

ESTUDIO GEOHIDROLÓGICO EN EL ACUÍFERO DE CHETUMAL, QUINTANA ROO

INFORME FINAL

Subcoordinación de Hidráulica Urbana
- Coordinación de Hidráulica
Jiutepec, Morelos

Por la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Quintana Roo (CAPA)
Othón P. Blanco, Quintana Roo

México 2016



CONTENIDO

Introducción	9
Metodología	11
Objetivos y Alcances	13
1. RESUMEN EJECUTIVO	15
1.1. Geofísica y Geohidrología	15
1.2. Diagnóstico de las PTARs	16
1.2.1. PTAR Subteniente López y Huay Pix	16
1.2.2. PTAR Fovissste V Etapa	17
1.2.3. PTAR Centenario	18
1.3. Alcantarillado sanitario y pluvial	19
1.3.1. Alcantarillado Sanitario	19
1.3.2. Alcantarillado Pluvial	20
2. INTRODUCCIÓN	23
2.1. Marco físico	24
2.1.1. Fisiografía	24
2.1.2. Climatología	25
2.1.3. Relieve y topografía	27
2.1.4. Geología	27
2.1.5. Vegetación	28
2.1.6. Flora	29
2.1.7. Vías de acceso y comunicación	29
2.1.8. Población y actividades económicas	29
2.2. Antecedentes	33
2.3. Zona de estudio	36
2.4. Objetivos	36
2.5. Alcances	37
3. ANÁLISIS DE LA ZONA DE ESTUDIO	39
3.1. Recopilación de información	39
3.1.1. Levantamientos topográficos de la zona de estudio	39
3.1.2. Estudios Geohidrológicos	41
3.1.3. Infraestructura sanitaria de la ciudad de Chetumal	53
3.1.4. Proyecto de sectores sanitarios	56
3.2. Descripción de los recorridos de campo en la evaluación del desempeño operativo de las PTAR de la ciudad de Chetumal	66
3.3. Descripción de los recorridos de campo en la evaluación del análisis Geohidrológico	67
3.4. Descripción de los recorridos de campo en la evaluación del análisis sanitario y pluvial	68

3.4.1. Sistema de alcantarillado por vacío	69
3.4.2. Sistema por gravedad	75
3.4.3. Inspección de colectores sanitarios y pluviales	100
4. EXPLORACIÓN GEOFÍSICA	115
4.1. Antecedentes	115
4.2. Características del equipo	116
4.3. Metodología de campo y procesamiento de datos	116
4.4. Interpretación	122
4.5. Conclusiones de la exploración geofísica	124
5. ANÁLISIS GEOHIDROLÓGICO	127
5.1. Fisiografía	127
5.2. Geología	131
5.2.1. Geomorfología	131
5.2.2. Geología regional	134
5.2.3. Estratigrafía	135
5.2.4. Geología local	141
5.2.5. Geología estructural	146
5.3. Hidrogeología	147
5.3.1. Censo de pozos pluviales	147
5.3.2. Profundidad al nivel estático	149
5.3.3. Red de pozos de observación	154
5.3.4. Levantamiento piezométrico en la red de pozos de observación	157
5.3.5. Nivelación de brócales	157
5.3.6. Elevación del nivel estático	160
5.3.7. Modelo conceptual	165
5.3.8. Dirección del flujo subterráneo	167
6. EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO OPERATIVO DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE CHETUMAL	169
6.1. Descripción general de la PTAR “Centenario”	169
6.1.1. Información preliminar de la planta	169
6.1.2. Tren de Agua	170
6.1.3. Tren de Lodos	179
6.1.4. Equipo electromecánico	183
6.1.5. Instalaciones civiles	191
6.1.6. Equipo de laboratorio	194
6.1.7. Medición de unidades de proceso	197
6.1.8. Calidad de agua de la PTAR Centenario	199
6.1.9. Caracterización influente – efluente 24 horas	204

6.1.10. Visita técnica – evaluación in situ	206
6.1.11. Factores de desempeño	219
6.1.12. Actividades de mejora del desempeño y recomendaciones	220
6.1.13. Costos de inversión	225
6.1.14. Conclusiones de la PTAR Centenario	226
6.2. Planta de tratamiento de aguas residuales “Huay Pix”	227
6.2.1. Descripción general de la PTAR “Huay pix”	227
6.2.2 . Tren de Agua	228
6.2.3. Tren de Lodos	233
6.2.4. Equipo electromecánico	234
6.2.5. Instalaciones civiles	237
6.2.6. Medición de unidades de proceso	237
6.2.7. Calidad del agua de la PTAR Huaypix	239
6.2.8. Caracterización influente – efluente 24 horas	245
6.2.9. Visita técnica – evaluación in situ	247
6.2.10. Factores de desempeño	257
6.2.11. Actividades de mejora del desempeño y recomendaciones	259
6.2.12. Costos de inversión	264
6.2.13. Conclusiones de la PTAR HuayPix	265
6.3. Descripción general de la PTAR “Subteniente López”	265
6.3.1. Información preliminar de la planta	265
6.3.2. Tren de Agua	267
6.3.3. Tren de Lodos	272
6.3.4. Equipo electromecánico	273
6.3.5. Instalaciones civiles	275
6.3.6. Medición de unidades de proceso	278
6.3.7. Calidad de agua	278
6.3.8. Caracterización influente – efluente 24 horas	286
6.3.9. Visita técnica – evaluación in situ	288
6.3.10. Factores de desempeño	299
6.3.11. Actividades de mejora del desempeño y recomendaciones	301
6.3.12. Conclusiones de la PTAR Subteniente López	306
6.4. Planta de tratamiento de aguas residuales Fovissste V etapa	307
6.4.1. Descripción general de la PTAR “Fovissste V etapa”	307
6.4.2. Tren de Agua	309
6.4.3. Reactor de aeración	309
6.4.4. Tanque de contacto de cloro	311
6.4.5. Tren de Lodos	313

6.4.6. Equipo electromecánico	314
6.4.7. Instalaciones civiles	315
6.4.8. Medición de unidades de proceso	316
6.4.9. Calidad del agua de la PTAR Fovissste V etapa	317
6.4.10. Caracterización influente – efluente 24 horas	323
6.4.11. Visita técnica – evaluación in situ	325
6.4.12. Factores de desempeño	333
6.4.13. Actividades de mejora del desempeño y recomendaciones	335
6.4.14. Costos de inversión	338
6.4.15. Conclusiones del estudio realizado a la PTARs Fovissste V etapa	339
7. SISTEMA DE ALCANTARILLADO	341
7.1. Drenaje Sanitario	341
7.1.1. Sistema de alcantarillado por vacío	343
7.1.2. Sistema de alcantarillado de la ciudad de Chetumal	343
7.1.3. Áreas de influencia de los cárcamos de bombeo	347
7.1.4. Sentido del flujo de los cárcamos de aguas residuales	349
7.1.5. Problemática existente en la infraestructura hidráulica usada para el desalojo del agua sanitaria.	351
7.1.6. Cálculo de aportaciones de aguas residuales por cárcamo.	355
7.1.7. Modelo de simulación sanitario	356
7.2. Acciones identificadas	417
7.3. Conclusiones específicas	419
7.3.1. Recomendaciones	420
7.4. Drenaje Pluvial	420
7.4.1. Sistema pluvial de ciudad de Chetumal	422
7.4.2. Principales problemas de capacidad de desalojo óptimo	424
7.4.3. Inundación del 17 al 19 de octubre del 2015	429
8. MAPAS DE ZONAS INUNDABLES.	443
8.1. Delimitación de las áreas tributarias	443
8.1.1. Modelo Digital de Elevaciones	443
8.1.2. Planimetría	444
8.1.3. Traza urbana, nombres de calles, colonias y sitios importantes.	445
8.1.4. Líneas de corriente principales.	446
8.1.5. Generación de subcuencas de aportación	447
8.2. Hietogramas de precipitación	455
8.2.1. Estaciones climatológicas	455
8.2.2. Análisis de información pluviográfica	455
8.2.3. Lluvias de proyecto.	458

8.2.4. Curvas Precipitación (hp mm) – Duración (d min) – Periodo de retorno (Tr años)	459
8.3. Modelo de simulación hidráulica	464
8.4. Parámetros de simulación de alcantarillado pluvial	465
8.5. Mapas de riesgo por inundación en la zona urbana de Chetumal	472
8.5.1. Metodología para los mapas de vulnerabilidad y su aplicación en la ciudad de Chetumal	473
8.6. Metodología para la elaboración de mapas de riesgo de daño estructural en vivienda por efectos de inundación	487
8.7. Generación de mapas de riesgo de daño estructural en vivienda en la ciudad de Chetumal para diferentes periodos de retorno	488
8.8. Cálculo del Índice contra inundaciones (ICI)	491
8.9. Cálculo del índice de inundaciones (IDI)	496
8.10. Calles afectadas por las inundaciones	499
8.11. Tirantes de inundación en diferentes colonias de Chetumal	502
8.12. Áreas de inundación	507
8.13. Acciones identificadas	510
8.14. Conclusiones específicas.	510
8.14.1. Recomendaciones	511
Bibliografía	513
Anexos	519
A. Vialidades con afectaciones para diferentes periodos de retorno	519
Ilustraciones	541
Tablas	558

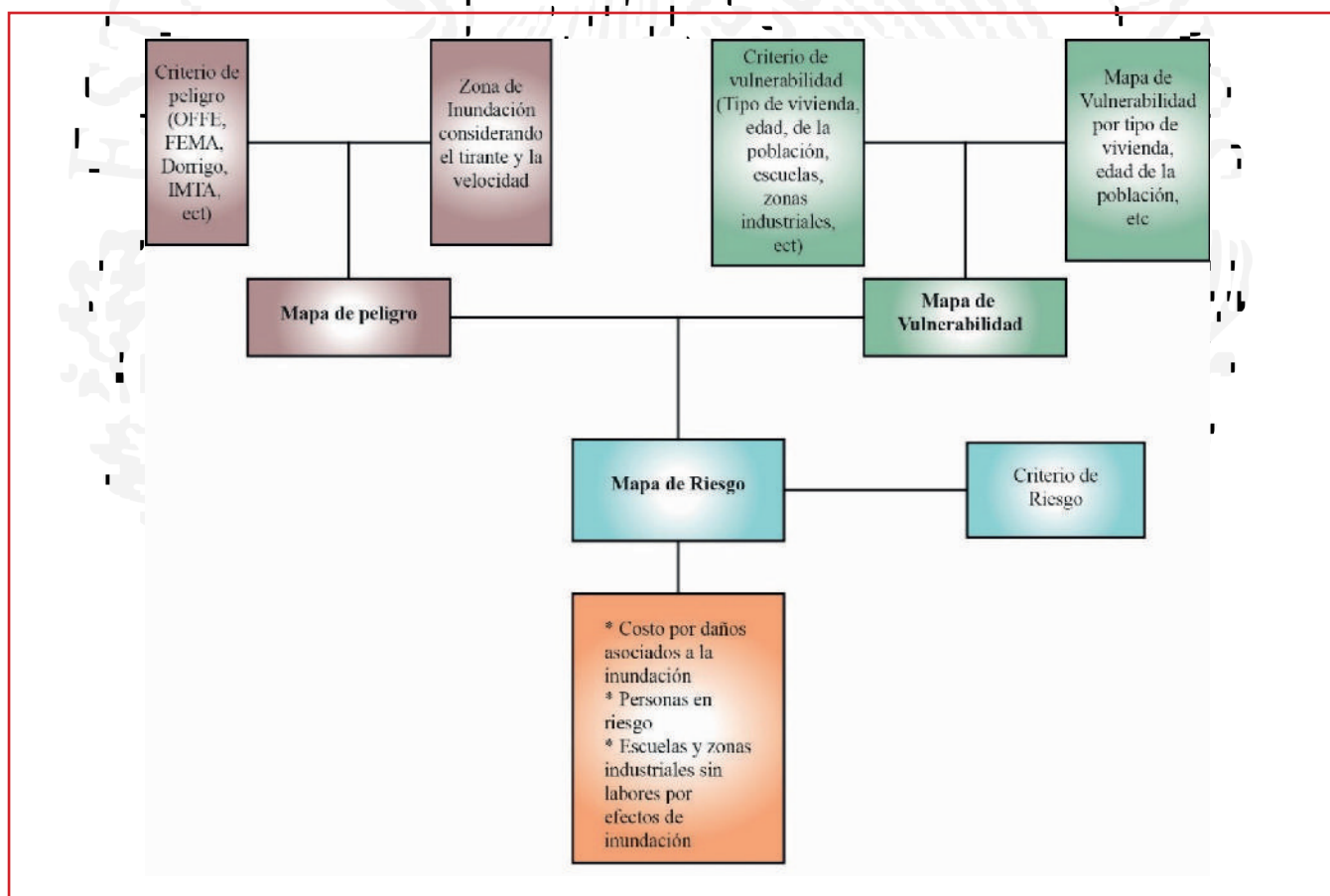
8.5. MAPAS DE RIESGO POR INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DE CHETUMAL

Los mapas de riesgo se definen de acuerdo con lo descrito por Rodríguez et al (2015), donde en la Ilustración 8.44 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.

Ilustración 8.44 Metodología para definir los mapas de riesgo (Rodríguez et al, 2015)



8.5.1. METODOLOGÍA PARA LOS MAPAS DE VULNERABILIDAD Y SU APLICACIÓN EN LA CIUDAD DE CHETUMAL

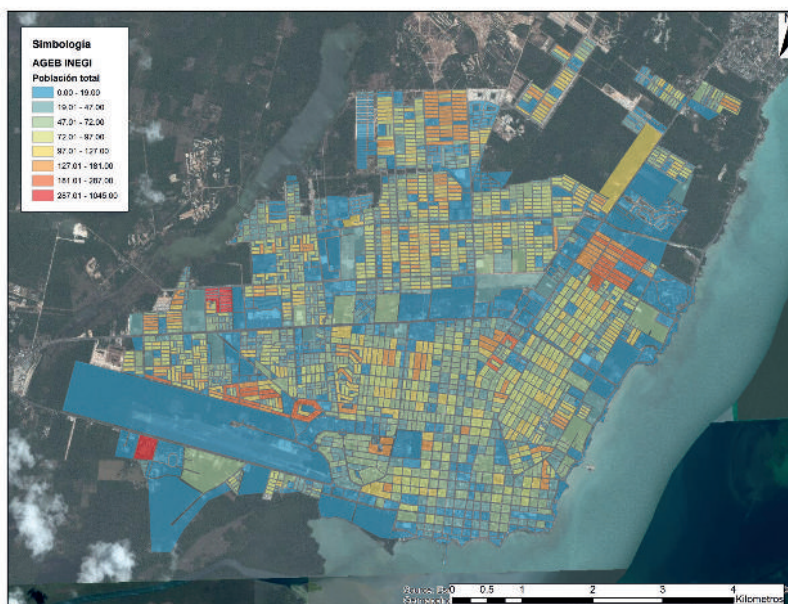
La metodología propuesta por Rodríguez et al (2015), toma como referencia información que previamente ya ha sido levantada en campo por el INEGI y que es de utilidad para la generación de los mapas de vulnerabilidad a un costo mínimo.

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 Ilustración 8.45, 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).

Ilustración 8.45 Población por manzanas de la ciudad de Chetumal por el AGEB



8.5.1.2. 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 8.4) 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 8.4 Clasificación de la vulnerabilidad (CENAPRED – SEGOB, 2013)

Vulnerabilidad	Efectos
Alta	Decesos
	Daños Extraordinarios
	Asentamientos irregulares en cauces, planicies de inundación o agua abajo de presas o bordos
Media	Sin Decesos
	Daño moderado
Baja	No hay asentamientos irregulares
	Sistema de drenaje eficiente
	Daños mínimos

8.5.1.3. 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.

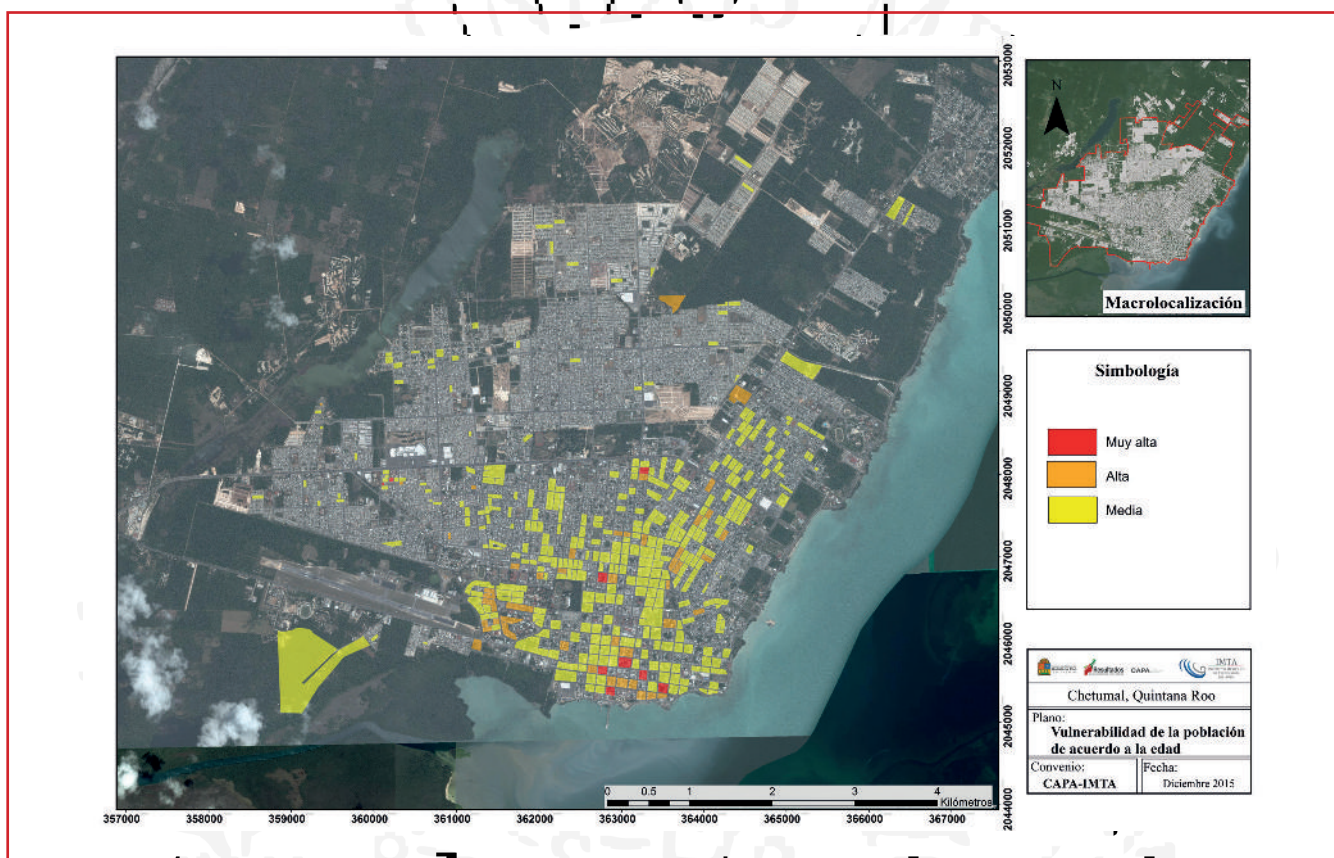
$$\text{Índice población vulnerable} = \frac{(\text{Población} > a 60 \text{ años} + \text{población} < a 5 \text{ años})}{(\text{Población Total})} \quad \text{Ecuación 8.2}$$

En la Tabla 8.5, se muestra el rango de vulnerabilidad de la población de acuerdo a la edad calculado con el índice de población vulnerable. En la Ilustración 8.46, se muestran las manzanas más vulnerables de acuerdo a la edad de la población.

Tabla 8.5 Rango de Vulnerabilidad de la Población de acuerdo la edad (Rodríguez et. al, 2015)

Vulnerabilidad	Índice de Población
Muy Alta	> 0.40
Alta	0.31-0.40
Media	0.21-0.30
Baja	0.01-0.20
Muy baja	0.0-0.01

Ilustración 8.46 Vulnerabilidad de la población por manzana de acuerdo a la edad



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 Secretaría 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.

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

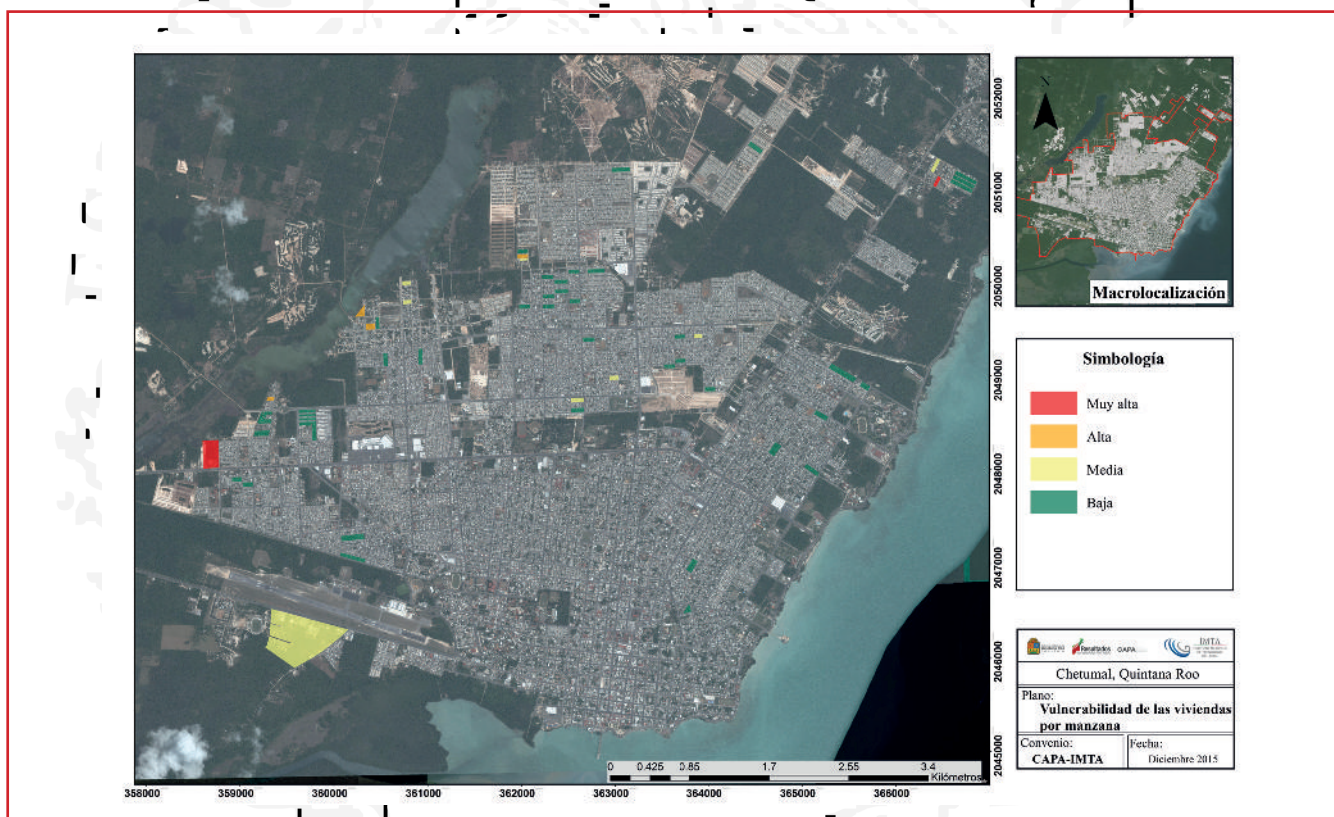
Ecuación 8.3

En la Tabla 8.6, se muestran los rangos de vulnerabilidad de las viviendas considerados para la generación del mapa de vulnerabilidad mostrado en la Ilustración 8.47, las zonas más desprotegidas se ubican en la parte norte de la ciudad y en la zona sur este de la misma.

Tabla 8.6 Rango de Vulnerabilidad de las viviendas (Rodríguez, 2015)

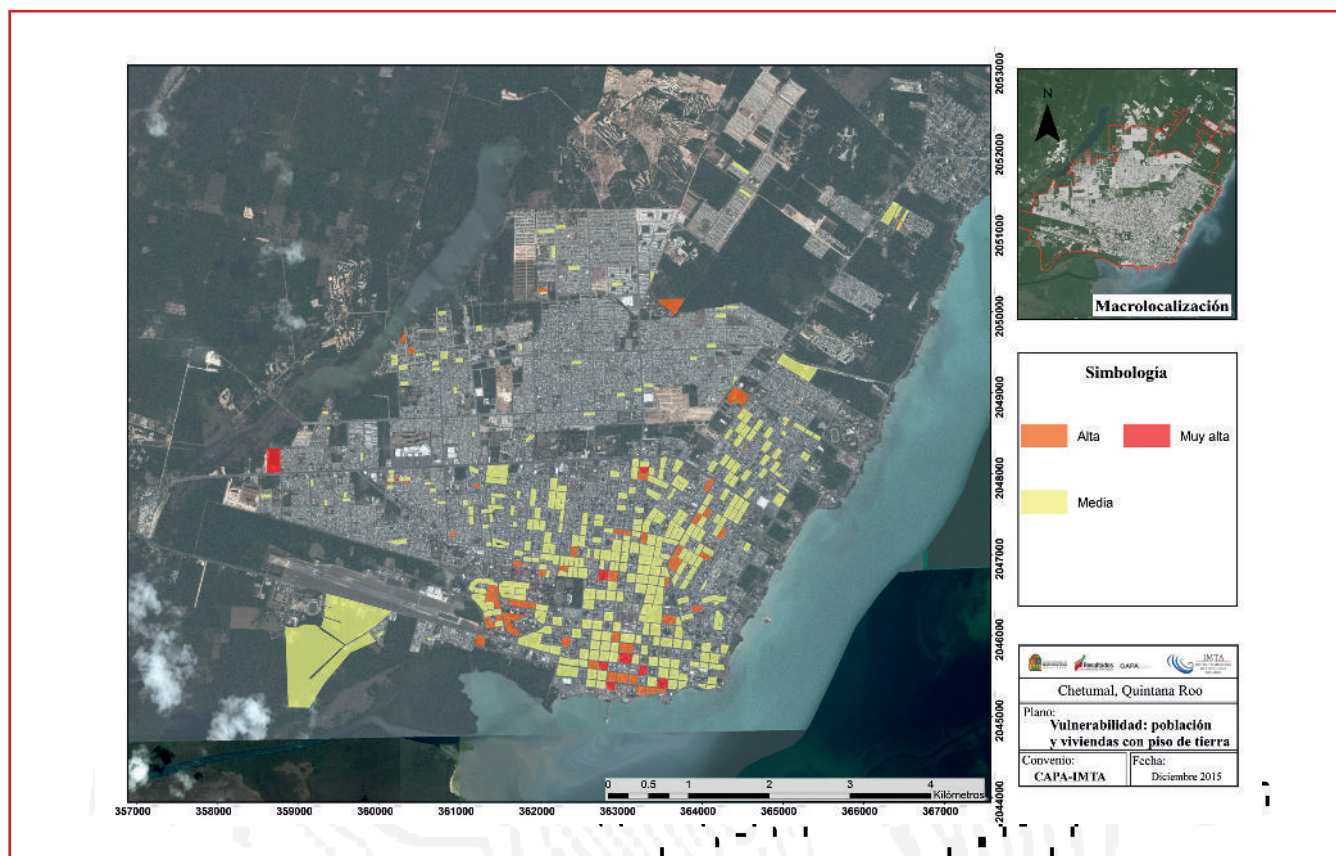
Vulnerabilidad	Índice de viviendas con piso de tierra
Muy Alta	> 0.40
Alta	0.31-0.40
Media	0.21-0.30
Baja	0.01-0.20
Muy baja	0.0-0.01

Ilustración 8.47 Vulnerabilidad de las viviendas por manzana



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 Ilustración 8.48), en este se considera la población, así como las viviendas vulnerables.

Ilustración 8.48 Mapa de vulnerabilidad de la ciudad de Chetumal, considerando la población y las viviendas con piso de tierra



8.5.1.5. Mapa de vulnerabilidad por tipo de vivienda

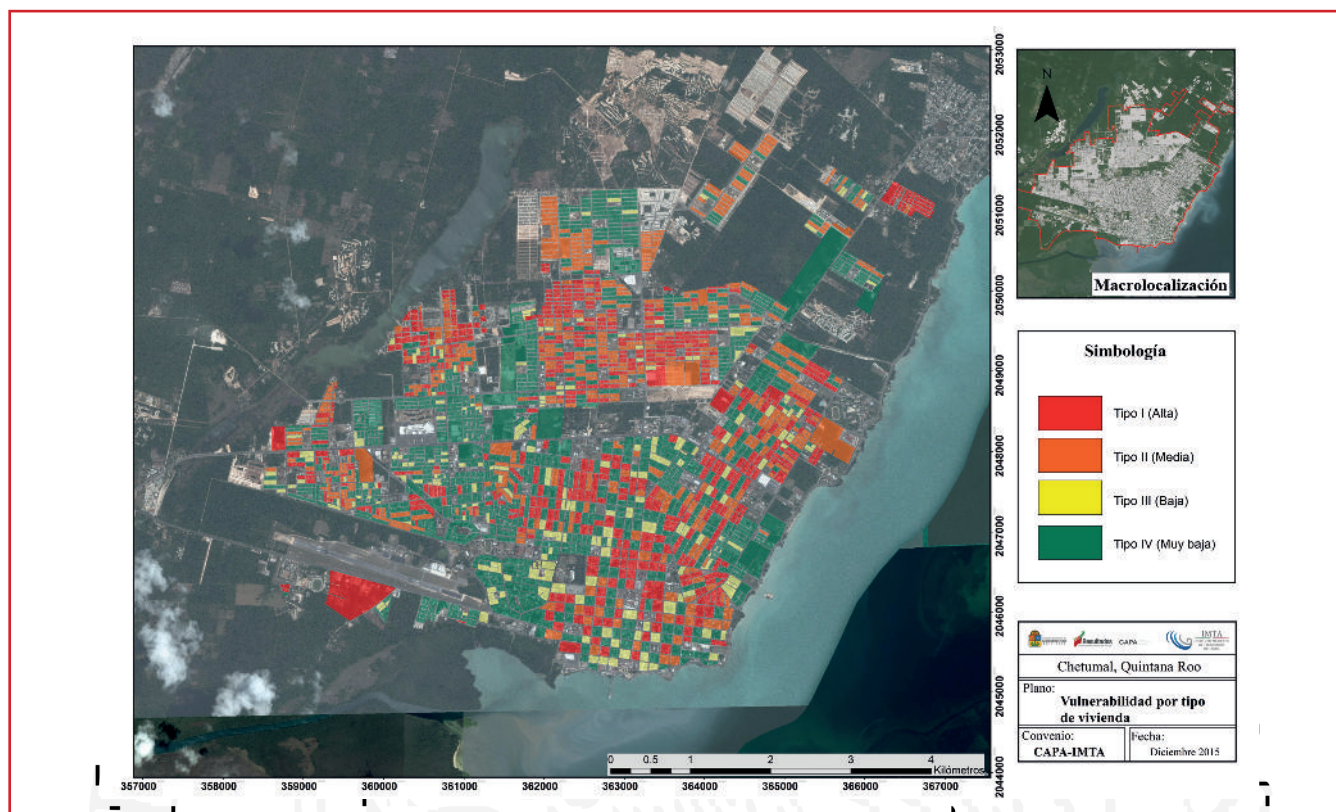
La metodología propuesta por Rodríguez et al (2015), utiliza los datos por manzana, el número de viviendas particulares habitadas con un solo cuarto, viviendas particulares habitadas con dos cuartos, viviendas particulares habitadas con 3 cuartos y más, además de la población económicamente activa, con 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 8.7 y con base en las características encontradas se genera el mapa de vulnerabilidad de la ciudad, ver Ilustración 8.49

Tabla 8.7 Vulnerabilidad por tipo de vivienda obtenida del análisis de información contenida en la AGEB (IMTA, 2015)

Tabla 8.7 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

Ilustración 8.49 Mapa de vulnerabilidad por tipo de vivienda



8.5.1.6. Mapas de Peligro

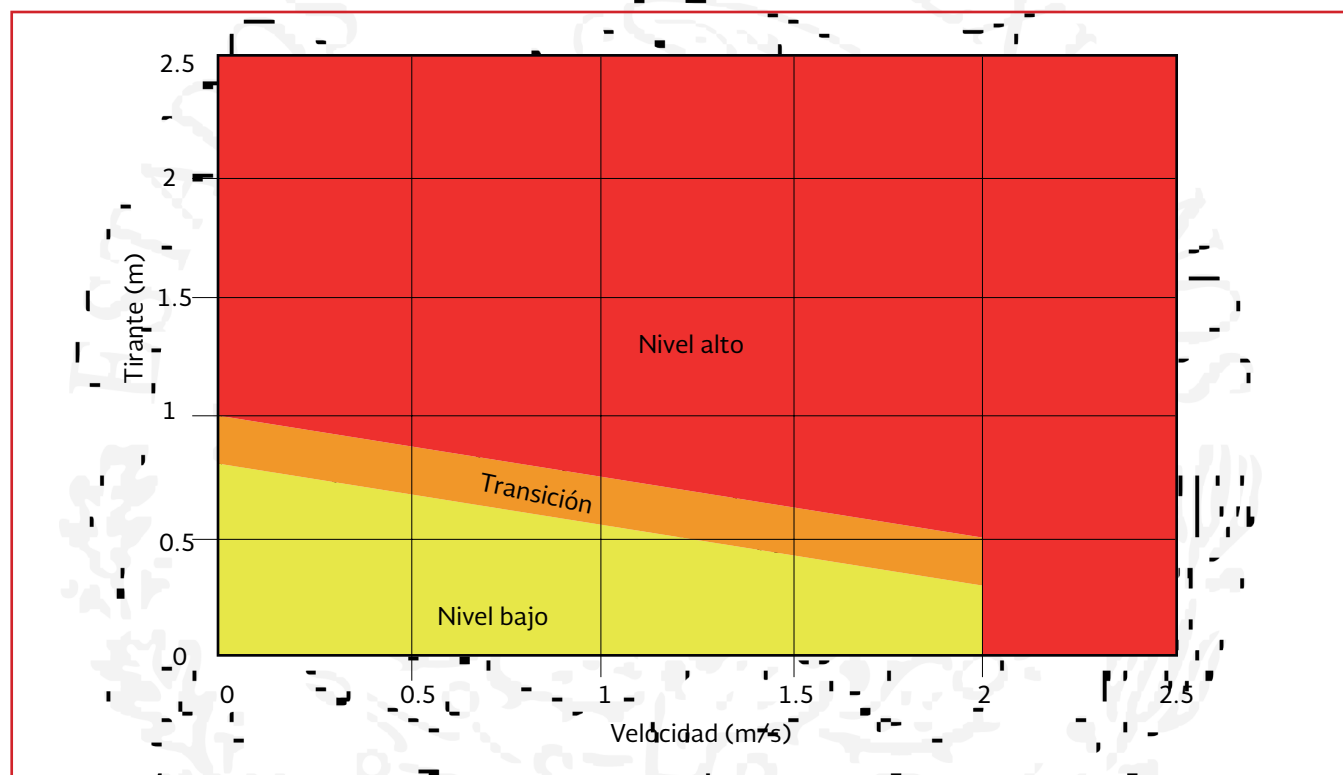
El peligro de inundación se puede definir con base en ciertos criterios, éstos pueden ser el tirante y la velocidad del agua alcanzada en las calles, ríos o arroyos. Al desbordamiento del cauce natural de los ríos se le conoce como inundación fluvial. Cuando se debe a un escurrimiento de lluvias dentro 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.

8.5.1.7. Criterio de peligro del gobierno de Gales del Sur; New South Wales Government

El lugar de aplicación de este criterio fue la ciudad de Dórrigo, Australia, donde se generaron mapas de peligro con base en el criterio de profundidad y velocidad del agua como el mostrado en la Figura 3, en el que se definen tres rangos de peligro (NSW, 2005). En el nivel alto se especifica que la evacuación por vehículos es difícil, además los adultos tienen dificultad para cruzar las calles con seguridad y existe un potencial daño estructural a las construcciones, en la zona de transición se menciona depende de las condiciones del lugar; y en el nivel bajo, se establece en caso necesario, que los vehículos pueden evacuar a las personas y sus posesiones, los adultos pueden tener una pequeña dificultad para cruzar las avenidas con seguridad, ver Ilustración 8.50

Ilustración 8.50 Niveles de peligro aplicados en la ciudad de Dórrigo, Australia (NSW, 2005)



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 Ilustración 8.51 a la Ilustración 8.56 se aprecian para las diferentes precipitaciones que corresponden a un periodo de retorno de 2, 5, 10, 15, 50 y 100 años

Ilustración 8.51 Evaluación de peligro para un periodo de retorno de 2 años

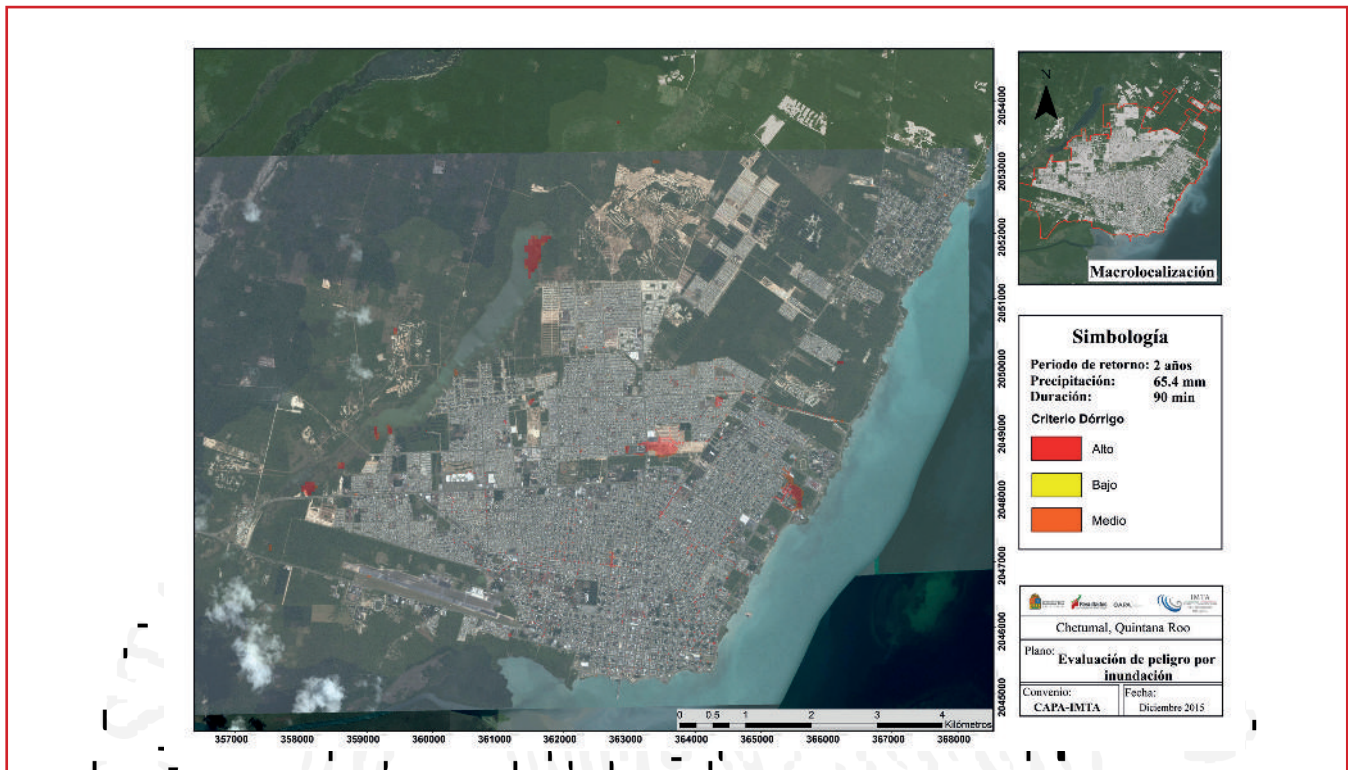


Ilustración 8.52 Evaluación de peligro para un periodo de retorno de 5 años

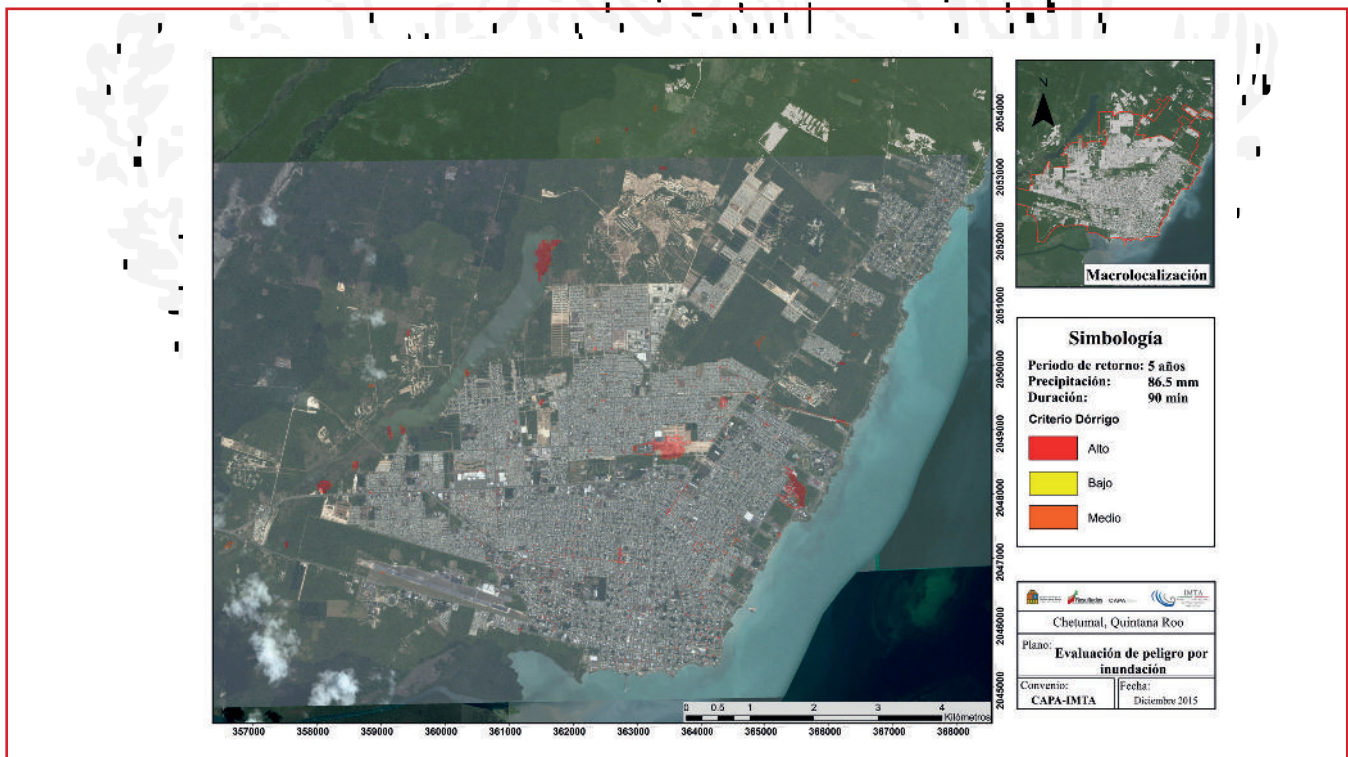


Ilustración 8.53 Evaluación de peligro para un periodo de retorno de 10 años

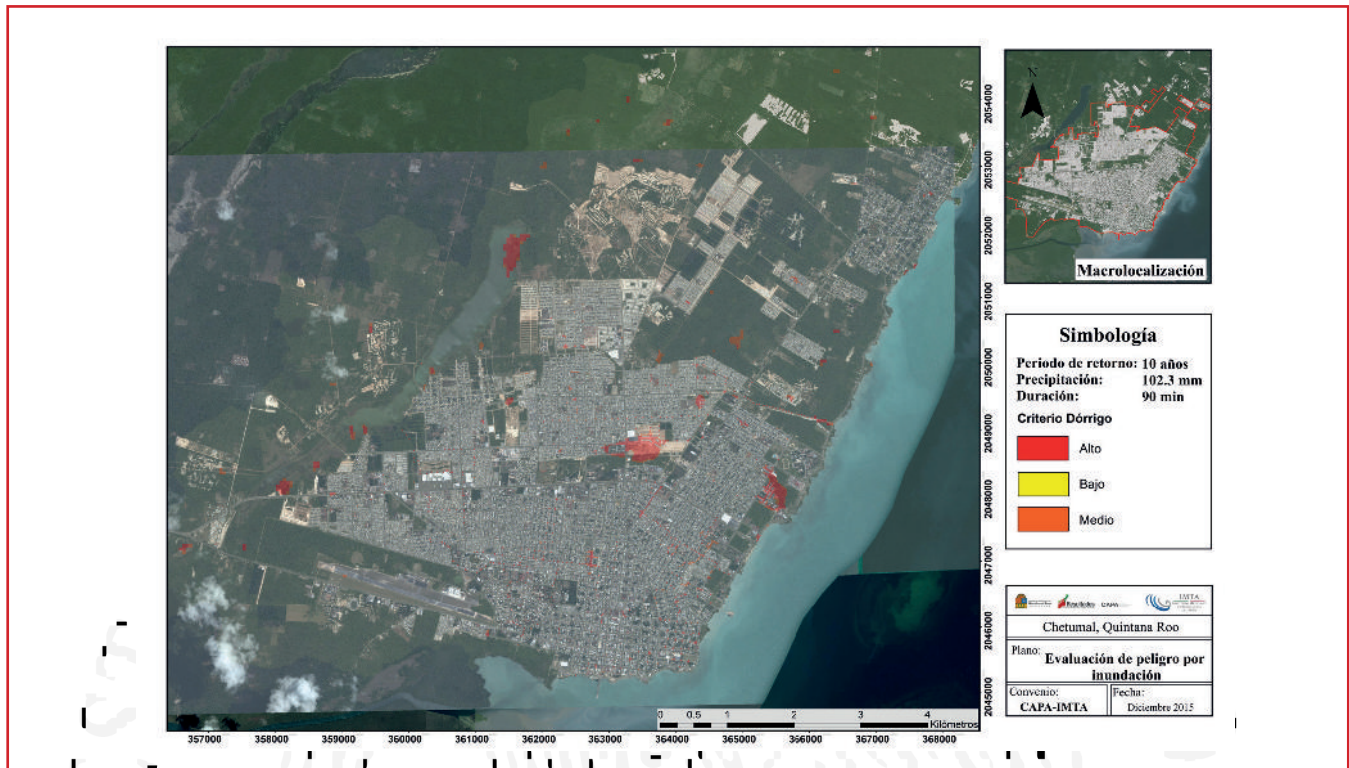


Ilustración 8.54 Evaluación de peligro para un periodo de retorno de 25 años

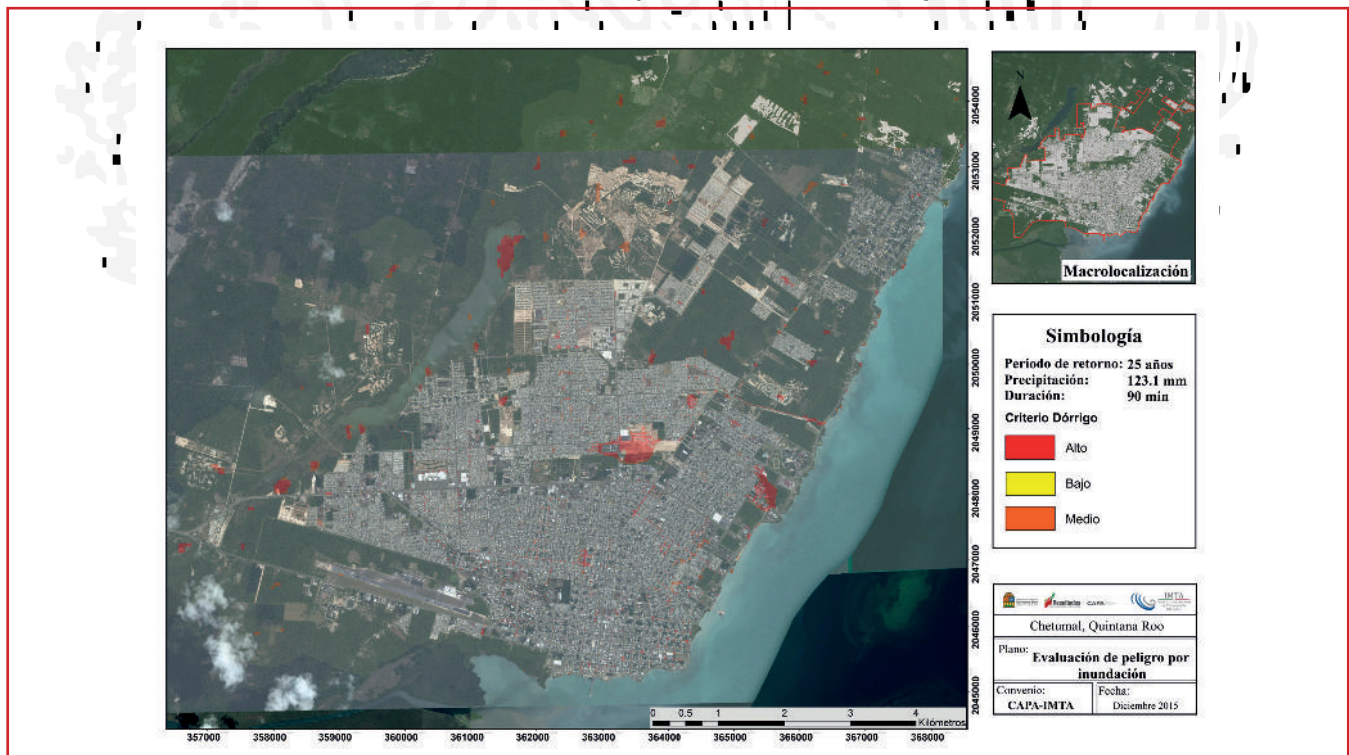


Ilustración 8.55 Evaluación de peligro para un periodo de retorno de 50 años

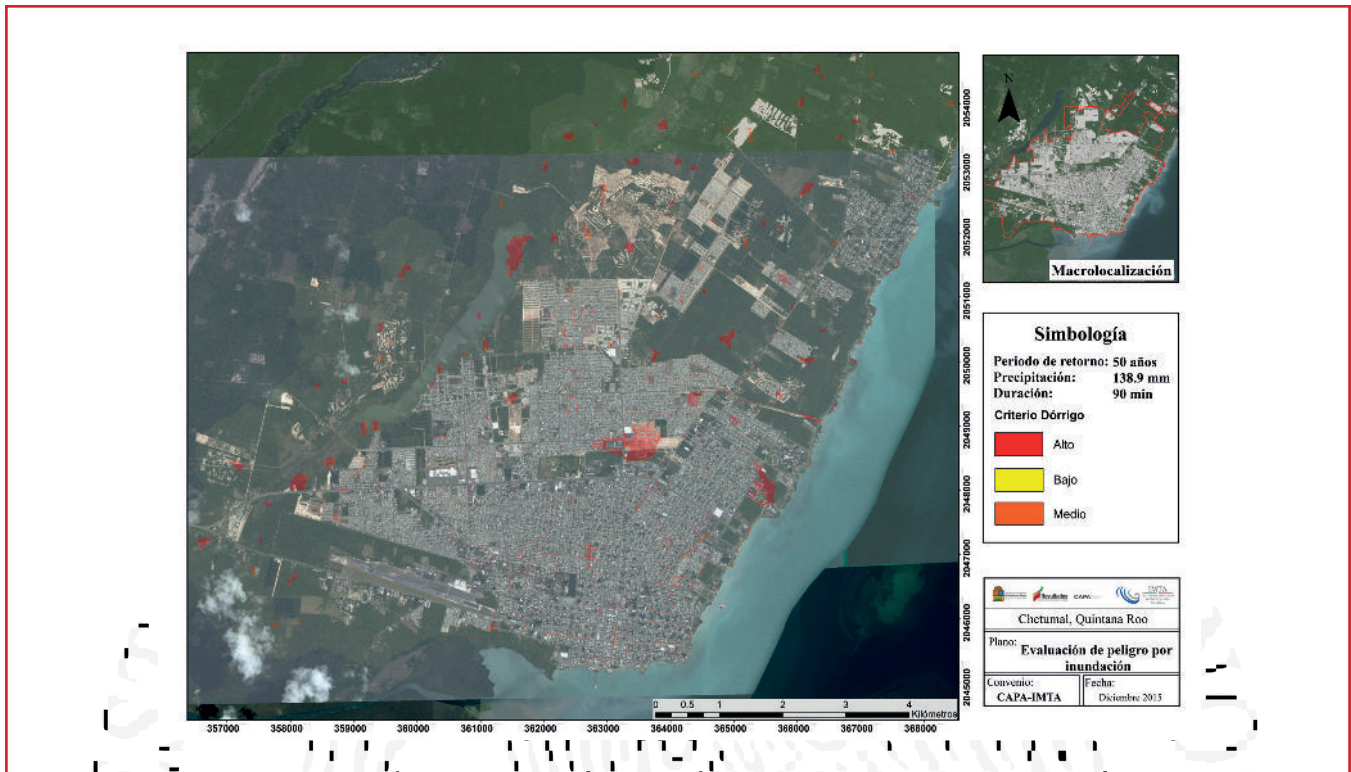
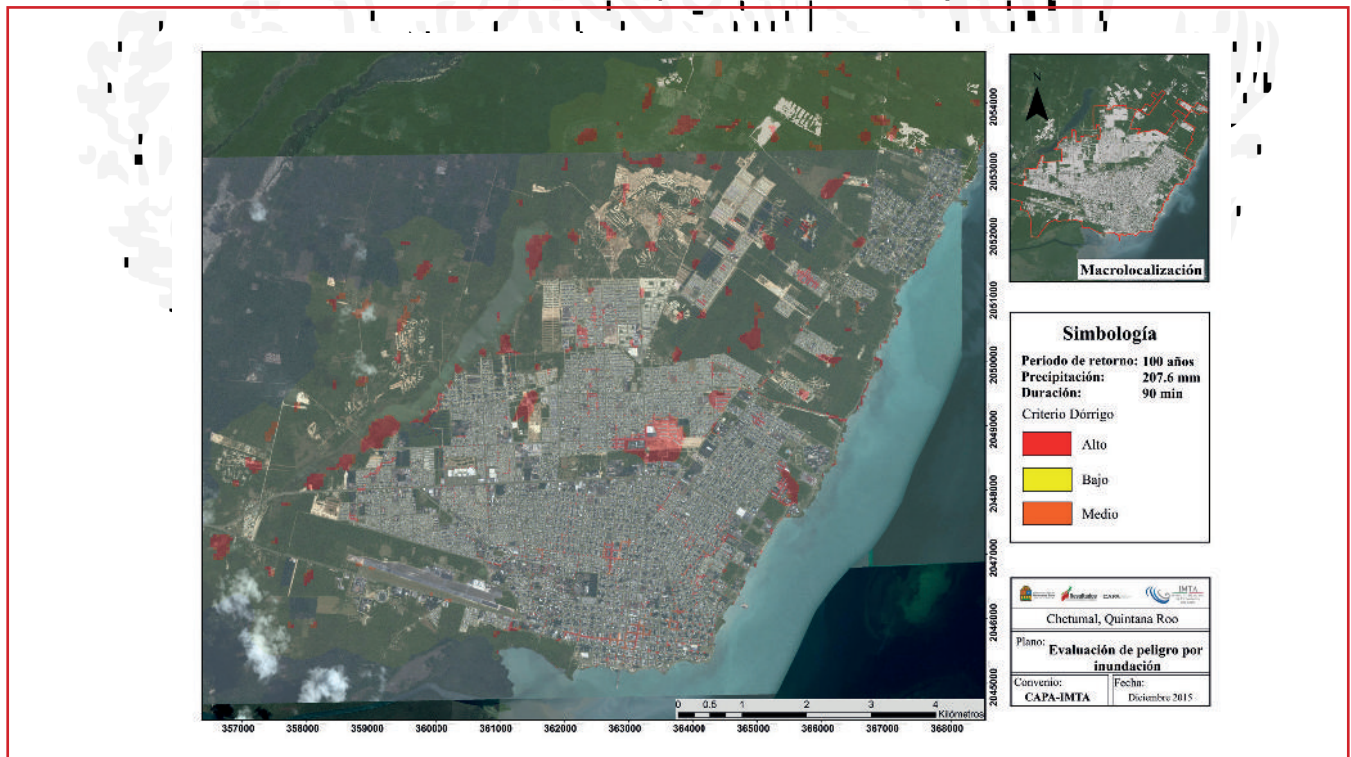


Ilustración 8.56 Evaluación de peligro para un periodo de retorno de 100 años



8.5.1.8. Generación de mapas de tirantes para diferentes periodos de retorno

De la Ilustración 8.57 a la Ilustración 8.62 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.

Ilustración 8.57 Tirantes mayores a 0.25 m para el periodo de retorno de 2 años

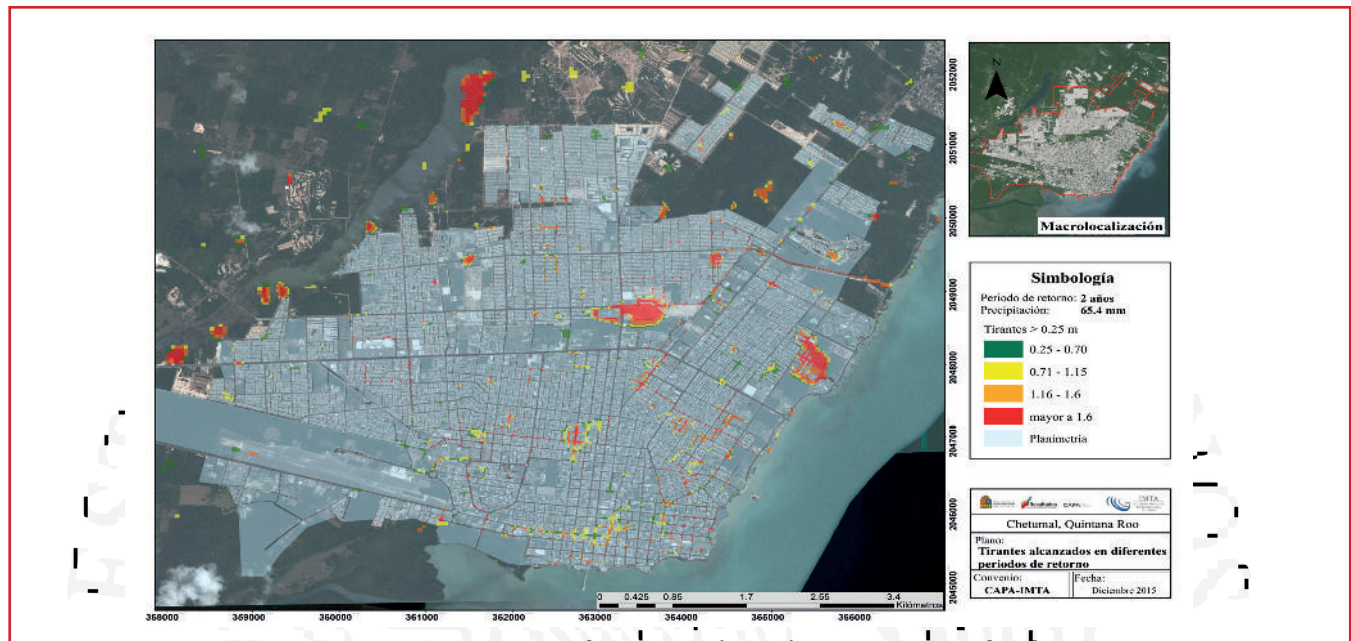


Ilustración 8.58 Tirantes mayores a 0.25 m para el periodo de retorno de 5 años

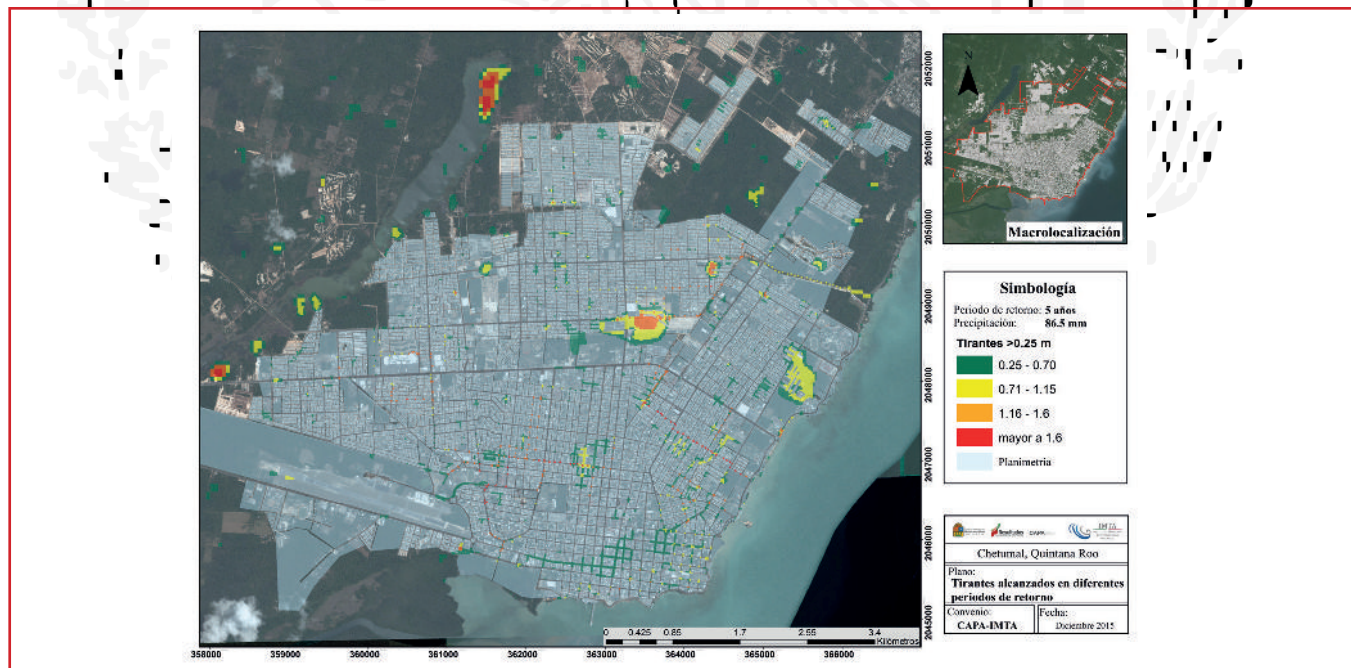


Ilustración 8.59 Tirantes mayores a 0.25 m para el periodo de retorno de 10 años

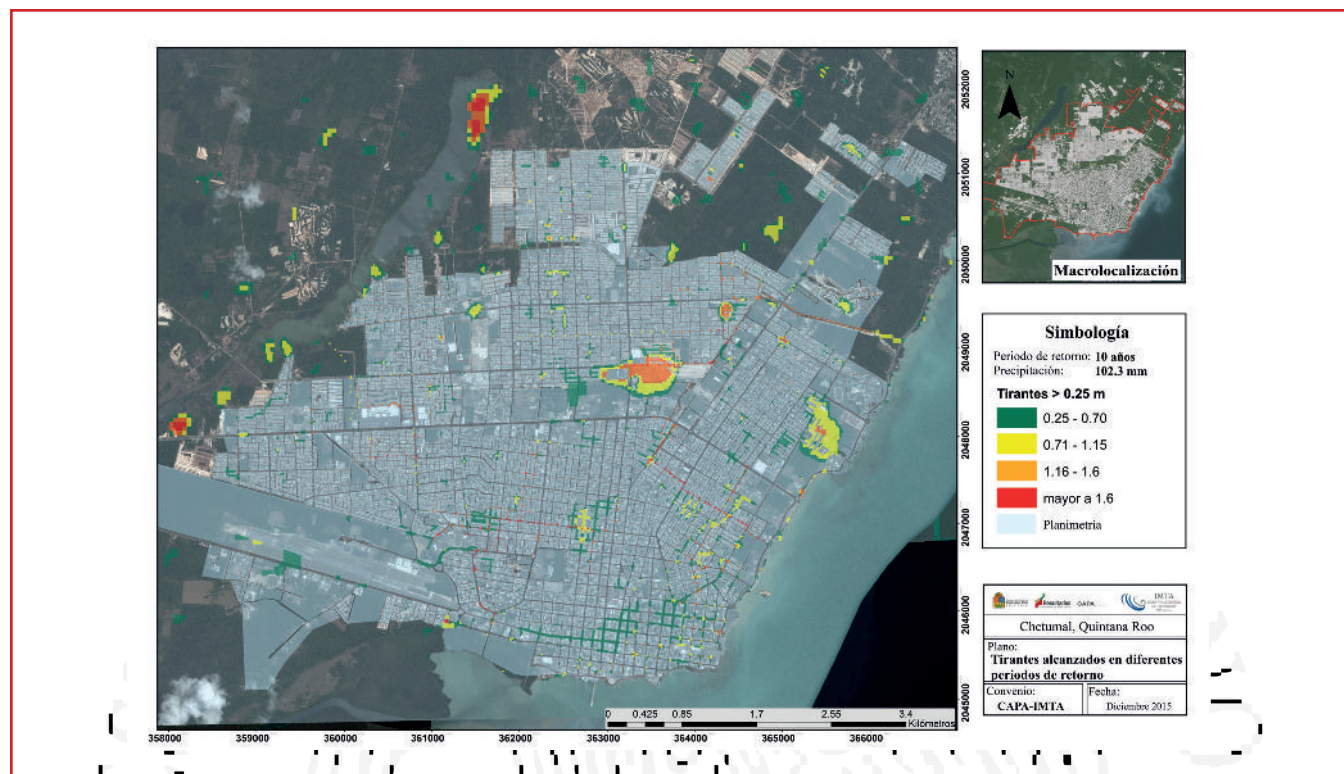


Ilustración 8.60 Tirantes mayores a 0.25 m para el periodo de retorno de 25 años

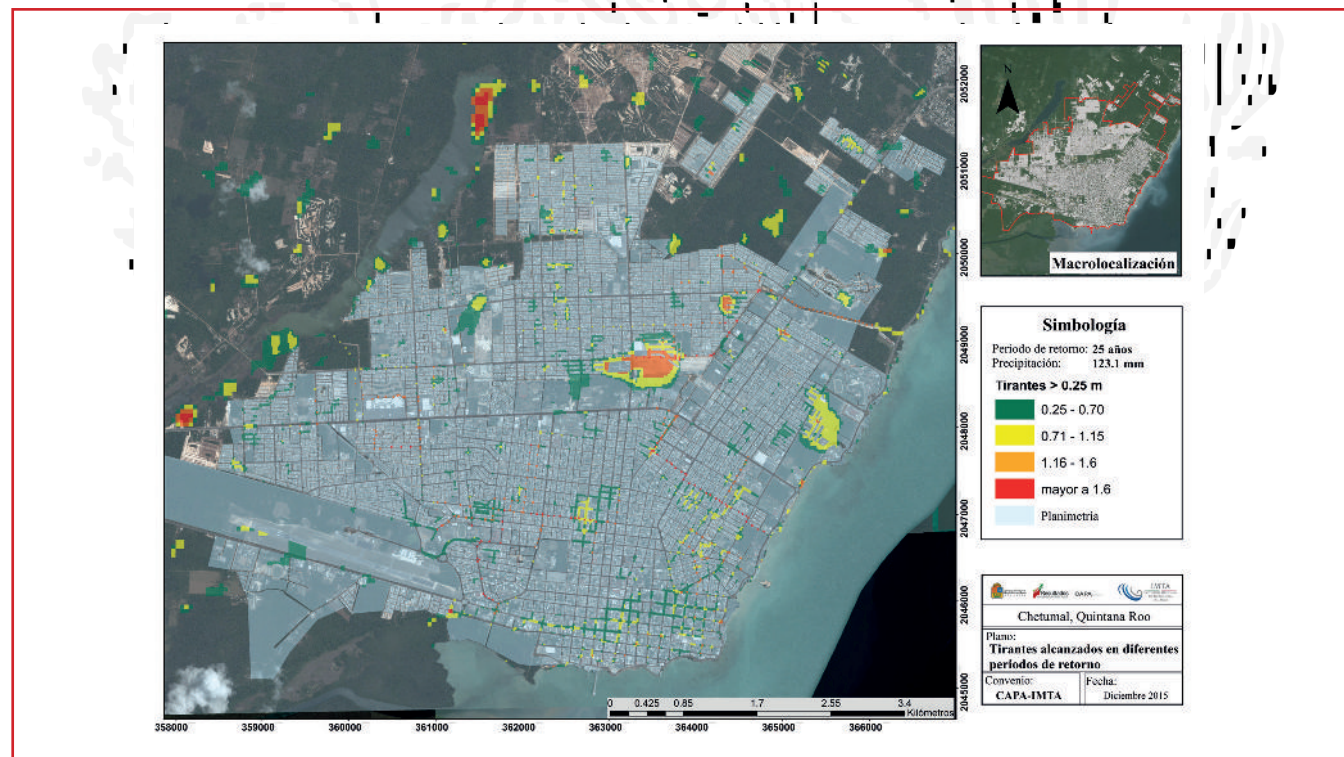


Ilustración 8.61 Tirantes mayores a 0.25 m para el periodo de retorno de 50 años

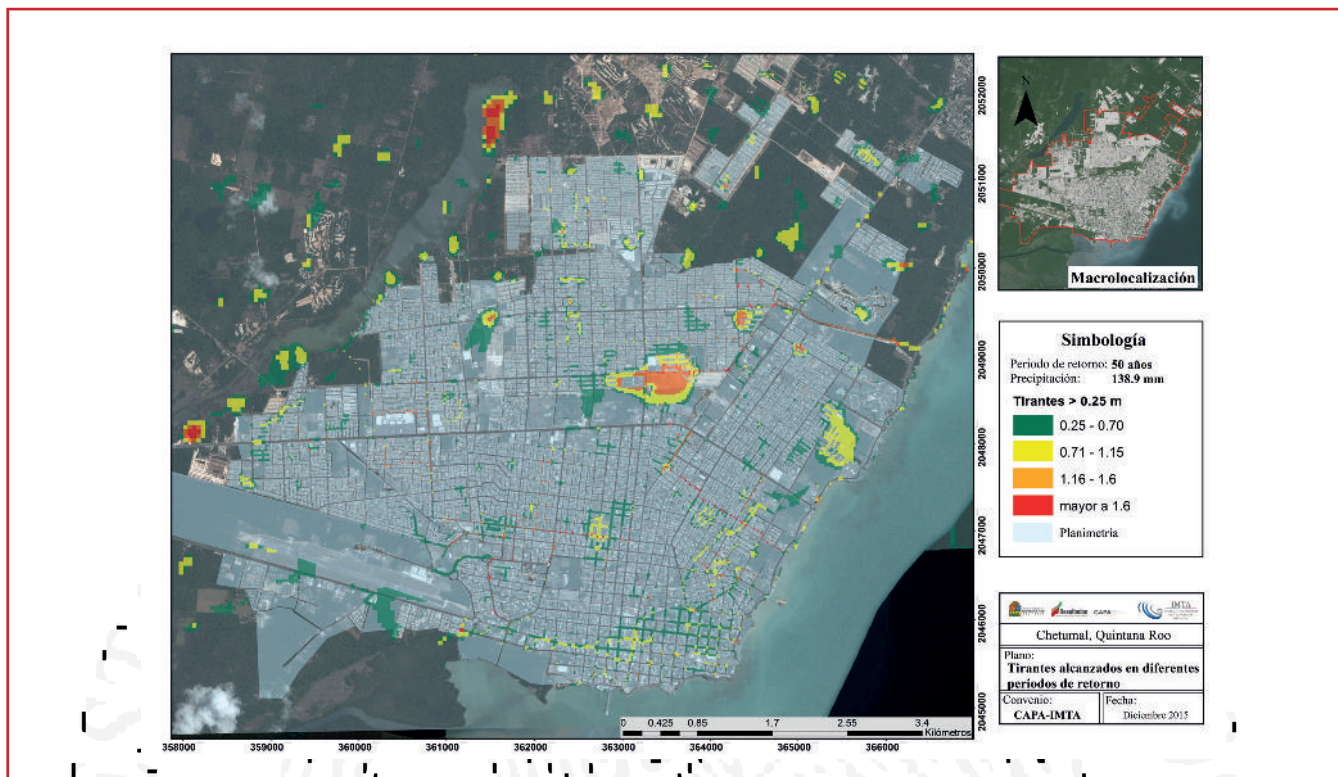
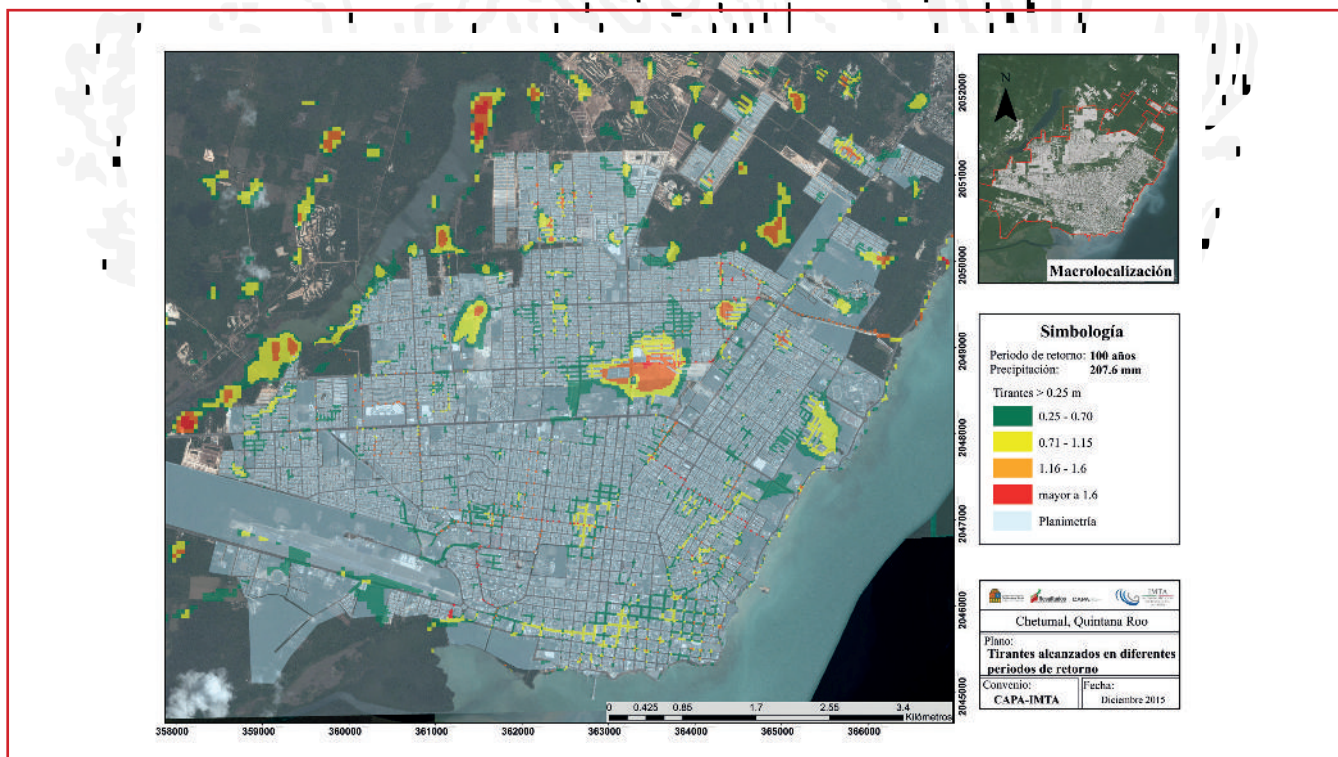


Ilustración 8.62 Tirantes mayores a 0.25 m para el periodo de retorno de 100 años



BIBLIOGRAFÍA

Bautista, F., Palacio-Aponte, G., Quintana, P., Zinck, J.A., 2011, Spatial distribution and development of soils in tropical karst areas from the Peninsula of Yucatan, Mexico: *Geomorphology* 135, 308-321.

Blair, R.W., 1986, Karst Landforms and Lakes (en línea) NASA, *Geomorphology from Space*, Chapter 7, <<http://disc.gsfc.nasa.gov/geomorphology/>>.

Blum J.D., Chamberlain C.P., Hingstone M.P., Koerber C., Marin L.E., Schuraytz B.C., Sharpton V.L., 1993, Isotopic comparison of K/T boundary impact glass with melt rock from the Chicxulub and Manson impact structures. *Nature* 364: 325-327.

Bonet, F., Butterlin, J. 1962, Stratigraphy of the northern part of the Yucatán Peninsula, Guide Book: Field Trip to Peninsula of Yucatan: USA, New Orleans, New Orleans Geological Society, 52-57.

Butterlin, J. (1958). Reconocimiento Geológico Preliminar del Territorio de Quintana Roo. IN SPANISH. Preliminary Geological Reconnaissance of The Quintana Roo Territory.

Campa, M. F., Coney, P. J., 1983, Tectono-stratigraphic terranes and mineral resource distributions in Mexico: *Canadian Journal of Earth Sciences*, 20, 1040-1051.

CAPA (2015A) Información resguardada en el área de planeación, Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del estado de Quintana Roo.

CAPA (2015B) Información resguardada en la base de datos del área de técnica, Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del estado de Quintana Roo.

CAPA (2015C) Información resguardada en la base de datos en la dirección de Gestión Ambiental, Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del estado de Quintana Roo.

Castillo, V (2004). Chetumal: modelo de desarrollo urbano en el trópico húmedo mexicano. *Revista Cesla* 2004. Uniwersytet Warszawski, Polonia.

Cenapred (2004). Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos. Centro Nacional de Prevención de desastres, México D.F. pp. 380-390.

Cenapred (2010) Mapas de precipitación para diferentes duraciones y periodos de retorno. Centro Nacional de Prevención de Desastres, Secretaría de Gobernación, México DF.

Cisneros, R; García, F; y Lopez, M. (2008). Alcantarillado Sanitario y Pluvial para tuberías corrugadas de polietileno de alta densidad. Primera edición. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. México.

COESPO Quintana Roo (2013). Consejo Estatal de Población de Quintana Roo para el 2013. Coespo.qroo.gob.mx/

Covadonga noticias (2012). Fuertes lluvias dejan inundaciones y caos en Chetumal. Recuperado el 16 de agosto del 2012 de covadonganoticias.com

Custodio, E. y M. R., Llamas (1976). "Hidrología Subterránea", Ediciones Omega, Barcelona.

Dengo, G.. 1985, Mid America; Tectonic setting for the pacific margin from southern Mexico to northwestern Colombia; in Nairn, A.E.M, Stehli, F.G.(eds.) The oceanic Basins and Margins, v. 7ª. The Pacific Ocean: New York, Plenum Press, p. 123-180

Driscoll, G.F. (1986). "Groundwater and Wells. Johnson Division, St. Paul, Minn.

El Diario de Yucatán (2013). Inundaciones en Chetumal por la onda tropical 15. Recuperado el 24 de agosto del 2013 de yucatan.com.mx

El informador.mx (2010). Tormenta "Karl" golpea costas mexicanas. Recuperado el 15 de septiembre del 2010 de www.informador.com.mx

El informador.mx (2011). Onda tropical provoca inundaciones en Chetumal. Recuperado el 19 de del 2011 de www.informador.com.mx

El Universal (2012). Chetumal, en riesgo de inundaciones: Conagua. Recuperado el 23 de mayo del 2012 de archivo.eluniversal.com.mx

ERIC II (Extractor rápido de información climatológica v.2.0) (1999), Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, versión disco compacto.

Flores, G. (1952). Geology of Northern British Honduras: GEOLOGICAL NOTES. AAPG Bulletin, 36(2), 404-409.

Fragoso-Servón, P., Bautista, F., Frausto, O., & Pereira, A. (2014). Caracterización de las depresiones kársticas (forma, tamaño y densidad) a escala 1: 50,000 y sus tipos de inundación en el Estado de Quintana Roo, México. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 31(1), 127-137.

Freeze, R. A., y J.A. Cherry (1979). *Groundwater*. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J.

Gestenhauer, Armin, 1969, Eln Karst morphologischer Vergleich zwischen, Florida and Yucatán: *Verhandlungen der deutschen Geographentages*, v. 36, p. 332-341.

Heath, R.C (1982). *Basic Ground-Water-Hydrology*. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2220.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) (2004), extraído de la página web <http://www.inegi.gob.mx>

INEGI. (2015). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Obtenido de <http://www.inegi.gob.mx>

Keppie, J. D., 2004, Terranes of Mexico revisited: 1.3 billion year odyssey: *International Geology Review*, 46, 765-794.

La jornada (2010). Riesgo de inundación en Chetumal. Recuperado el 30 de Septiembre del 2010 de www.jornada.unam.mx

Lugo-Hubp, H.J., Aceves-Quesada, J.F., Espinoza-Pereña, R., 1992, Rasgos geomorfológicos mayores de la Península de Yucatán: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, *Revista*, 10(2), 143-150.

MAPAS (2015) *Drenaje pluvial urbano, Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Comisión Nacional del Agua, México D.F.

MAPAS (2015A) *Alcantarillado Sanitario, Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Libro 20. Comisión Nacional del Agua, México D.F.

MAPAS (2015B) *Datos Básicos para Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado, Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Libro 4. Comisión Nacional del Agua, México D.F.

Morán-Zenteno, D. J., Cerca, M., & Keppie, J. D. (2005). La evolución tectónica y magmática cenozoica del suroeste de México: avances y problemas de interpretación. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 57(3), 319-341.

Ortega-Gutiérrez, F., Elies_Herrera, M., Reyes-Salas, M., Macias-Romo, C., López, R., 1999, Late Ordovician-Early Silurian continental collisional orogeny in southern Mexico and its bearing on Gondwana-Laurentia connections: *Geology*. 27(8): p. 719-722.

Ortega-Gutiérrez, F., Solari L.A., Ortega-Obregón C., Elías-Herrera M. Martens U., Morán-Icál S., Chiquín M., Keppie D.J., Torres de León. Y Shaaf P., 2007, The Maya Chortis Boundary: A tectonostratigraphic approach. *International Geology Review*, v. 49, p. 1-29.

PDU (2005) Programa de Desarrollo Urbano del municipio de Othón P. Blanco del estado de Quintana Roo 2005 .México

Ramos, E. L. (1975). Geological summary of the Yucatan Peninsula. In *The Gulf of Mexico and the Caribbean* (pp. 257-282). Springer US.

Ribera, L. R. (2004). Los mapas de riesgo de inundaciones: representación de la vulnerabilidad y aportación de las innovaciones tecnológicas. *Doc. Anál. Geogr.* 43, 18.

Rodríguez V., J. M., Maldonado S., J., Albornoz G., P. M., & Alcocer Y., V. H. (2012). Programa para el manejo del agua pluvial de la ciudad de Chetumal, Quintana Roo. Jiutepec, Morelos, clave interna HC1235.3; IMTA

Rodríguez J., Alcocer-Yamanaka V., Albornoz P., Santos R. y Llaguno O. (2015). Estudio de Riesgo de inundaciones en zonas urbanas de la República Mexicana. Jiutepec: Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo sobre el Agua, CONAGUA, CONACYT, IMTA

Sapper, R. (1894). Informe sobre la geografía física y la geología de los estados de Chiapas y Tabasco. *Agricultura, Minería e Industria, Boletín*, 3, 187-211.

SARH, (1990) "Sinopsis Geohidrológica del Estado de Quintana Roo", Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Comisión Nacional del Agua; Subdirección General de Administración del Agua; Gerencia de Aguas Subterráneas.

SDP noticias (2011). Reportan inundaciones en Chetumal tras lluvias. Recuperado el 18 de junio del 2001 de www.sdpnoticias.com

SEDUMA (2016) Programa de ordenamiento ecológico local. Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente, Municipio de Othón P. Blanco, Chetumal.

Sedlock, R. L., Ortega-Gutiérrez, F., Speed, C., 1993, Tectonostratigraphic terranes and tectonic evolution of Mexico: Boulder, Colorado, Geological Society of America, Special Paper, 278, 153 p.

SGM, 2005. Carta geológico-minera E16-4-7 (Chetumal) escala 1:250 000. Geología y Geoquímica del Servicio Geológico Mexicano.

