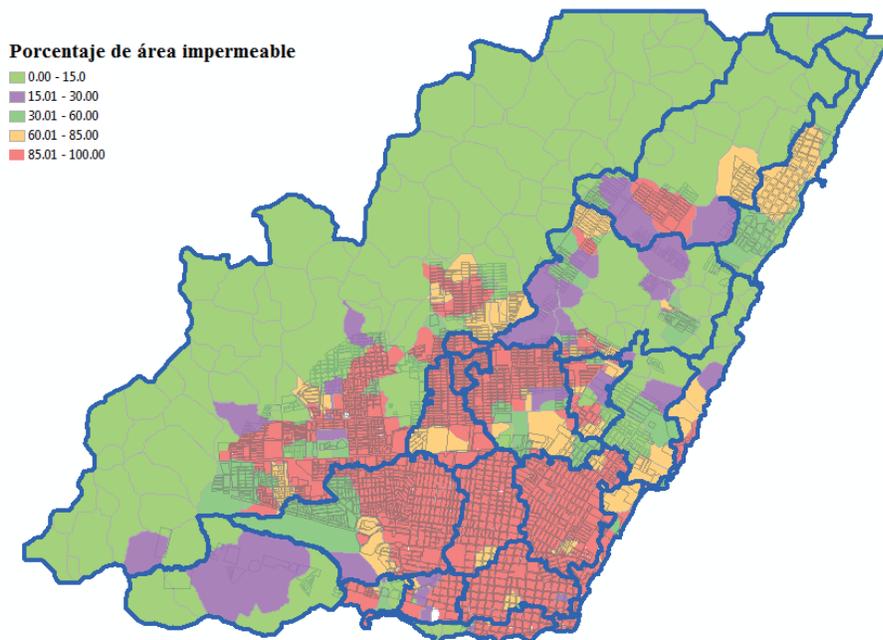
Con el estudio realizado por Rodríguez et al (2012) se identificaron los usos de suelo de la zona en estudio, divididos en 4 rubros, Pavimento constituido por las calles, Áreas no desarrolladas conformado por el terreno natural, las casas habitación indicadas en el plano de planimetría, y los Parques y terrenos sin construir dentro de la mancha urbana indicados como Parques y Baldíos (imagen No. 30). Para el análisis de escurrimientos en calles y colectores pluviales, las cuencas de la zona de estudio se dividieron en microcuencas. En total se obtuvieron 674 (ver imagen No. 29) para cada una de ellas se calcularon sus parámetros siguientes: área, altura máxima y mínima (en msnm), porcentaje de área impermeable (ver imagen 31), pendiente de la cuenca (ver imagen No. 32), tiempo de concentración (ver imagen No. 33), etcétera.

Imagen No. 30. Usos del suelo (Rodríguez et al., 2012).



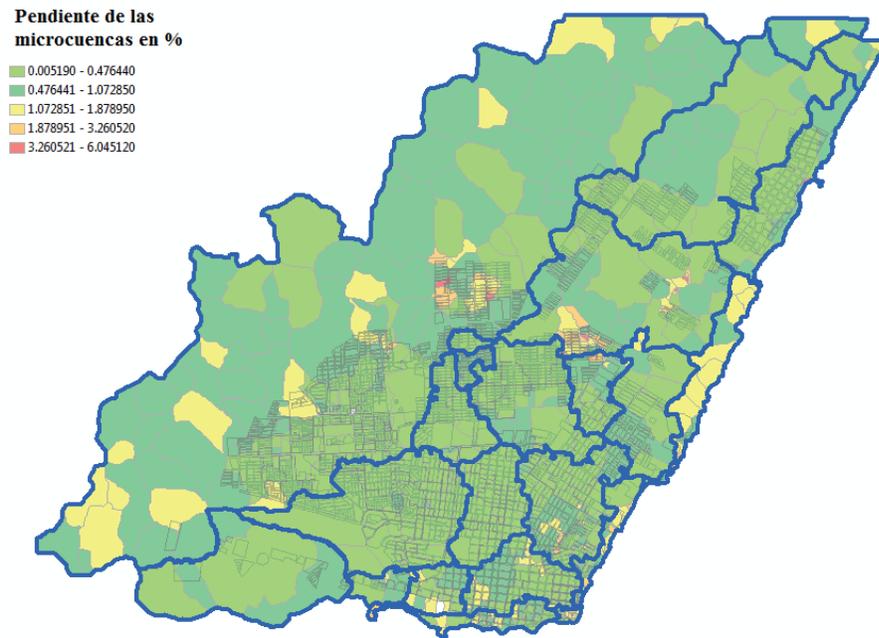
Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 31. Porcentaje de área impermeable por microcuenca (Rodríguez et al., 2012).



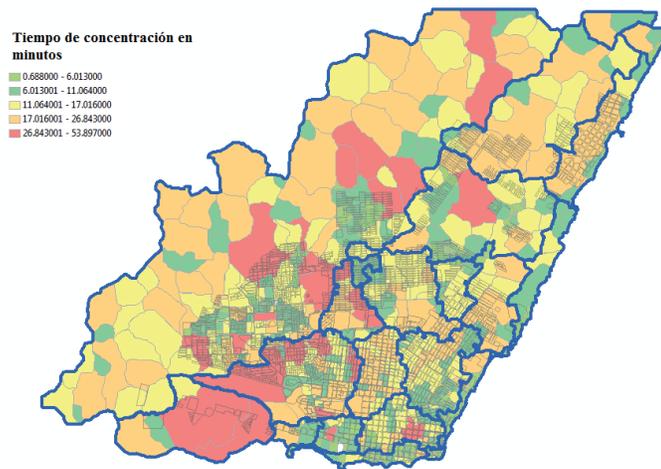
Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 32. Pendiente (%) de las microcuencas (Rodríguez et al., 2012).



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 33. Tiempo de concentración en minutos (Rodríguez et al., 2012).



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

II.2. Hietogramas de precipitación.

II.2.1. Estaciones climatológicas.

Los hietogramas de precipitación se tomaron en base al estudio realizado por Rodríguez et al. en el año 2012, donde con la base ERIC III V2.0, se localizaron nueve estaciones pluviométricas en la zona, las cuales tenían un conjunto de datos mayores a 12 años, se corrigieron y estimaron datos faltantes de la serie, para posteriormente mediante un análisis de funciones de distribuciones de probabilidad obtener un relación de precipitación y periodo de retorno, ver tabla No. 4.

Tabla No. 4. Lluvias Precipitación (mm)- Periodo de retorno (años) para las estaciones climatológicas (Rodríguez et al., 2012).

Nombre de la Estación	Chetumal, Tecnológico Othón P. Blanco	Chetumal, Observatorio	Los Pozos, Othón P. Blanco	INIA, Caechet, Othón P. Blanco	Bacalar, Payo Obispo
Número de estación	23153	23032	23015	23049	23002
Mejor ajuste	Distribución exponencial 2 parámetros	Distribución Gumbel Doble	Distribución Log Normal 2 parámetros	Distribución exponencial 2 parámetros	Distribución Normal (momentos)
Error estándar	20.40	8.60	4.91	10.92	5.15
Tr (años)					
2	110.63	100.8	82.03	104.06	65.09
5	167.38	154.45	115.61	157.41	88.33
10	207.31	194.55	137.78	196.05	102.29
25	260.37	251.1	165.78	248.68	119.08
50	301.6	297.48	186.64	290.66	131.3
100	344.15	347.99	207.49	334.94	143.38
200	388.19	403.16	228.42	381.83	155.5

Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

II.2.2. Análisis de información pluviográfica.

Para el análisis de la información pluviográfica, se utiliza una estación meteorológica automática (EMA), encargada de registrar datos a cada 10 minutos de diferentes parámetros como los son el viento, la temperatura, humedad relativa, radiación solar, entre otros. La EMA analizada está ubicada al sur del aeropuerto de Chetumal:

Estación: SMN EMAS CHETUMAL, QROO

Operada por: Servicio Meteorológico Nacional (SMN – EMAS)

Longitud: 88°19'40" Latitud: 18°30'02" Altitud: 14

Inicio con registros el 25/04/2000

Para conocer la distribución temporal de la lluvia, se requiere calcular el promedio de lluvias que se presenta más veces en Chetumal. Dicha forma de lluvia se emplea para determinar las lluvias de diseño. Del análisis se tiene: generación de la lluvia acumulada en cada tormenta.

A partir de las distribuciones adimensionales medias, mostradas en la ilustración anterior, se construyeron los histogramas adimensionales para las lluvias de proyecto para una lluvia tipo con duración de 90 minutos. Estos hietogramas adimensionales serán usados como base para construir las lluvias tipo para el análisis de los colectores.

II.2.3. Lluvias de proyecto.

Para la determinación de las curvas altura de precipitación – duración – periodo de retorno, y con la información generada (lluvias máximas acumuladas diarias para diferentes periodos de retorno mostradas en la tabla No. 4, se procede a la desagregación de dichos eventos a lluvias con duraciones menores a 24 horas.

El método empleado es el denominado "Bell" que permite estimar la altura de precipitación para cualquier periodo de retorno y para cualquier duración. Esta relación lluvia – duración - periodo de retorno es directamente proporcional a la lluvia horaria con un periodo de retorno igual a dos años.

$$hp_T^d = [0.35 Ln(Tr) + 0.76] [0.54d^{0.25} - 0.50] hp_{Tr=2}^d$$

Dónde:

d = Duración en minutos

Tr = Periodo de retorno en años

hpd

T = Altura de precipitación para cualquier duración y para cualquier periodo de retorno

El interés en aplicar la ecuación arriba mostrada, radica en que los registros existentes de lluvias con cortas duraciones son escasos en la zona de estudio. Sin embargo se dispone de registros de lluvias máximas diarias de buena calidad y con longitudes de registro aceptables, por lo cual lluvias con duraciones menores a 24 horas pueden ser evaluadas en relación a ésta, para iguales periodos de retorno.

El éxito de aplicación de la ecuación anterior, radica en la correcta evaluación de la lluvia horaria con un periodo de retorno igual a dos años. Adicionalmente, para la evaluación de la lluvia horaria antes citada, se deberán realizar previamente dos correcciones al valor representativo de la lluvia máxima diaria, estimada en cada una de las estaciones, para un periodo de retorno de dos años. La primera es la corrección por intervalo fijo de observación y la segunda es debida a la reducción del área de la cuenca.

II.2.4. Curvas Precipitación (hp mm) – Duración (d min) – Periodo de retorno (Tr años).

Para la ciudad de Chetumal se calcularon las curvas Precipitación (hp mm) – Duración (d min) – Periodo de retorno (Tr años) y curvas Intensidad (I mm/hr) – Duración (d min) – Período de retorno (Tr años) como el promedio de las curvas de las estaciones 23153 y 23032 y estas lluvias de diseño será usada para fines de la simulación.

Tabla No. 5. Curvas de Precipitación (hp mm) – Duración (d min) – Periodo de retorno (Tr años) para la Ciudad de Chetumal.

Tr (años)	Duración (minutos)									
	5	10	20	30	40	50	60	90	120	1440
2	17.3	25.9	36.2	43.0	48.3	52.7	56.5	65.5	72.5	159.1
5	22.9	34.2	47.7	56.8	63.8	69.6	74.5	86.4	95.7	210.0
10	27.1	40.5	56.5	67.2	75.4	82.3	88.2	102.3	113.2	248.5
20	31.3	46.8	65.2	77.6	87.2	95.1	101.9	118.1	130.7	287.0
25	32.6	48.8	68.0	80.9	90.9	99.1	106.3	123.2	136.4	299.4
50	36.8	55.1	76.8	91.4	102.6	111.9	119.9	139.1	153.9	337.9
100	41.0	61.3	85.5	101.7	114.3	124.6	133.6	154.9	171.4	376.4
200	45.1	67.6	94.2	112.1	126.0	137.4	147.3	170.8	189.0	414.9

Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

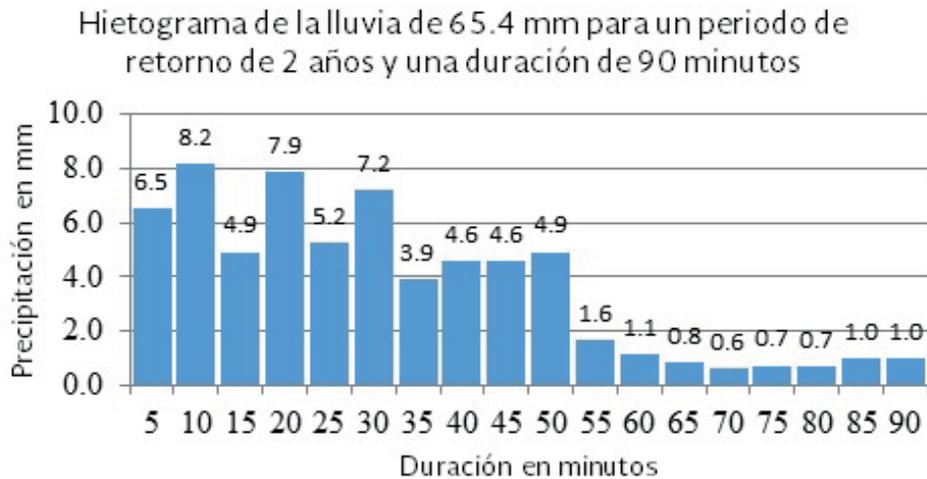
Con la información de las curvas Precipitación (hp mm) – Duración (d min) – Periodo de retorno (Tr años) de la tabla No. 5 y los histogramas adimensionales para las lluvias de proyecto y que son presentados en los Hietogramas para las lluvias tipo para una duración de 90 minutos se muestran en la tabla No. 6 y de las imágenes No. 34 a la No. 40.

Tabla No. 6. Hietograma de la precipitación para una duración de lluvia de 90 minutos y diferentes periodos de retorno.

Forma del Hietograma	Duración (min)	Periodos de Retorno (Tr)							
		2	5	10	20	25	50	100	200
0.1	5	6.5	8.6	10.2	11.8	12.3	13.9	15.5	17.1
0.125	10	8.2	10.8	12.8	14.8	15.4	17.4	19.4	21.3
0.075	15	4.9	6.5	7.7	8.9	9.2	10.4	11.6	12.8
0.12	20	7.9	10.4	12.3	14.2	14.8	16.7	18.6	20.5
0.08	25	5.2	6.9	8.2	9.4	9.9	11.1	12.4	13.7
0.11	30	7.2	9.5	11.2	13.0	13.6	15.3	17.0	18.8
0.06	35	3.9	5.2	6.1	7.1	7.4	8.3	9.3	10.2
0.07	40	4.6	6.0	7.2	8.3	8.6	9.7	10.8	12.0
0.07	45	4.6	6.0	7.2	8.3	8.6	9.7	10.8	12.0
0.075	50	4.9	6.5	7.7	8.9	9.2	10.4	11.6	12.8
0.025	55	1.6	2.2	2.6	3.0	3.1	3.5	3.9	4.3
0.0175	60	1.1	1.5	1.8	2.1	2.2	2.4	2.7	3.0
0.0125	65	0.8	1.1	1.3	1.5	1.5	1.7	1.9	2.1
0.009	70	0.6	0.8	0.9	1.1	1.1	1.3	1.4	1.5
0.011	75	0.7	1.0	1.1	1.3	1.4	1.5	1.7	1.9
0.01	80	0.7	0.9	1.0	1.2	1.2	1.4	1.5	1.7
0.015	85	1.0	1.3	1.5	1.8	1.8	2.1	2.3	2.6
0.015	90	1.0	1.3	1.5	1.8	1.8	2.1	2.3	2.6

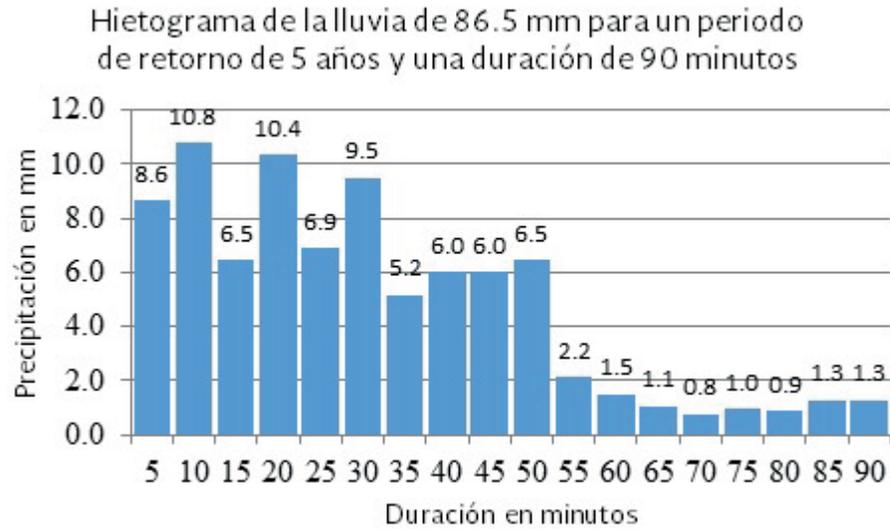
Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 34. Hietograma de la precipitación para una duración de lluvia de 90 minutos y un periodo de retorno de 2 años.



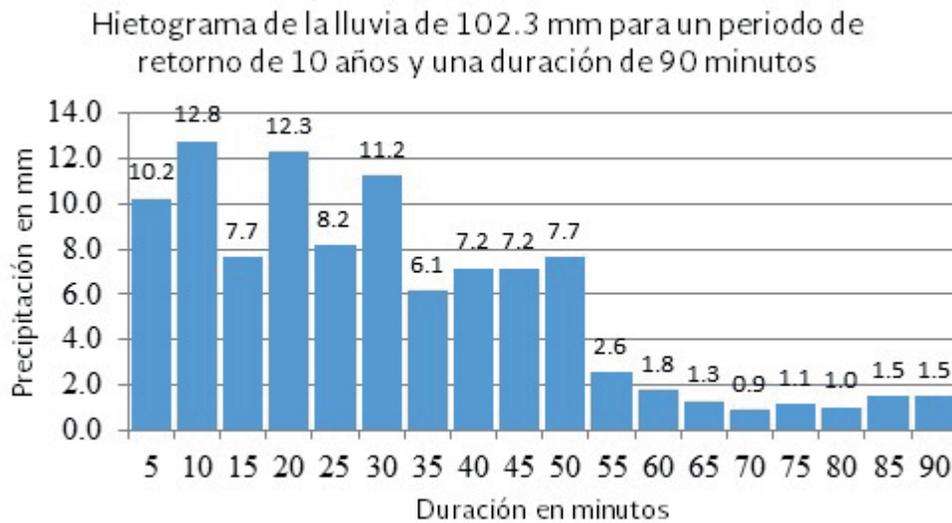
Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 35. Hietograma de la precipitación para una duración de lluvia de 90 minutos y un periodo de retorno de 5 años.



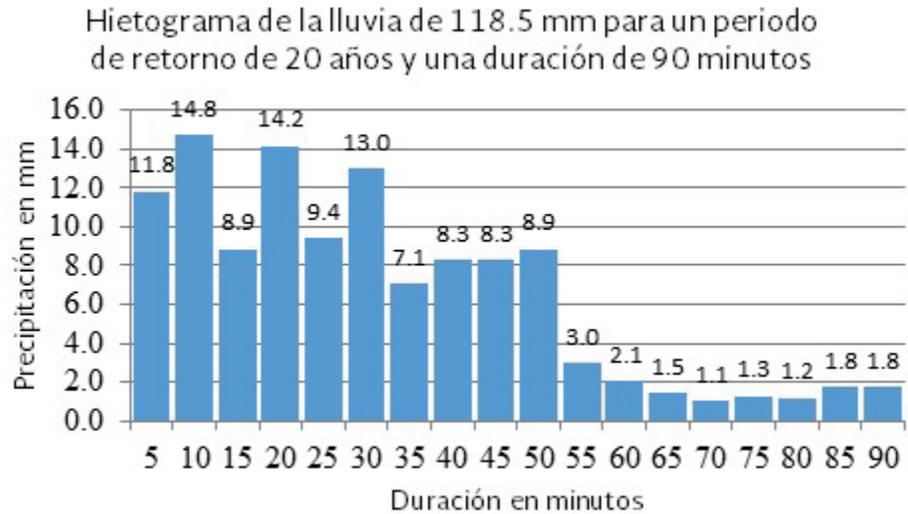
Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 36. Hietograma de la precipitación para una duración de lluvia de 90 minutos y un periodo de retorno de 10 años.



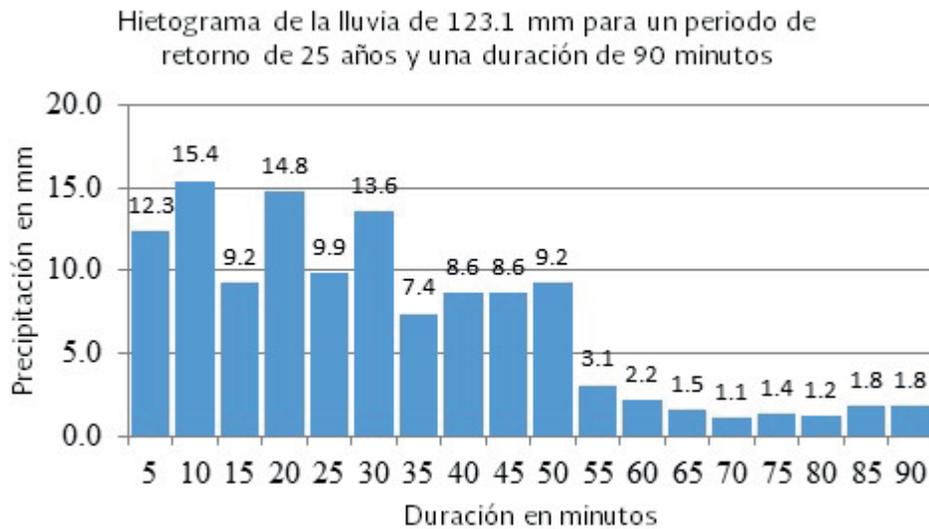
Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 37. Hietograma de la precipitación para una duración de lluvia de 90 minutos y un periodo de retorno de 20 años.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 38. Hietograma de la precipitación para una duración de lluvia de 90 minutos y un periodo de retorno de 25 años.



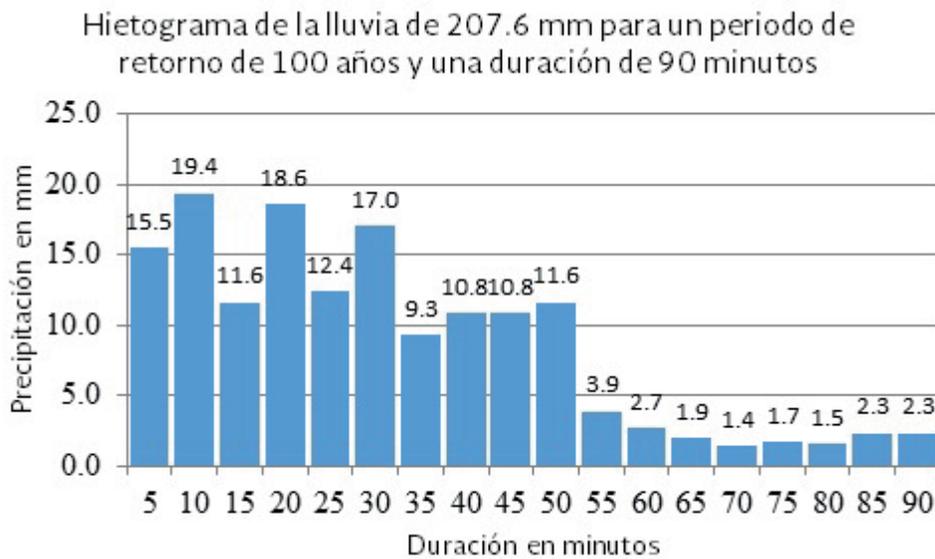
Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 39. Hietograma de la precipitación para una duración de lluvia de 90 minutos y un periodo de retorno de 50 años.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final”, CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 40. Hietograma de la precipitación para una duración de lluvia de 90 minutos y un periodo de retorno de 100 años.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final”, CAPA-IMTA, 2016.

II.3. Modelo de simulación hidráulica.

Un modelo de simulación se puede definir como un instrumento o herramienta que permite representar el comportamiento de un sistema, mediante métodos matemáticos (ecuaciones) o físicos. A partir del siglo XX y con el auge de los equipos de cómputo, esta tarea de representar la realidad por medio de ecuaciones matemáticas se hizo menos compleja, porque los tiempos largos de procesamiento se han reducido y las capacidades de los equipos han aumentado de manera exponencial, a tal grado que en nuestro tiempo estas herramientas se encuentran al alcance de todos.

Los modelos de simulación hidráulica (que representan la realidad de los fenómenos relacionados con el agua por medio de ecuaciones matemáticas), se utilizan preferencialmente en el estudio de

presas, redes de agua potable, alcantarillado y pluvial. Siendo un instrumento importante de diseño, revisión y control del sistema urbano.

Para representar las condiciones de sitio, se requieren analizar y conocer las variables del sistema. Anteriormente se generó la información necesario que requiere el modelo de simulación hidráulica, se obtuvieron las lluvias de proyecto para diferentes probabilidades de ocurrencia, se construyó la configuración del terreno a través del MDE (con y sin infraestructura urbana), se delimitaron las subcuencas y microcuencas de aportación y se caracterizaron a través de coeficientes de escurrimiento, uso del terreno, perímetro, longitud del cauce principal, rugosidad del terreno). Ahora se requiere analizar por medio de un programa que permita conocer la variación de los tirantes y velocidades.

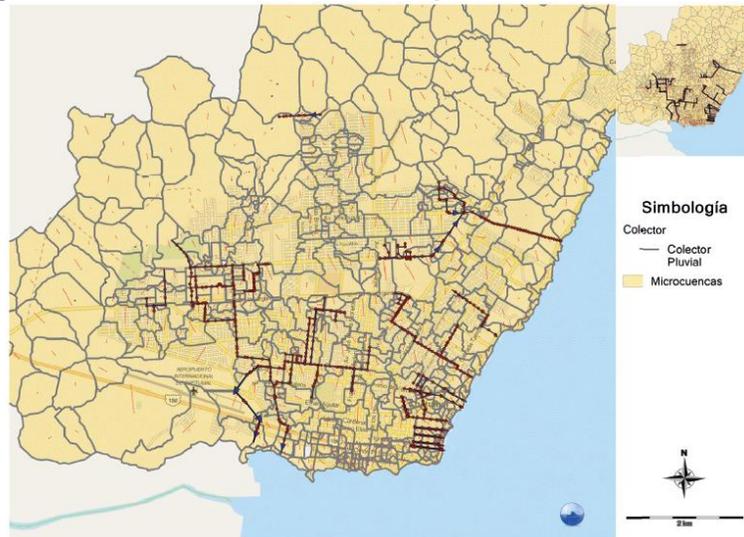
El modelo de simulación hidráulica utilizado es un modelo bidimensional, es decir si se encuentra en un plano de referencia x, y; el agua se pueda desplazar en ambos ejes en el tiempo, este desplazamiento se obtiene a partir de la solución numérica de las ecuaciones bidimensionales de Saint Venant por el método de diferencias finitas por medio de una malla de cálculo.

Para generar un mallado, se toma una ponderación de las elevaciones de acuerdo con tamaño de la retícula, este valor permite analizar el sentido del flujo, la velocidad y nivel del agua para cada intervalo de análisis. Además se pueden trazar diferentes tipos de mallas.

II.4. Parámetros de simulación de alcantarillado pluvial.

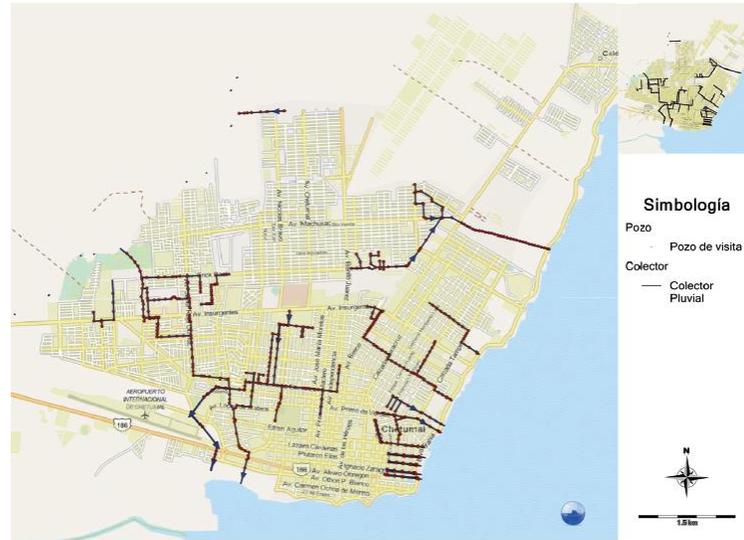
Con base en la información de topografía, planimetría y de uso de suelo se obtuvieron los parámetros hidrográficos de las microcuencas, mismos que serán usados para la conformación del modelo de simulación de colectores pluviales en la plataforma SWMM tal como se muestra en las imágenes No. 41 y 42.

Imagen No. 41. Microcuencas en la plataforma de PCSWMM 2D.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 42. Pozo de visita y colectores pluviales en la plataforma de PCSWMM 2D.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

Para iniciar el proyecto se establecen los parámetros de cálculo: a) el análisis de los escurrimientos estará en unidades de l/s, no se activará el cálculo de la longitud automática de las tuberías y el análisis del tirante iniciará a partir de la profundidad inicial.

Las opciones seleccionadas para la simulación serán: como método de infiltración el método de Horton, el método de cálculo hidráulico se realizará por medio de la onda cinemática, esta opción contribuirá a conocer el comportamiento del fluido con remansos.

El tiempo de análisis de la simulación se establece en una duración que dependerá el tiempo de lluvia introducido al programa. Para el proceso de integración del modelo bidimensional, se comenzará por incorporar la lluvia, por ejemplo para un periodo de retorno determinado y utilizando una distribución predeterminada del programa.

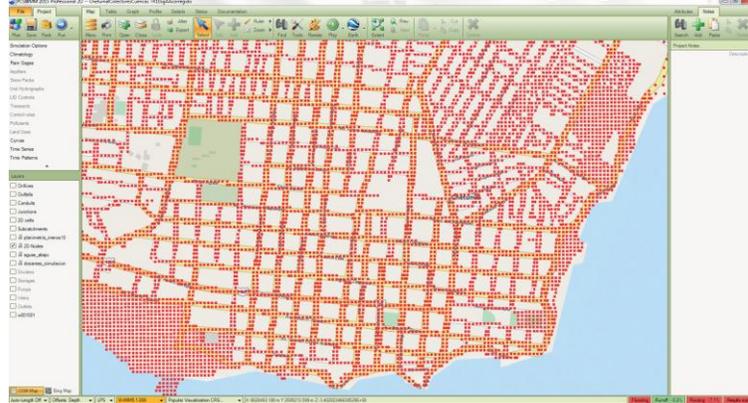
Los datos que se introducirán son: la precipitación total (mm), la distribución de la lluvia (con un intervalo de 5 min para lluvia tipo y 10 minutos de los datos obtenidos por las EMAS).

Para las subcuencas y microcuencas, el programa requiere de los parámetros geomorfológicos (área, pendiente de la cuenca, porcentaje impermeable, coeficientes de rugosidad y de almacenamiento), por lo que por medio de la base de datos generada en arcgis, el programa puede obtener los valores requeridos. Para la malla de análisis del escurrimiento, se generó con retícula cuadrangular de 20 x 20 m, con la cual se realizarán los cálculos para conocer los sentidos del flujo.

Parte de los procesos realizados es la obtención de los nodos para la generación de la malla de cálculo, se decidió utilizar una malla de cálculo irregular que no se ayudara a reducir los tiempos de procesamiento en lugares donde no se requieran un detalle específico (fuera del área del estudio), se tomaron en cuenta las obstrucciones (manzanas), para la zona urbana se ubicaron nodos a una distancia de 15 metros, en las lagunas se colocaron nodos a 50 y 100 metros de distancia. El resultado de los nodos obtenidos se presenta en la imagen No. 43.

El proceso continúa con la generación de la malla de cálculo, con las diferentes distancias de los nodos se construyó una malla irregular, que en la zona urbana contara con celdas rectangulares y en la zona de las lagunas forma hexagonal, con esto se considera una mayor resolución en la parte de las colonias de estudio.

Imagen No. 43. Nodos de cálculo del programa 2D.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

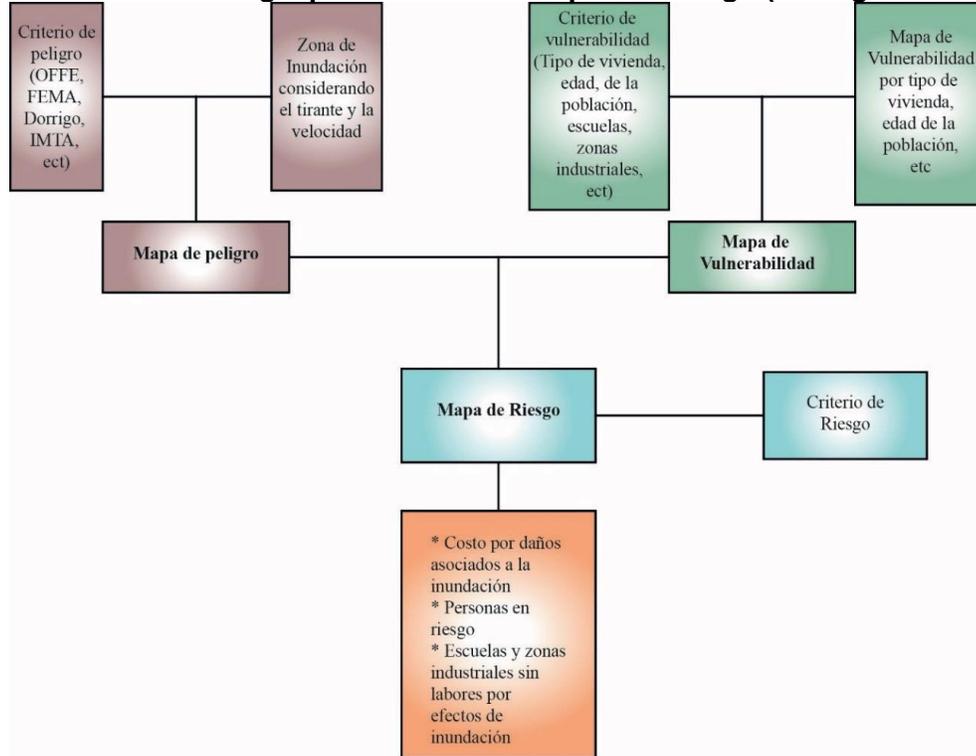
El proceso continúa con la generación de la malla de cálculo, con las diferentes distancias de los nodos se construyó una malla irregular, que en la zona urbana contara con celdas rectangulares y en la zona de las lagunas forma hexagonal, con esto se considera una mayor resolución en la parte de las colonias de estudio.

II.5. Mapas de riesgo por inundación en la zona urbana de Chetumal.

Los mapas de riesgo se definen de acuerdo con lo descrito por Rodríguez et al (2015), donde en la imagen No. 44 primero se determinan los mapas de peligro a partir de un criterio definido y con base en el análisis hidráulico realizado con el modelo en dos dimensiones, en el que se calculan los tirantes y velocidades a lo largo de la ciudad, esto para las lluvias con diferentes periodos de retorno.

Asimismo se obtienen los mapas de vulnerabilidad, de acuerdo a un criterio definido, éste puede calcularse con base en el tipo de vivienda, edad de las personas, zonas escolares, zonas industriales, etc. La unión del mapa de peligro y el mapa de vulnerabilidad y con base en un criterio de riesgo permite calcular los mapas de riesgo, de los cuales se obtienen los costos por daños generados por la inundación para diferentes periodos de retorno.

Imagen No. 44. Metodología para definir los mapas de riesgo (Rodríguez et al, 2015).



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

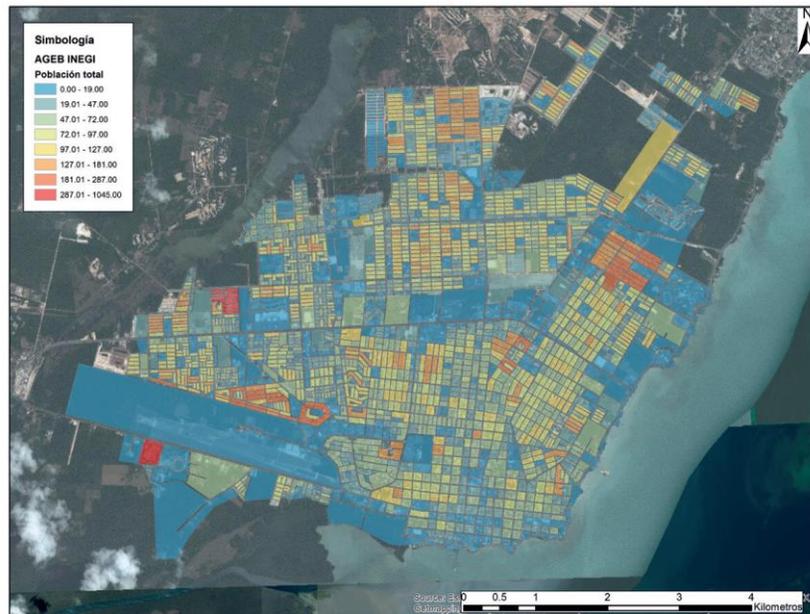
III.5.1. Metodología para los mapas de vulnerabilidad y su aplicación en la ciudad de Chetumal.

La metodología propuesta por Rodríguez et al (2015), toma como referencia información que previamente ya ha sido levantada en campo por el INEGI y que es de utilidad para la generación de los mapas de vulnerabilidad a un costo mínimo. Para obtener los mapas de vulnerabilidad se considera la información contenida en las Áreas Geoestadística Básica (AGEB) que genera el INEGI, la información está contenida en archivos shape file y en éstos se puede encontrar información referente al nivel socioeconómico de la población, población económicamente activa, tipo de vivienda y número de habitantes, entre otros. En total el AGEB contiene 190 variables analizadas por manzana, pero varía dependiendo de lugar en el cual se llevó a cabo el censo.

8.5.1.1. Población afectada.

Con los datos del AGEB, también es posible conocer la población afectada por manzana, en la imagen No. 45 se presenta en tonos rojos las manzanas que tienen una mayor población por manzanas (hasta 1 045 habitantes), caso contrario en color azul se tiene las manzanas con unas menores residentes (teniendo casos menores a 10 habitantes).

Imagen No. 45. Población por manzanas de la ciudad de Chetumal por el AGEB.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final”, CAPA-IMTA, 2016.

III.5.1.2. Rangos de vulnerabilidad y tipos de daños.

De acuerdo a una recopilación histórica de eventos extremos realizada por CENAPRED – SEGOB, en la cual trataron de estimar la vulnerabilidad de cada municipio que componen el país, en la cual se tomó en cuenta la ocurrencia de decesos y monto en daños generados por algún evento hidrometeorológico, se elaboró la clasificación de la vulnerabilidad (ver tabla 7) en donde se establecen tres rangos: Vulnerabilidad Alta, en el que se presentan decesos, daños extraordinarios a las edificaciones y en el cual se ubicaron asentamientos irregulares dentro de los cauces de ríos y arroyos, así como en planicies de inundación o comunidades localizadas aguas abajo de obras hidráulicas como presas o bordos. Vulnerabilidad Media, no se presentan decesos y los daños a la infraestructura de la ciudad son moderados. Vulnerabilidad Baja, no se presentan asentamientos irregulares y el sistema de drenaje es eficiente

Tabla No. 7. Clasificación de la vulnerabilidad (CENAPRED - SEGOB, 2013).

Vulnerabilidad	Efectos
Alta	<ul style="list-style-type: none"> • Decesos • Daños Extraordinarios • Asentamientos irregulares en cauces, planicies de inundación o agua abajo de presas o bordos
Media	<ul style="list-style-type: none"> • Sin Decesos • Daño moderado
Baja	<ul style="list-style-type: none"> • No hay asentamientos irregulares • Sistema de drenaje eficiente • Daños mínimos

Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final”, CAPA-IMTA, 2016.

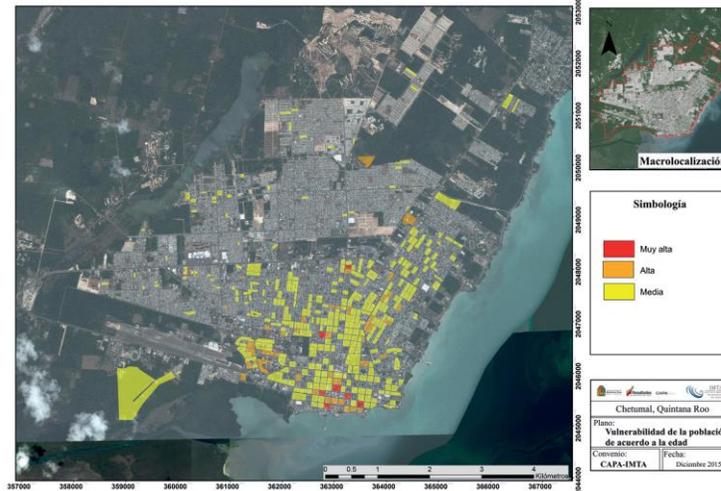
II.5.1.3. Mapas de vulnerabilidad de la población.

De acuerdo con Rodríguez et al (2015), de la información contenida en el AGEB se seleccionan las variables que involucran a la población más vulnerable, para esto se eligen la población mayor a

60 años y la población menor a cinco años. Ya que en caso de tener una emergencia de tipo hidrometeorológica son los más vulnerables. Con esta información se calcula el Índice de población vulnerable por manzana con la ecuación siguiente.

$$\text{Índice población Vulnerable} = \frac{(\text{Población} > \text{a } 60 \text{ años} + \text{población} < \text{a } 5 \text{ años})}{(\text{Población Total})}$$

Imagen No. 46. Vulnerabilidad de la población por manzana de acuerdo a la edad.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

8.5.1.4. Mapa de vulnerabilidad considerando las viviendas con piso de tierra.

En la parte de la vulnerabilidad de la infraestructura se determinó con base en un estudio de la Secretaria de Desarrollo Social (SEDESOL, 2013) que permite estimar las viviendas en pobreza. La SEDESOL especifica el Índice de Vivienda vulnerable en el cual se consideran las viviendas con piso de tierra o viviendas sin electricidad. El índice se calcula por manzana de acuerdo a la ecuación siguiente.

$$\text{Índice de vivienda vulnerable} = \frac{\text{Vivienda con piso de tierra}}{\text{Viviendas totales}}$$

La imagen No. 47 muestra las zonas más desprotegidas se ubican en la parte norte de la ciudad y en la zona sur este de la misma.

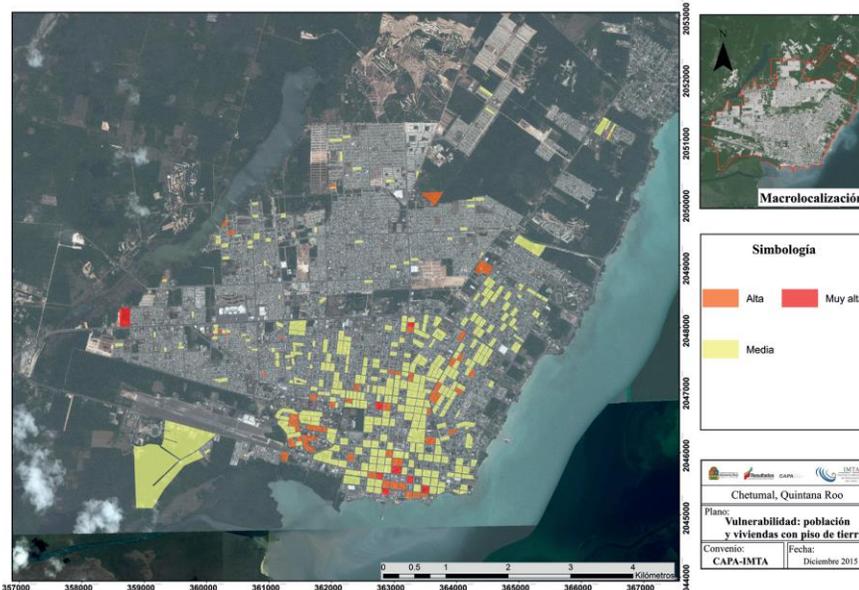
Imagen No. 47. Vulnerabilidad de las viviendas por manzana.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final^o, CAPA-IMTA, 2016.

Para obtener el mapa de vulnerabilidad de la ciudad se considera la unión entre el mapa de vulnerabilidad de la población más el mapa de vulnerabilidad de las viviendas (ver imagen No. 48), en este se considera la población, así como las viviendas vulnerables.

Imagen No. 48. Mapa de vulnerabilidad de la ciudad de Chetumal, considerando la población y las viviendas con piso de tierra.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final^o, CAPA-IMTA, 2016.

II.5.1.5. Mapa de vulnerabilidad por tipo de vivienda.

La metodología propuesta por Rodríguez et al (2015), utiliza los datos por manzana, el número de viviendas particulares habitadas con un solo cuarto, viviendas particulares habitadas con dos cuartos; viviendas particulares habitadas con 3 cuartos y más, además de la población económicamente activa, con esta información se puede determinar los tipos de vivienda y por tanto el grado de vulnerabilidad de las construcciones para la ciudad de Chetumal, Quintana Roo, como

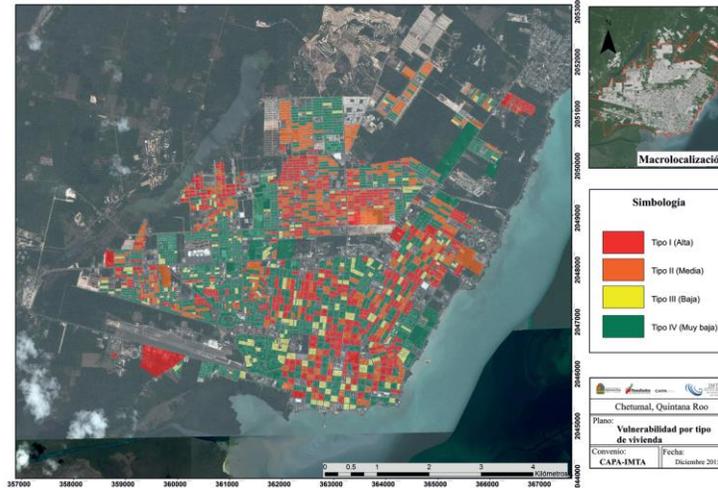
se indica en la tabla 8 y con base en las características encontradas se genera el mapa de vulnerabilidad de la ciudad, ver imagen No. 49

Tabla No. 8. Vulnerabilidad por tipo de vivienda obtenida del análisis de información contenida en la AGEB (IMTA, 2015).

Construcción de viviendas en la manzana	Color	Descripción	Vulnerabilidad	Costo del menaje
Tipo I	Rojo	Para este rubro se consideró como indicador la relación entre el número de viviendas particulares habitadas con un solo cuarto entre el total de viviendas, si la relación por manzana es mayor a 0.20 entonces las construcciones de la manzana se considera que es del Tipo I	Alta	\$12,500.00
Tipo II	Naranja	Para este tipo se consideró la relación de viviendas particulares habitadas con dos cuartos entre el Total de viviendas, si la relación es mayor a 0.20 y no está en el Tipo I, se considera que las construcciones de viviendas en la manzana son del Tipo II.	Media	\$ 50,000.00
Tipo III	Amarillo	En este caso se considera la relación entre viviendas particulares habitadas con tres cuartos o más entre el total de viviendas si el valor es mayor a 0.5 se evalúa entonces la relación entre la población económicamente activa entre la población total, que debe ser menor a 0.4, se deberán descartar las manzanas que caen en el Tipo I y II.	Baja	Menaje para casa de dos pisos \$ 150,500.00 Para el daño en menaje se considera la mitad de este costo, ya que las casas se consideran de dos pisos
Tipo IV	Verde	Se considera la relación entre viviendas particulares habitadas con tres cuartos o más entre el total de viviendas si el valor es mayor a 0.5 se evalúa entonces la relación entre la población económicamente activa entre la población total, que debe ser mayor 0.4, se deberán descartar las manzanas que están en los tipos anteriores.	Muy Baja	Menaje para casa de dos pisos \$ 300,000.00 Para el daño se considera la mitad de este costo ya que las casas se consideran de dos pisos

Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 49. Mapa de vulnerabilidad por tipo de vivienda.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final⁹, CAPA-IMTA, 2016.

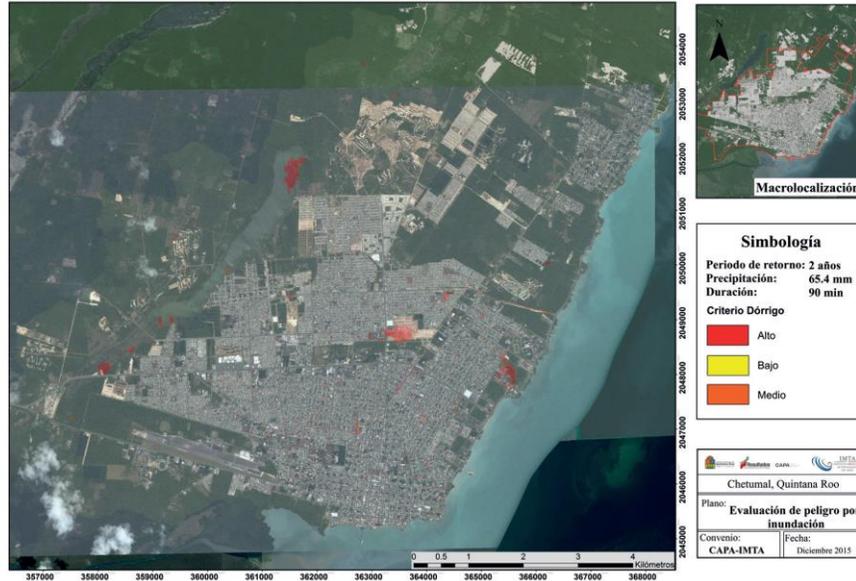
8.5.1.6. Mapas de Peligro.

El peligro de inundación se puede definir con base en ciertos criterios, éstos pueden ser el tirante y la velocidad del agua alcanzada en las calles, ríos o arroyos. Al desbordamiento del cauce natural de los ríos se le conoce como inundación fluvial. Cuando se debe a un escurrimiento de lluvias dentro de una zona urbana y después de saturarse el suelo su agua excedente dura horas o días se le denomina inundación pluvial. Existen otros fenómenos que pueden provocar una inundación, como las mareas altas que deriva que el nivel medio del mar sea rebasado provocando inundaciones costeras, otro fenómeno que puede provocar una inundación son los tsunamis, o la falla de una obra hidráulica (CENAPRED, 2006).

El criterio utilizado para la generación de mapas de peligro es el denominado Dórrigo, debido a que de una evaluación realizada por Rodríguez et al (2015), determina que este método genera un valor máximo en los factores de peligro medio y alto, esto corresponder a tener una mayor prevención en la vulnerabilidad de la población y sus bienes.

A partir del modelo de simulación ID-2D generado y de acuerdo al criterio Dórrigo se generaron los mapas de peligro por inundación en la ciudad de Chetumal. De la imagen No. 50 a la 55 se aprecian para las diferentes precipitaciones que corresponden a un periodo de retorno de 2, 5, 10, 15, 50 y 100 años.

Imagen No. 50. Evaluación de peligro para un periodo de retorno de 2 años.



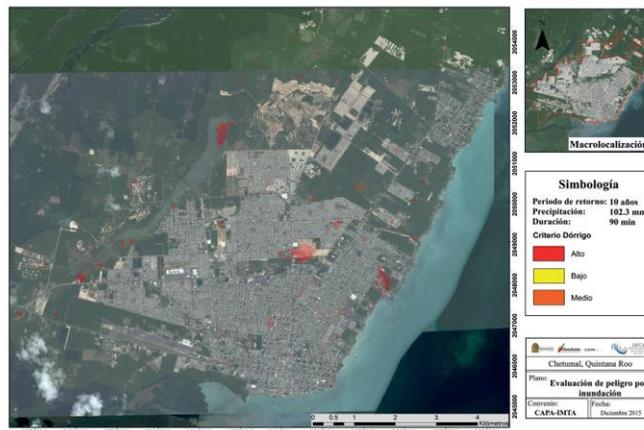
Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final^o, CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 51. Evaluación de peligro para un periodo de retorno de 5 años.



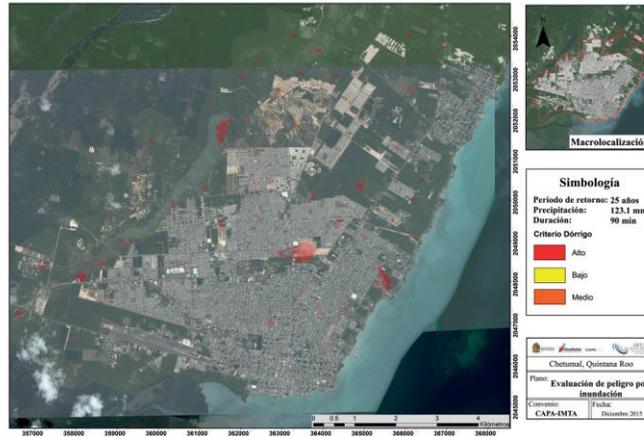
Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final^o, CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 52. Evaluación de peligro para un periodo de retorno de 10 años.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final^o, CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 53. Evaluación de peligro para un periodo de retorno de 25 años.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 54. Evaluación de peligro para un periodo de retorno de 50 años.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 55. Evaluación de peligro para un periodo de retorno de 100 años.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

II.5.1.8. Generación de mapas de tirantes para diferentes periodos de retomo.

En las imágenes 56 a 61 se observan los tirantes mayores a 0.25 m para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años. En ellos se muestran las zonas más vulnerables de la ciudad de Chetumal.

Imagen No. 56. Tirantes mayores a 0.25 m para el periodo de retorno de 2 años.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final^o, CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 57. Tirantes mayores a 0.25 m para el periodo de retorno de 5 años.



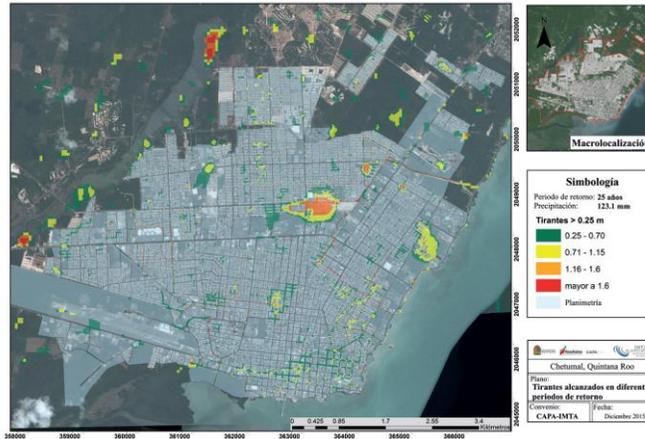
Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final^o, CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 58. Tirantes mayores a 0.25 m para el periodo de retorno de 10 años.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final^o, CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 59. Tirantes mayores a 0.25 m para el periodo de retorno de 25 años.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final^o, CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 60. Tirantes mayores a 0.25 m para el periodo de retorno de 50 años.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final^o, CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 61. Tirantes mayores a 0.25 m para el periodo de retorno de 100 años.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final^o, CAPA-IMTA, 2016.

II.6. Metodología para la elaboración de mapas de riesgo de daño estructural en vivienda por efectos de inundación.

Para la evaluación del daño considerando, el daño estructural que puede generarse una casa de acuerdo al análisis realizado por Rodríguez et al (2015), donde se especifica que a partir de una altura de 1.599 m de agua se puede presentar daños por el efecto del cortante en las paredes de la vivienda, ver tabla No. 9.

Tabla No. 9. Criterio de riesgo para determinar el posible daño estructural en función de la vulnerabilidad de las viviendas de acuerdo a los datos manejados por la Tabla 5.7 del estudio de riesgo de inundaciones en zonas urbanas de la República Mexicana (IMTA, 2015).

Vulnerabilidad por tipo de vivienda	Daño estructural	
	Corte Tirante máximo (m)	Vuelco Tirante máximo (m)
Muy Baja (Tipo IV)	1.559	4.29
Baja (Tipo III)	1.559	4.29
Media (Tipo II)	1.559	1.39
Alta (Tipo I)	1.513	1.37

Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

Esto reflejaría un costo por reparaciones, por lo que de acuerdo Vélez et al., (2014) genera una curva de daño a la infraestructura con respecto al tirante, donde toma un valor de \$85.000 pesos, para el tipo de vivienda I. La tabla 10 contiene los valores debido al daño estructural, dependiendo al tipo de vivienda y vulnerabilidad.

Tabla No. 10. Costo del daño estructural por tipo de vivienda (Vélez 2014)

Vulnerabilidad	Tipo de vivienda	Costo por daño estructural
Muy Alta	I	\$ 85,000
Alta	II	\$ 77,000
Media	III	\$ 69,000
Baja	IV	\$ 61,000
Muy Baja	V	\$ 53,000

Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

Sobreponiendo el mapa de peligro con lluvia vinculada a un periodo de retorno que va desde los 2 hasta los 100 años, se puede establecer el costo total de daño por falla estructural, que puede generarse (tabla No. 11).

Tabla No. 11. Costo por daño estructural para los diferentes escenarios analizados.

Periodo de retorno (años)	Costo por daño estructural (pesos)
2	\$26,659,050.00
5	\$30,156,950.00
10	\$34,767,060.00
25	\$37,412,900.00
50	\$40,141,370.00
100	\$67,990,250.00

Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

III.7. Generación de mapas de riesgo de daño estructural en vivienda en la ciudad de Chetumal para diferentes periodos de retorno.

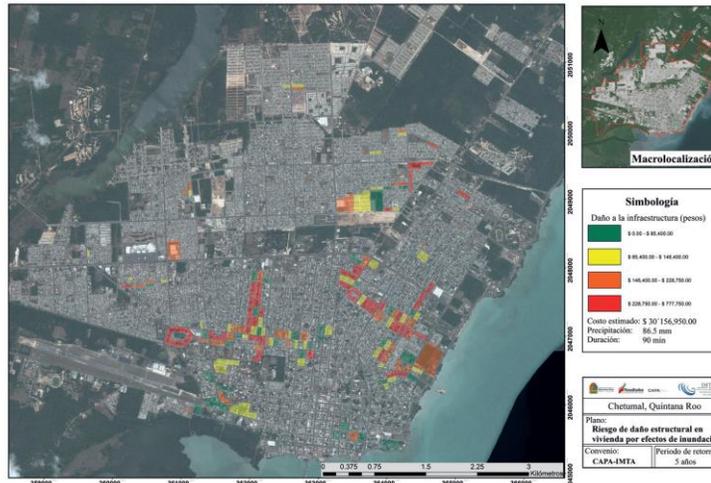
En las imágenes 62 a 67, se presentan los mapas con clasificaciones de los costos asociados al daño estructural por riesgo de inundación.

Imagen No. 62. Costo de daños generados a la infraestructura de las viviendas, periodo de retorno 2 años.



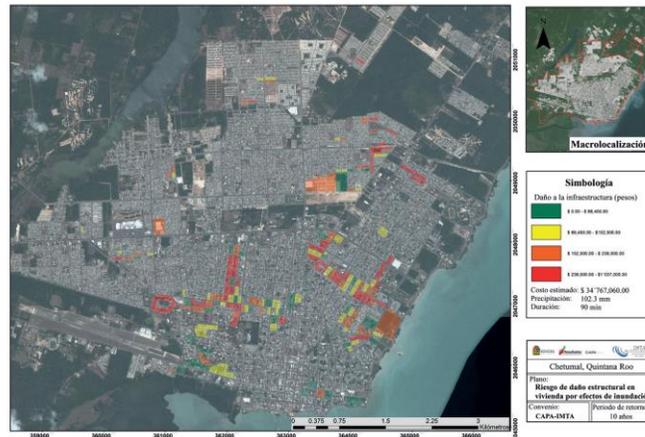
Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final”, CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 63. Costo de daños generados a la infraestructura de las viviendas, periodo de retorno 5 años.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final”, CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 64. Costo de daños generados a la infraestructura de las viviendas, periodo de retorno 10 años.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 65. Costo de daños generados a la infraestructura de las viviendas, periodo de retorno 25 años.

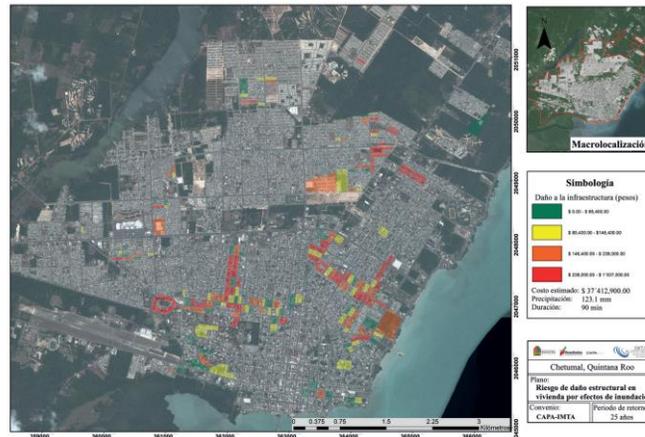
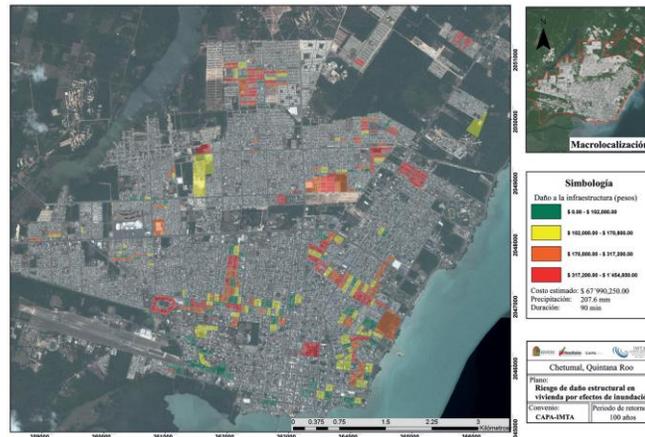


Imagen No. 66. Costo de daños generados a la infraestructura de las viviendas, periodo de retorno 50 años.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 67. Costo de daños generados a la infraestructura de las viviendas, periodo de retorno 100 años.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final”, CAPA-IMTA, 2016.

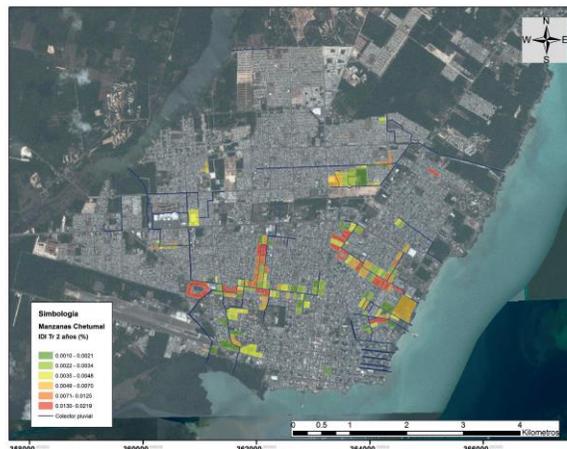
II.8. Cálculo del Índice contra inundaciones (ICI).

A partir de los mapas de las zonas inundables de acuerdo a la topografía de la ciudad se realizó el cálculo del índice contra inundaciones obteniéndose de la siguiente expresión:

$$ICI(\%) = \left(\frac{\text{Población urbana sin o con bajo riesgo de sufrir inundaciones en época de lluvias}}{\text{Población total de la localidad (habitantes)}} \right) (100)$$

Entendiéndose que la población urbana con riesgo medio o alto de sufrir inundaciones en época de lluvias, se refiere a lo siguiente: los habitantes que por estar asentados en zonas topográficamente “medias o altas”, prácticamente, corren riesgo de inundaciones. Los habitantes que no disponen de una infraestructura de captación, conducción, protección y control o regulación del agua pluvial; ya que al presentarse una lluvia extraordinaria que rebase la tormenta de diseño de dicha infraestructura los afectaría de gran manera. En las imágenes 68 a 73 se muestran los diferentes índices de inundaciones para los diferentes periodos de retorno.

Imagen No. 68. ICI para el periodo de retorno de 2 años.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final”, CAPA-IMTA, 2016.

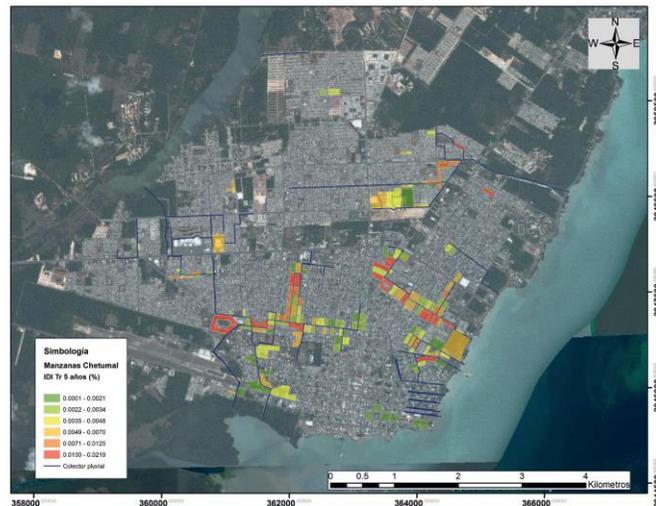
La imagen No. 68 muestra el índice de inundaciones para el periodo de retorno de 2 años en el cual se puede apreciar que se abarca un rango en porcentaje de 0.001 a 0.02 % para cada manzana generada a partir de la información proporcionada del AGEB. Tal como se mencionó

anteriormente el 7.27 % de la población presenta el riesgo de sufrir daños por las inundaciones en la época de lluvias. Cabe mencionar que los datos que se tomaron en cuenta para la generación del escenario son una lluvia de 65.4 mm, con una duración de 90 min.

Asimismo en la ilustración se plasman los colectores pluviales existentes, con esto se puede dar una idea de que aunque con la obra de desalojo se le puede atribuir una falta de capacidad de desalojo o mantenimiento.

La imagen No. 69 muestra el índice de inundaciones para el periodo de retorno de 5 años maneja un rango en porcentaje similar al periodo de retorno anterior. Para este periodo la ciudad de Chetumal se presenta un 8.09 % de la población la cual puede tener algún riesgo de sufrir inundaciones en épocas de lluvia. Cabe mencionar que los datos que se tomaron en cuenta para la generación del escenario son una lluvia de 86.5 mm, con una duración de 90 min.

Imagen No. 69. ICI para el periodo de retorno de 5 años.



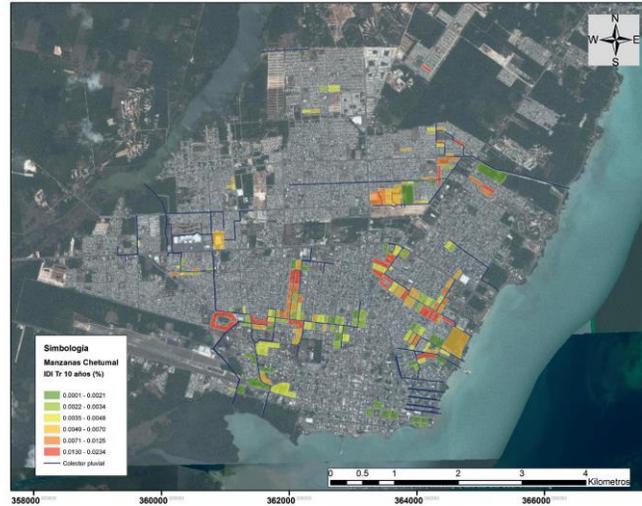
Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final¹⁷, CAPA-IMTA, 2016.

La imagen No. 70 muestra el índice de inundaciones para el periodo de retorno de 10 años maneja un rango en porcentaje de 0.001 al 0.023% con lo cual el 8.8 % de la población puede tener algún riesgo de sufrir inundaciones en épocas de lluvia. Cabe mencionar que los datos que se tomaron en cuenta para la generación del escenario son una lluvia de 102.3 mm, con una duración de 90 min.

La imagen No. 71 muestra el índice de inundaciones para el periodo de retorno de 25 años el cual maneja un rango en porcentaje de 0.001 al 0.028%, con lo cual el 9.43% de la población puede tener algún riesgo de sufrir inundaciones en épocas de lluvia. Cabe mencionar que los datos que se tomaron en cuenta para la generación del escenario son una lluvia de 123.1 mm, con una duración de 90 min.

La imagen No. 72 muestra el índice contra inundaciones para el periodo de retorno de 50 años el cual maneja un rango en porcentaje de 0.001 a 0.028% similar al periodo anterior, con lo cual el 10.06% de la población puede tener algún riesgo de sufrir inundaciones en épocas de lluvia. Cabe mencionar que los datos que se tomaron en cuenta para la generación del escenario son una lluvia de 138.9 mm, con una duración de 90 min.

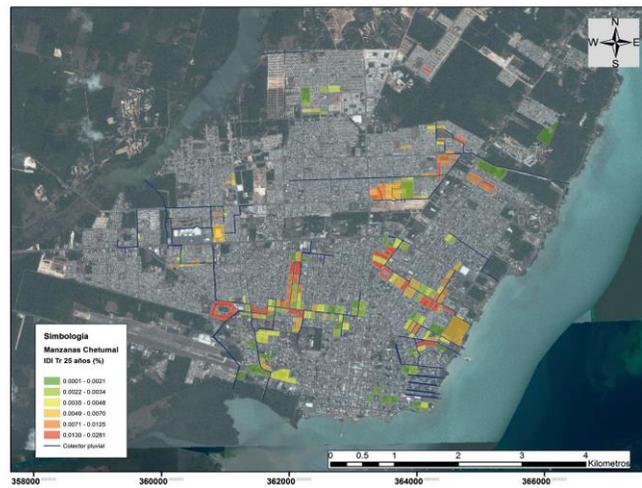
Imagen No. 70. ICI para el periodo de retorno de 10 años.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final^o, CAPA-IMTA, 2016.

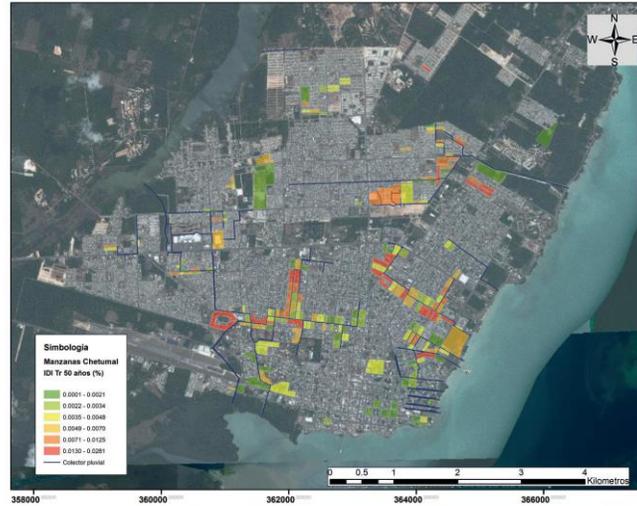
La imagen No. 73 muestra el índice de inundaciones para el periodo de retorno de 100 años el cual maneja un rango en porcentaje de 0.001 a 0.042%, con lo cual el 13.83% de la población puede tener algún riesgo de sufrir inundaciones en épocas de lluvia. Cabe mencionar que los datos que se tomaron en cuenta para la generación del escenario son una lluvia de 207.6 mm, con una duración de 90 min.

Imagen No. 71. ICI para el periodo de retorno de 25 años.



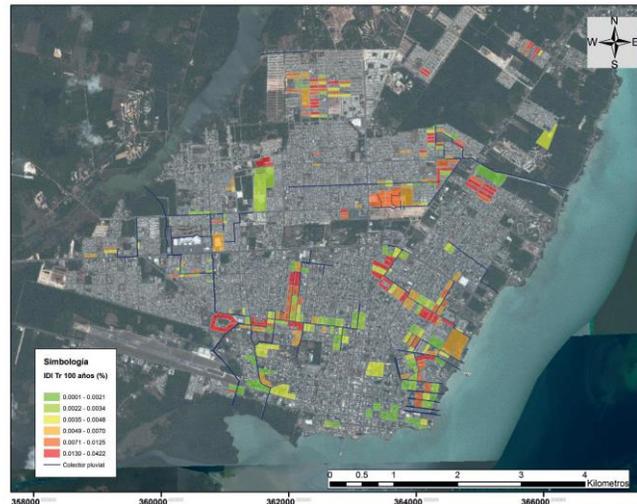
Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final^o, CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 72. ICI para el periodo de retorno de 50 años.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final¹⁹, CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 73. ICI para el periodo de retorno de 100 años.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final¹⁹, CAPA-IMTA, 2016.

II.10. Calles afectadas por las inundaciones.

Ante las inundaciones en zonas urbanas, es muy recurrente que las vialidades se vean afectadas por el paso de las precipitaciones intensas dejando problemas de inaccessibilidad de vehículos y personas. Esto afecta todo tipo de actividades dentro de la región y genera, cuando el agua se encuentra anegada problemas de salud.

Considerándose que para la ciudad de Chetumal de acuerdo con los datos del AGEB se tienen 557.96 km de vialidades, se tiene una longitud de afectación vial que va de los 47 a los 124 km (ver tabla No. 12). Por ejemplo se puede mencionar que para un periodo de retorno de 100 años se tiene un 22.24% de afectaciones viales en la ciudad de Chetumal.

Tabla No. 12. Variables de afectación vial por periodo de retorno.

Afectación	Periodo de retorno					
	Tr 2 años	Tr 5 años	Tr 10 años	Tr 25 años	Tr 50 años	Tr 100 años
Km	47.190	57.774	.65.839	78.686	89.314	124.070
Coefficiente Adimensional	0.085	0.104	0.118	0.141	0.160	0.222
Coefficiente Porcentaje (%).	8.46	10.35	11.80	14.10	16.01	22.24

Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final^o, CAPA-IMTA, 2016.

II.11. Tirantes de inundación en diferentes colonias de Chetumal.

Bajo los diferentes escenarios generados por el modelo de simulación hidráulica se puede trabajar en generar por colonia los niveles a los que puede llegar una inundación. En la tabla No. 13 se presenta en las colonias más afectadas ante las precipitaciones intensas, donde se tienen los diferentes tirantes que se puede llegar a presentar para cada periodo de retorno en puntos específicos de algunas colonias.

Tabla No. 13. Evolución de los tirantes de inundación para cada periodo de retorno.

Colonias	Calles	Coordenadas UTM		Periodo de retorno (años)					
		X	Y	2	5	10	25	50	100
				Tirante máximo (m)					
Barrio Bravo	Othón P. Blanco	364055.33	2045400.35	1.41	1.63	1.75	1.91	2.03	2.14
	Heroico colegio militar	364077.287	2045491.75	1.15	1.29	1.42	1.6	1.73	1.84
	Lázaro Cárdenas	364121.364	2045906.39	1.26	1.33	1.37	1.43	1.48	1.67
	Héroes de Chapultepec	364011.206	2046082.39	1.15	1.21	1.40	1.56	1.62	1.83
Plutarco Elías calles	16 de septiembre	363308.695	2045510.5	1.58	1.81	1.97	2.09	2.11	2.14
	Álvaro Obregón	363439.346	2045620.41	1.39	1.61	1.82	2.1	2.27	2.45
	Reforma	363593.339	2045598.2	1.15	1.31	1.44	1.61	1.73	1.98
	Ignacio Zaragoza	363307.004	2045752.65	0.57	0.65	0.71	0.78	0.83	1.01
Centro	Francisco I. Madero	362667.958	2045378.13	1.03	1.19	1.31	1.44	1.55	2.01
	Independencia	362801.229	2045378.08	0.96	1.15	1.31	1.47	1.48	1.5
	Álvaro Obregón	362316.528	2045726.44	0.53	0.61	0.67	0.75	0.85	1.11
	Benito Juárez	362931.572	2045532.5	0.51	0.6	0.65	0.73	0.78	0.97
	Ignacio Zaragoza	363043.639	2045776.74	0.52	0.61	0.66	0.74	0.79	0.98
Lomas del Caribe	1	361179.176	2045934.76	0.7	0.76	0.86	1.12	1.3	3.85
	1	361213.889	2046011.65	0.58	0.61	0.67	0.93	1.11	3.69
Villas de Chetumal	Chiapas	361141.126	2045836.19	0.39	0.57	0.69	0.76	0.81	1.08
Fracc. Campestre	Efraín Aguilar	361673.962	2046454.73	0.38	0.41	0.43	0.45	0.47	0.52
	Presa de la amistad	361657.075	2046589.82	0.44	0.47	0.49	0.51	0.52	0.58
	Hidroeléctrica el infiernillo	361990.86	2046240.76	0.28	0.3	0.31	0.32	0.33	0.4
	Adolfo López Mateos	361392.524	2046701.44	0.35	0.38	0.4	0.43	0.44	0.51
Italia	Venustiano Carranza	361680.062	2046935.47	0.37	0.46	0.51	0.57	0.59	0.72
	Sicilia	361655.123	2047006.14	0.5	0.59	0.64	0.69	0.72	0.85
	Bolonia	361680.079	2046988.47	0.41	0.5	0.56	0.61	0.64	0.77
Fracc. Flamboyanes	Venustiano Carranza	361040.814	2046942.55	0.5	0.53	0.54	0.55	0.56	0.6

Colonias	Calles	Coordenadas UTM		Periodo de retorno (años)					
		X	Y	2	5	10	25	50	100
				Tirante máximo (m)					
8 de Octubre	San Salvador	361611.339	2047031.72	0.48	0.57	0.62	0.67	0.69	0.82
		361569.364	2047094.39	0.47	0.56	0.62	0.67	0.7	0.83
	Palermo	361392.811	2047204.63	1.28	1.31	1.34	1.37	1.4	1.5
	San Salvador	361547.432	2047118.86	0.31	0.39	0.45	0.5	0.53	0.65
	Bugambilias	361150.827	2047490.2	0.29	0.32	0.34	0.37	0.38	0.45
	5	361216.956	2047292.15	0.29	0.31	0.34	0.36	0.37	0.42
	7	361195.361	2047205.45	0.25	0.26	0.27	0.29	0.3	0.34
Josefa Ortiz de Domínguez	Sicilia	361741.382	2047776.66	0.79	0.81	0.83	0.84	0.85	0.89
	2	361371.246	2047711.28	0.68	0.71	0.73	0.75	0.76	0.79
	Bugambilias	361657.45	2047468.34	0.42	0.44	0.46	0.47	0.49	0.53
Aserradero	Justo Sierra	361963.593	2047292.47	0.87	0.92	0.94	0.96	0.98	1.04
	Venecia	361963.479	2047226.7	0.72	0.76	0.78	0.8	0.82	0.88
	Génova	361877.804	2047182.54	0.36	0.39	0.4	0.42	0.43	0.48
Venustiano Carranza	José Ma. Morelos	362713.237	2046808.39	0.82	0.9	0.96	1.02	1.07	1.23
	San Salvador	362735.546	2046940.33	1.09	1.17	1.22	1.29	1.33	1.5
	Plan de Guadalupe	362777.157	2046919.29	0.84	0.92	0.98	1.04	1.09	1.25
Leona vicario	Camelias	362712.842	2047073.26	0.91	0.99	1.05	1.11	1.16	1.32
	Emiliano Zapata	362712.954	2047143.55	0.88	0.95	1.01	1.08	1.12	1.29
	Hermenegildo Galeana	362658.815	2047051.41	0.63	0.71	0.77	0.83	0.88	1.04
	Anastasio Guzmán	362779.36	2047974.19	0.5	0.53	0.55	0.58	0.6	0.67
David Gustavo	Camelias	362758.906	2047067.02	0.91	0.99	1.05	1.11	1.16	1.32
	Francisco I. Madero	362847.264	2046962.19	0.41	0.49	0.54	0.61	0.65	0.81
	Independencia	362999.323	2047182.43	0.42	0.5	0.55	0.62	0.66	0.83
	Benito Juárez	363109.684	2047292.62	0.93	0.98	1.04	1.1	1.15	1.31
Colonia Ley Federal del agua	Juan José Siordia	363482.513	2047754.29	1.16	1.2	1.23	1.26	1.27	1.34
	Anastasio Guzmán	363505.808	2047839.26	0.58	0.62	0.65	0.68	0.69	0.75
	Presa de la angostura	363416.723	2047686.67	0.53	0.57	0.6	0.63	0.64	0.71
S.A.H.O.P.	Luis E. Bracamontes	363591.458	2047970.07	0.42	0.48	0.51	0.54	0.55	0.62
	Marciano González	363637.467	2048023.71	0.46	0.49	0.51	0.54	0.55	0.59
	Mariano García	363681.262	2048090.6	0.26	0.29	0.31	0.33	0.34	0.38
Adolfo López Mateos	Caobas	363614.06	2047446.69	0.62	0.64	0.66	0.67	0.68	0.72
	Manuel M. Diéguez	363878.224	2047204.43	0.94	0.97	0.99	1.02	1.04	1.09
	Felipe Ángeles	363940.517	2047227.35	1.22	1.24	1.27	1.3	1.31	1.36
	Francisco J. Mujica	363991.201	2047203.09	1.16	1.21	1.24	1.26	1.27	1.32
	José Luis Moya	364125.289	2046985.31	1.05	1.12	1.16	1.21	1.24	1.38
	Manuel M. Diéguez	364273.96	2046981.61	0.88	0.95	0.99	1.04	1.08	1.21
	Felipe Carrillo Puerto	363858.585	2046676.49	1.55	1.73	1.77	1.81	1.87	2.06
	Heriberto Frías	364387.18	2047270.22	1.3	1.35	2.02	2.04	2.05	2.08
	Segundo Periférico	364561.757	2047291.75	0.87	0.94	0.98	1.03	1.06	1.19
	Insurgentes	364430.045	2047754.01	0.5	0.52	0.53	0.54	0.55	0.58
Primera Legislatura	Agustín E. Melgar	363988.847	2046388.98	1.1	1.13	1.16	1.19	1.2	1.37
	Heriberto Jara	363703.409	2046566.5	1.37	1.38	1.4	1.41	1.42	1.45
	Josefa Ortíz de Domínguez	363988.968	2046456.03	1.48	1.49	1.5	1.52	1.55	1.68
Aarón Merino Fernández	Lucio Bravo	364320.583	2046588.31	0.51	0.7	1.03	1.09	1.12	1.21
	Futura	364165.232	2046676.26	0.6	0.79	0.92	1	1.04	1.22
	Ruíz Cortínez	364055.914	2046544.39	0.45	0.64	0.77	0.84	0.89	1.06

Colonias	Calles	Coordenadas UTM		Periodo de retorno (años)					
		X	Y	2	5	10	25	50	100
				Tirante máximo (m)					
Frac. Reforma	José Ma. Pino Suárez	364978.134	2047973.86	0.56	0.58	0.59	0.61	0.63	0.66
	José Ma. Izazaga	364911.979	2047862.62	0.5	0.51	0.53	0.54	0.56	0.59
5 de Abril	Aquiles Serdán	365396.284	2048370.44	0.95	1.09	1.13	1.15	1.17	1.21
	Matamoros	365353.353	2048324.16	0.95	1.09	1.13	1.15	1.16	1.22
	Jesús Urueta	365309.325	2048259.14	0.32	0.47	0.51	0.52	0.53	0.59
Del Bosque	Cedro	364978.882	2049119.48	1.28	1.46	1.66	1.95	2.16	2.69
	Almendro	365661.075	2048856.58	0.93	0.95	0.96	0.97	0.98	1
Frac. Club Residencial Andara	Andara	365727.364	2049470.39	0.78	0.91	1.01	1.09	1.16	1.43
	Andara	365683.364	2049536.39	0.5	0.62	0.72	0.8	0.87	1.15
	Xiabre	365639.158	2049490.73	0.72	0.84	0.94	1.03	1.09	1.37
Infonavit Santa Ma.	Pascual Coral Heredia	366128.741	2050035.45	0.31	0.44	0.59	0.86	1.06	1.68
Antorchista	Centenario	366255.364	2051230.39	0.26	0.33	0.41	0.52	0.55	0.64
		366541.364	2050922.39	0.31	0.38	0.45	0.57	0.66	0.96
Pacto Obrero	2 Norte B	365793.315	2051273.02	0.71	0.83	0.96	1.18	1.39	2.08
	Ernesto Villanueva Madrid	365880.457	2051208.74	0.67	0.79	0.92	1.14	1.35	2.04
	2 Sur A	365813.638	2051230.81	0.83	0.85	0.96	1.18	1.39	2.08
Frac. Oxtan Kah I y II Etapa	Vinal	365462.264	2050790.39	0.48	0.60	0.66	0.69	0.70	0.73
	J. Canek	365410.171	2050717.6	0.34	0.46	0.53	0.55	0.56	0.59
Frac. Las Américas I Etapa	Costa Rica	364441.238	2051442.71	0.40	0.58	0.77	1.00	1.18	1.44
	Guatemala	364483.187	2051481.34	0.38	0.39	0.44	0.67	0.86	1.11
	Honduras	364515.123	2051521.4		0.26	0.33	0.34	0.35	0.57
Arboledas	Cocoyol	364656.59	2049892.55	0.54	0.64	0.82	1.08	1.25	1.3
	Flamboyán	364718.126	2049799.8	0.81	1.06	1.36	1.71	1.89	2.43
	Flamboyán	364407.364	2049976.39	0.88	1.28	1.68	2.35	2.67	3.27
Frac. Arboledas II Etapa y Sector B	Guanábana	364429.551	2049778.65	1	1.4	1.79	2.47	2.76	3.27
	Machiche	364583.323	2049822.35	1.02	1.42	1.8	2.45	2.73	3.22
	Machuxac	364539.331	2049553.77	0.52	0.64	0.71	0.82	0.89	1.12
	Chicozapote	364319.364	2049404.39	1.29	1.49	1.64	1.84	2.01	2.63
	Arboledas	364385.374	2049382.94	1.18	1.38	1.53	1.73	1.9	2.53
Isabel Tenorio	Chaca	364403.68	2048878.68	1.25	1.26	1.28	1.29	1.3	1.33
	Rafael Donde	364407	2048830.78	0.72	0.74	0.75	0.76	0.77	0.81
Proterritorio	27 de Septiembre	363527.371	2048870.76	1.11	1.4	1.6	1.84	2.01	2.54
	Erick Paolo Martínez	363748.726	2048808.89	1.01	1.3	1.5	1.75	1.91	2.44
	Constituyentes del 74	363263.48	2048810.27	1.15	1.44	1.64	1.89	2.05	2.58
	1º de Mayo	363636.501	2049184.39	1.23	1.24	1.25	1.26	1.33	1.86
	Corozal	363394.842	2049183.81	0.96	0.98	0.99	1	1.2	1.46
	Reforma	363131.352	2049162.38	0.88	0.9	0.91	0.92	0.93	1.14
Bachilleres II	Constituyentes del 74	363263.443	2048788.47	1.12	1.41	1.61	1.85	2.02	2.55
	Erick Paolo Martínez	363197.29	2048784.46	1.17	1.46	1.66	1.99	2.15	2.68
	Tela	363153.438	2048633.3	1.15	1.17	1.37	1.68	1.85	2.37
	El Naranjal	362955.364	2048700.39	1.12	1.2	1.4	1.65	1.81	2.34
Solidaridad	Alfredo V. Bonfil	362799.477	2048942.43	0.69	0.75	0.77	0.81	0.84	1.13
	Petcabab	362491.669	2049469.5	0.91	1.05	1.14	1.24	1.31	1.59
	Ramonal	362382.995	2049184.84	0.69	0.82	0.91	1.02	1.1	1.27
	Tepich	362514.83	2049295.07	0.59	0.72	0.81	0.92	1	1.14
	Sac-Xan	362142.922	2049008.52	0.27	0.29	0.31	0.34	0.37	0.43
Andrés Quintana Roo	Nicolás Bravo	362252.464	2048678.39	1.07	1.08	1.1	1.11	1.12	1.14
	Valle Hermoso	362537.285	2048656.86	0.52	0.56	0.6	0.63	0.66	0.89
Ampliación Proterritorio	Retorno Polyuc	362407.014	2049624.39	1.03	1.19	1.29	1.42	1.51	1.83
	Alfredo V. Bonfil	362779.364	2049580.39	0.76	0.77	0.78	0.79	0.8	0.81

Colonias	Calles	Coordenadas UTM		Periodo de retorno (años)					
		X	Y	2	5	10	25	50	100
				Tirante máximo (m)					
Fracc. Proteritorio, I, II, III, IV, V, VI, VII y VIII	Guillermo López	363923.306	2049668.37	1.07	1.54	1.83	2.3	2.31	2.34
	Manuel Crescencio Renjón	363724.202	2049602.36	0.26	0.3	0.32	0.36	0.38	0.58
Fracc. Caribe I, II, III, IV, V, VI Etapa	Petcabab	362471.45	2050790.26	0.55	0.66	0.84	1.18	1.4	2.13
	Haití	362316.838	2050415.82	0.87	1.02	1.46	1.73	1.93	2.57
	Polyuc	362338.92	2050262.79	1.32	1.51	1.59	1.62	1.79	2.43
	Petcabab	362493.38	2050262.38	0.56	0.74	0.91	1.14	1.16	1.2
Territorio Federal	Naranjal	362955.285	2051164.47	0.31	0.34	0.37	0.4	0.42	0.59
	Polyuc	362358.897	2049844.31	0.6	0.7	0.78	0.86	0.89	0.96
Payo Obispo	Tomás Aznar Barbachano	362471.455	2049868.54	0.77	0.88	0.95	1.03	1.06	1.14
	Celul	361085.659	2049121.66	1.16	1.2	1.23	1.26	1.3	1.4
Infonavit Fidel Velázquez	Perdiz	360931.218	2049294.24	0.34	0.35	0.37	0.39	0.41	0.49
	Tela	361020.155	2048549.26	0.29	0.32	0.51	0.64	0.67	0.74
Jardines de Payo Obispo	Tabí	361239.628	2048414.63	0.28	0.3	0.32	0.34	0.35	0.38
	33	360975.387	2048590.49	0.63	1.15	1.42	1.56	1.58	1.66
Forjadores	Cochuan	359809.636	2048263.85	0.44	0.47	0.58	0.64	0.67	0.76
	Ecab	359632.97	2048172.11	0.9	1.6	1.72	1.78	1.81	1.89
	Manuel Ríos Norman	359234.956	2047841.64	0.59	0.82	0.83	0.84	0.85	0.87
	Melquiades A. Borges	359457.666	2047950.22	0.29	0.32	0.33	0.34	0.35	0.38
Milenio	Darío Guerrero	359303.075	2047556.36	0.29	0.31	0.32	0.34	0.35	0.39
	Santana Hernández	359324.524	2047494.11	0.28	0.3	0.31	0.33	0.34	0.39
Jardines	4	358686.232	2047536.56	0.39	0.49	0.62	0.84	1	1.1
	Siglo XX	358662.268	2047622.38	0.39	0.49	0.62	0.84	1	1.1
Jardines	Claveles	360470.284	2047278.12	0.35	0.37	0.39	0.42	0.44	0.52
	Limonarias	360491.323	2046962.35	0.26	0.27	0.28	0.29	0.3	0.34
	Tréboles	360692.973	2046944.9	0.4	0.45	0.49	0.53	0.57	0.71

Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final^o, CAPA-IMTA, 2016.

III.12. Áreas de inundación.

A fin de establecer las áreas de inundación con el objeto de conocer las colonias con una mayor cobertura de agua de lluvia, se toma como datos de partida los escenarios generados a partir del modelo de simulación hidráulica y se hace el cálculo para un periodo de retorno de 10 años, debido a que es el periodo que recomienda la CONAGUA para el diseño de obras pluviales ver tabla No. 14.

Tabla No. 14. Áreas de inundación por colonias.

No.	Colonia	Área (ha)
1	Zona de Granjas	20.99
2	Col. Adolfo López Mateos	14.85
3	Col. Centro	14.04
4	Col. Proterritorio	9.97
5	Col. Barrio Bravo	8.95
6	Col. Plutarco E. Calles	8.32
7	Col. Constituyentes	7.27
8	Aeropuerto	5.24
9	Fracc. Arboledas II Etapa y Sector B	4.96
10	Fracc. Flamboyanes	4.53
11	Col. David Gustavo	4.51
12	Fracc. Caribe I, II, III, IV, V, VI Etapa	4.50
13	Col. Solidaridad	4.49
14	Col. Andrés Quintana Roo	3.32
15	Col. Venustiano Carranza (Las Casitas)	3.03
16	Leona Vicario	2.79
17	Bodega Aurrera Constituyentes	2.59
18	Fracc. Club Residencial Andaras	2.58
19	Col. Industrial	2.43
20	Fracc. Reforma	2.39
21	Col. Del Bosque	2.35
22	Col. 5 de Abril	2.26
23	Col. Pacto Obrero Campesino	2.13
24	Col. Primera Legislatura	1.96
25	Col. Antorchista	1.86
26	Fracc. Campestre	1.86
27	Col. Italia	1.86
28	Bachilleres II	1.85
29	Infonavit Aarón Merino Fernández	1.78
30	Col. Josefa Ortiz de Domínguez	1.38
31	Infonavit Fidel Velázquez	1.37
32	Col. Payo Obispo	1.23
33	Col. S.A.H.O.P.	1.22
34	Fracc. Las Américas I Etapa	1.14
35	Grupo Domos ABC Zona Industrial	1.14
36	Col. Aserradero	1.13
37	Col. Lagunitas	1.12
38	Col. Ley Federal del Agua	1.12
39	Col. Isabel Tenorio	1.07
40	Col. Territorio Federal de Q. R.	0.99
41	Col. Forjadores	0.98
42	Col. Tamalcab (NUEVO PROGRESO)	0.87
43	Col. Jardines de Payo Obispo	0.84
44	Fracc. Milenio	0.82
45	Fracc. Sian Kaan I Etapa	0.79
46	Fracc. Proterritorio, I, II, III, IV, V, VI, VII y VIII	0.78
47	SORIANA	0.75

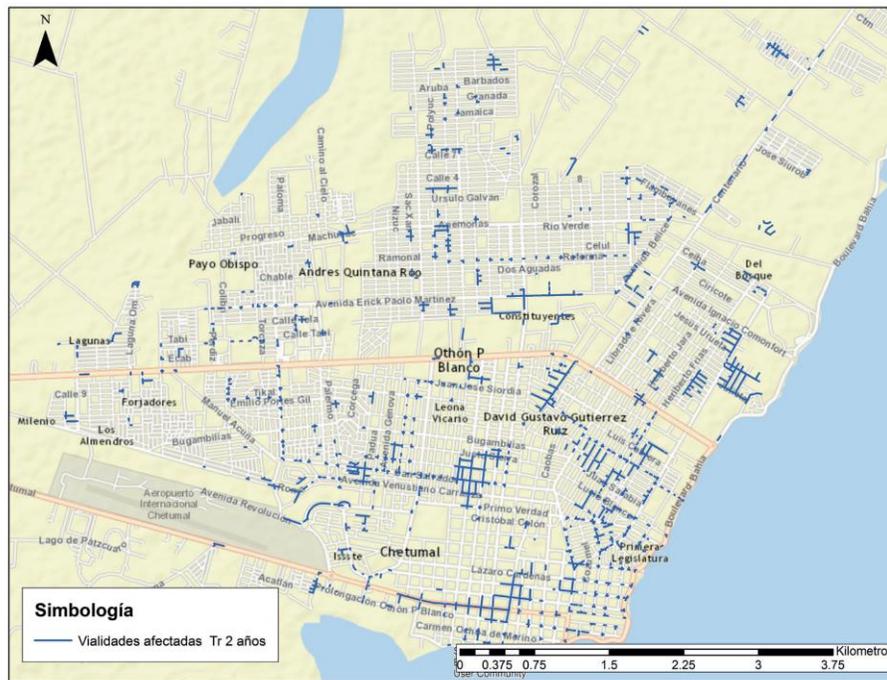
No.	Colonia	Área (ha)
48	Col. Jardines	0.75
49	Col. Fracc. Los Monos	0.74
50	Infonavit Santa María	0.73
51	Fracc. Oxtan Kah I y II Etapa	0.72
52	Col. Ampliación Protterritorio	0.65
53	Col. 8 de Octubre	0.64
54	Col. Francisco J. Mújica	0.63
55	Fracc. Arboledas	0.57
56	Fracc. Villas Universitarias	0.56
57	Zoológico	0.54
58	Conjunto Habitacional Lomas del Caribe	0.53
59	Fracc. Mediterráneo I, II y III Etapa	0.48
60	Col. Lázaro Cárdenas	0.47
61	Col. Benito Juárez	0.46
62	Fracc. Nueva Generación	0.45
63	Fracc. Sian Kaan II Etapa	0.43
64	ITCH	0.42
65	Col. Jesús Martínez Ross	0.39
66	Fracc. Del Mar I y II	0.39
67	Infonavit Villas de Chetumal	0.37
68	Plaza las Américas	0.34
69	Residencial Caribe	0.31
70	Fracc. La Sabana	0.30
71	Col. 20 de Noviembre	0.27
72	Fracc. La Isla	0.26
73	Col. Naval	0.23
74	Fracc. Bahía	0.20
75	Col. Taxistas	0.20
76	Ciudad de los Niños	0.20
77	Fracc. Gonzalo Guerrero	0.19
78	Col. Guadalupe Victoria	0.18
79	Col. ISSSTE	0.18
80	Fracc. Bosques del Lago	0.17
81	Infonavit Enrique Ramírez y Ramírez	0.17
82	Fracc. Bugambilias	0.16
83	Secretaría de Marina	0.14
84	Col. Miraflores	0.14
85	Parque Ecológico	0.14
86	Infonavit Emancipación	0.13
87	Fracc. Félix González Canto	0.12
88	Fracc. Hacienda Chetumal	0.12
89	PLAZAS COMERCIALES	0.11
90	Col. Nuevo Progreso	0.10
91	Col. López Portillo	0.10
92	Col. Rafael E. Melgar	0.09
93	Fracc. El Encanto	0.08
94	Fracc. Payo Obispo VI Etapa	0.08
95	Fracc. Brisas	0.08
96	Col. FOVISSTE	0.06
97	Fracc. Aeropuerto	0.06
98	Fracc. Cumbres	0.06
99	Fracc. Tampico	0.05

No.	Colonia	Área (ha)
100	Fracc. Payo Obispo III y IV Etapa	0.03
101	Fracc. Rojo Gómez II Etapa	0.03
102	Fracc. Cedros	0.03
103	Fracc. Miraflores	0.03
104	Telmex	0.03
105	Fracc. Sian Kaan III Etapa	0.02
106	Fracc. Plutarco E. Calles	0.01
107	Fracc. Kinichna	0.01
108	Fracc. Maya Real	0.01
109	Fracc. Rojo Gómez I Etapa	0.01
110	Col. Militar	0.01
111	Multiplaza Chedrahui	0.00
112	Fracc. Mediterráneo I, II y III Etapa	0.00

Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

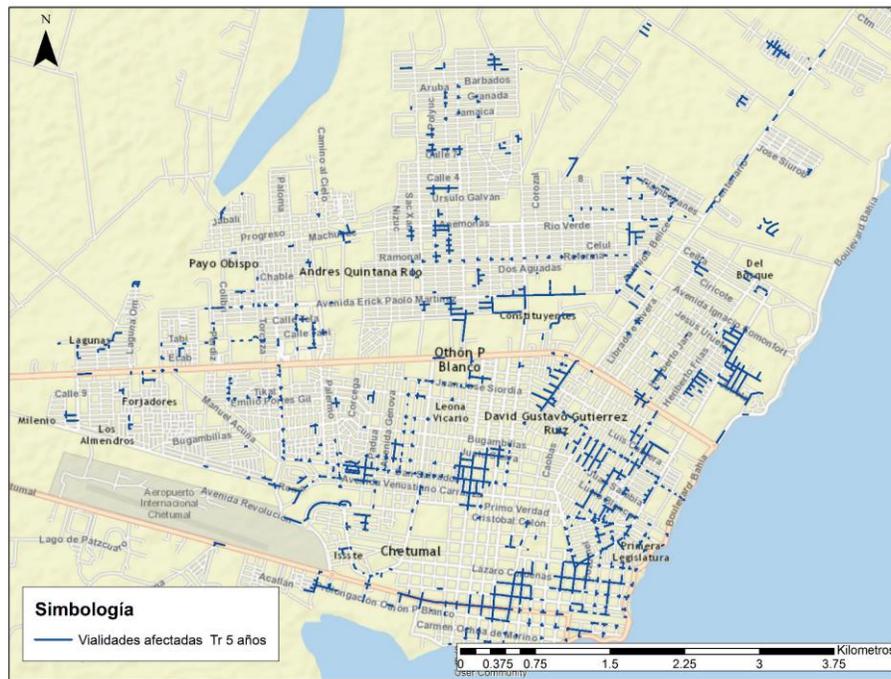
Vialidades con afectaciones para diferentes periodos de retorno.

Imagen No. 74. Afectaciones de vialidades para un periodo de retorno de 2 años.



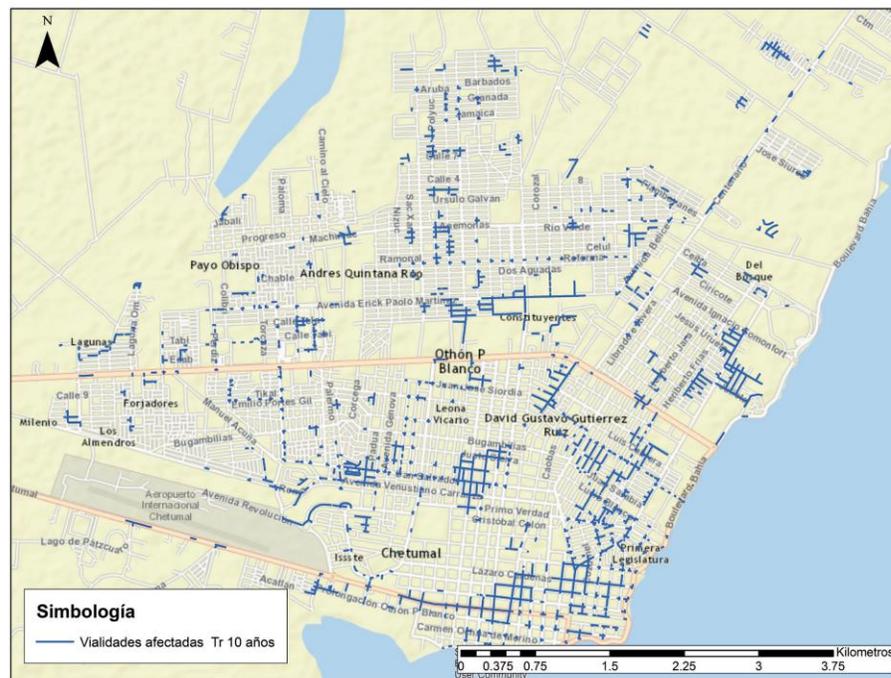
Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 75. Afectaciones de vialidades para un periodo de retorno de 5 años.



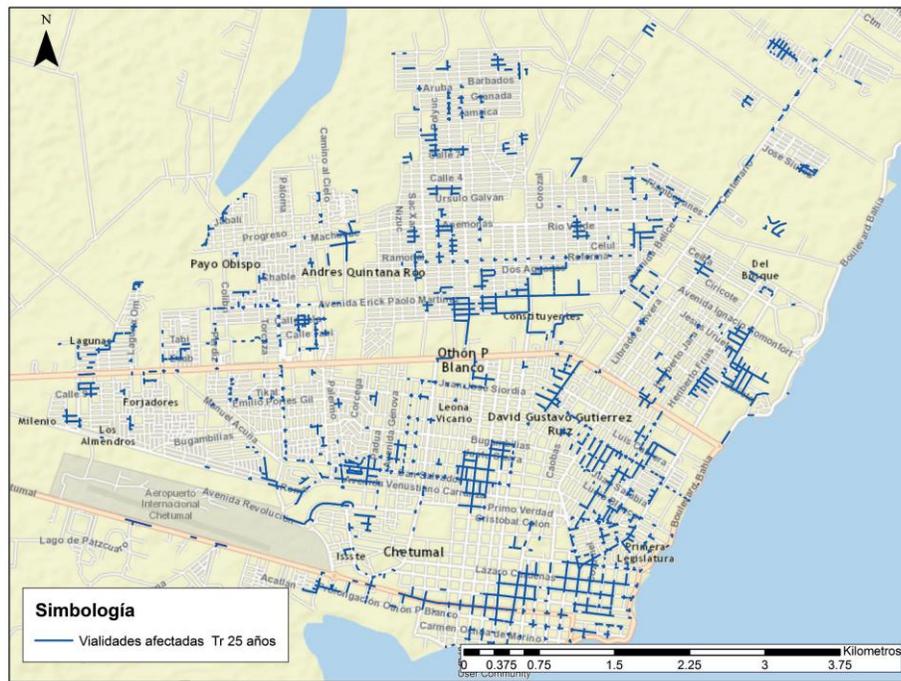
Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 76. Afectaciones de vialidades para un periodo de retorno de 10 años.



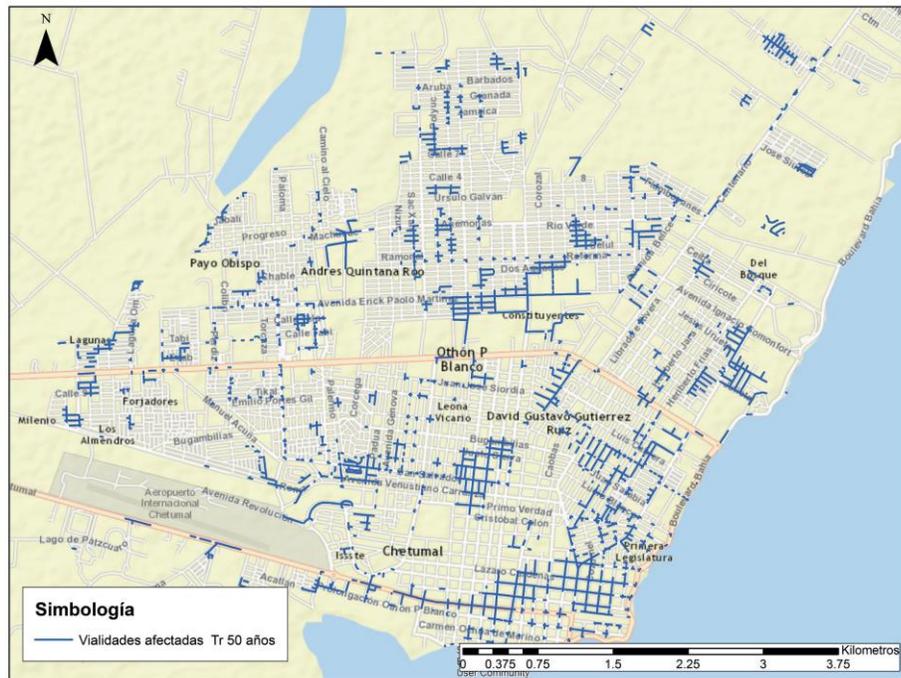
Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 77. Afectaciones de vialidades para un periodo de retorno de 25 años.



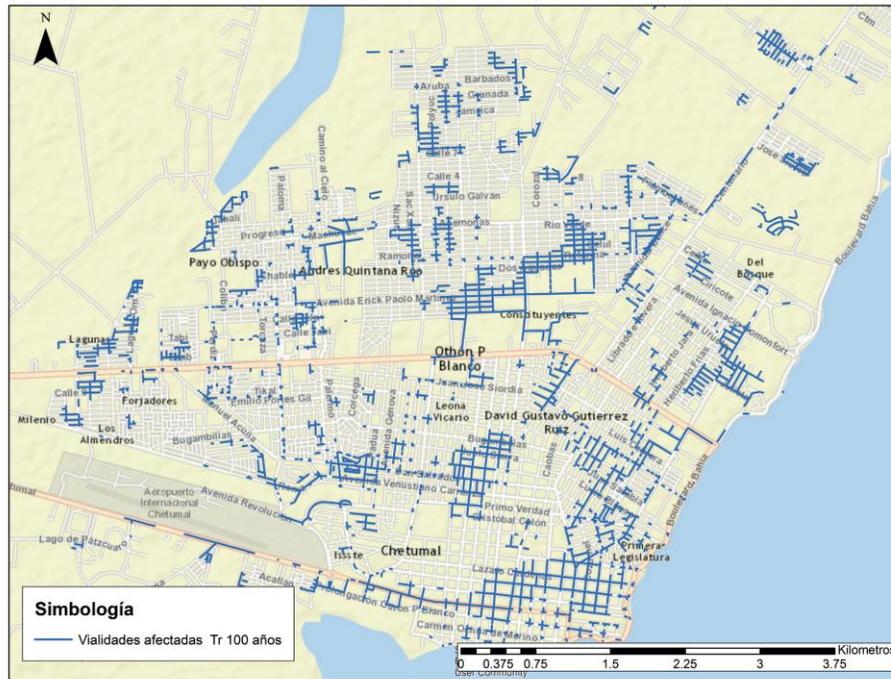
Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 78. Afectaciones de vialidades para un periodo de retorno de 50 años.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.

Imagen No. 79. Afectaciones de vialidades para un periodo de retorno de 100 años.



Fuente: Estudio geohidrológico en el acuífero de Chetumal, Quintana Roo - Informe Final", CAPA-IMTA, 2016.