



SEGURIDAD
SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC
COORDINACIÓN NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED
CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES

COORDINACIÓN NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES

Guía básica de análisis e identificación de puntos críticos de inundación en zonas urbanas

Nina Danae Ramírez González

Diego Montealegre Zúñiga

Ángel Bautista Tadeo

**Subdirección de Riesgos por Inundación
Dirección de Investigación**

Av. Delfín Madrigal No. 665, Col. Pedregal de Santo Domingo, Alcaldía
Coyoacán, Ciudad de México. Tel: 52+55 5424 6100
www.gob.mx/cenapred

Los avisos de privacidad están disponibles para consulta en
<https://www.gob.mx/cenapred/es/documentos/avisos-de-privacidad-del-cenapred>
Página 1 de 79





Contenido

1.	OBJETIVO	6
2.	INTRODUCCIÓN	6
3.	FORMATO DE LEVANTAMIENTO DE PUNTOS CRÍTICOS	6
3.1.	Descripción del formato	7
3.2.	Descripción de las secciones del formato	10
3.3.	Guía de conceptos y llenado básico	12
4.	CASOS DE ESTUDIO DE PUNTOS CRÍTICOS DE INUNDACIÓN	14
4.1.	Descripción y registro de punto crítico, ejemplo 01	14
4.2.	Descripción y registro punto crítico, ejemplo 02	18
4.2.1.	Análisis hidráulico e hidrológico del punto 02	21
4.2.2.	Mapas de peligro del punto 02	29
4.3.	Descripción y registro punto crítico, ejemplo 03	34
4.3.1.	Análisis hidráulico e hidrológico del punto 03	37
4.3.2.	Mapas de peligro del punto 03	46
4.4.	Descripción y registro punto crítico, ejemplo 04	53
4.4.1.	Análisis hidráulico e hidrológico del punto 04	68
4.4.2.	Mapas de peligro del punto 04	74
5.	CONCLUSIONES	77
6.	RECOMENDACIONES	78
7.	REFERENCIAS	79





Índice de figuras

Figura 3.1	Secciones en la parte frontal del formato de levantamiento de puntos críticos	8
Figura 3.2	Sección en la segunda parte o área posterior del formato de levantamiento de puntos críticos.....	9
Figura 3.3	Sección de datos generales.....	10
Figura 3.4	Sección referente al tipo de inundación y características generales	10
Figura 3.5	Sección para la descripción de afectaciones	11
Figura 3.6	Descripción de las características del punto crítico de inundación	11
Figura 3.7	Área destinada a la descripción del evento	12
Figura 3.8	Sección para la ubicación del punto crítico.....	12
Figura 4.1	Imágenes de caja de coladeras pluviales paralela a av. del Imán y los pozos de visita de la red de drenaje (Fuente: SRI, 2020).....	15
Figura 4.2	Registro de intensidad de precipitación del 09 de julio de 2020 en el disdrómetro instalado en el Instituto de Ingeniería de la UNAM.....	15
Figura 4.3	Imagen de la caja de coladeras pluviales paralelas al sentido de Av. del Imán y su estado posterior al evento de inundación (Fuente: SRI)	16
Figura 4.4	Formato de registro de puntos críticos de inundación, llenado para el ejemplo de los cruces de las avenidas Delfín Madrigal, Aztecas y del Imán	17
Figura 4.5	Azolvamiento en bocas de tormenta ubicadas en Monte Carmelo, imagen de la izquierda ubicada en zona alta e imagen izquierda en zona baja.....	18
Figura 4.6	Evento de inundación en el punto de estudio, un vehículo quedó varado al intentar cruzar la zona anegada	19
Figura 4.7	Arrastre de suelo y rocas de tamaño considerable acumuladas en las vialidades, La Barranca cruce con División del Norte, (Fuente: medios digitales)	20
Figura 4.8	Formato de registro de puntos críticos de inundación, llenado para el ejemplo del cruce de Camino Real y monte Carmelo.....	21
Figura 4.9	Cuenca de aportación a la zona baja de División del Norte	22
Figura 4.10	Hietogramas para el análisis del punto 02.....	23
Figura 4.11	Principales escurrimientos y puntos de control	23
Figura 4.12	Hidrogramas en los puntos de control 1 y 2.....	24
Figura 4.13	Mallado en calles Monte Carmelo, La Barranca y zona baja	24
Figura 4.14	Tipos de bocas de tormenta, tomada del MAPAS (CONAGUA, 2019)	25
Figura 4.15	Dimensiones de las bocas de tormenta 1, 3 y 4 en metros	26
Figura 4.16	Dimensiones de boca de tormenta 2 en metros	26
Figura 4.17	Profundidades para el periodo de retorno de 10 años	27
Figura 4.18	Profundidades para el periodo de retorno de 20 años	28
Figura 4.19	Profundidades para el periodo de retorno de 50 años	28
Figura 4.20	Profundidades para el periodo de retorno de 100 años	28
Figura 4.21	Mapa de profundidades asociado al Tr 10 años.....	29
Figura 4.22	Mapa de velocidades asociado al Tr 10 años	29
Figura 4.23	Mapa de severidad asociado al Tr 10 años	30
Figura 4.24	Mapa de profundidades asociado al Tr 20 años	30
Figura 4.25	Mapa de velocidades asociado al Tr 20 años.....	31
Figura 4.26	Mapa de severidad asociado al Tr 20 años	31





Figura 4.27	Mapa de profundidades asociado al Tr 50 años.....	32
Figura 4.28	Mapa de velocidades asociado al Tr 50 años	32
Figura 4.29	Mapa de severidad asociado al Tr 50 años.....	33
Figura 4.30	Mapa de profundidades asociado al Tr 100 años	33
Figura 4.31	Mapa de velocidades asociado al Tr 100 años	34
Figura 4.32	Mapa de severidad asociado al Tr 100 años	34
Figura 4.33	Boca de tormenta, identificada como punto crítico de inundación, ubicada en la calle Camino Nacional, San Lucas Xochimilco.....	35
Figura 4.34	Intensidad de precipitación registrada en el disdrométero ubicado en Xochimilco	36
Figura 4.35	Reporte de afectaciones en Xochimilco por el evento del 04 de agosto de 2020, fotografías tomadas del twitter oficial de la alcaldía	36
Figura 4.36	Cuenca del vaso regulador San Lucas.....	37
Figura 4.37	Isoyetas asociadas al periodo de retorno de 20 años para la cuenca del vaso regulador San Lucas.....	38
Figura 4.38	Isoyetas asociadas al periodo de retorno de 50 años para la cuenca del vaso regulador San Lucas.....	38
Figura 4.39	Isoyetas asociadas al periodo de retorno de 100 años para la cuenca del vaso regulador San Lucas.....	39
Figura 4.40	Isoyetas asociadas al periodo de retorno de 200 años para la cuenca del vaso regulador San Lucas.....	39
Figura 4.41	Modelo digital de elevaciones utilizado para la simulación numérica de inundaciones.....	40
Figura 4.42	Hietogramas asociados para los periodos de retorno en análisis con duración de un día.....	41
Figura 4.43	Altura de precipitación distribuida en el área de la cuenca para un Tr de 20 años y duración de una hora	41
Figura 4.44	Altura de precipitación distribuida en el área de la cuenca para un Tr de 50 años y duración de una hora	42
Figura 4.45	Altura de precipitación distribuida en el área de la cuenca para un Tr de 100 años y duración de una hora	42
Figura 4.46	Altura de precipitación distribuida en el área de la cuenca para un Tr de 20 años y duración de una hora	43
Figura 4.47	Vista suavizada de los elementos de cálculo en el modelo definitivo	43
Figura 4.48	Distribución y tamaño de los elementos de cálculo dentro de la cuenca.....	44
Figura 4.49	Densidad de los diferentes tamaños de elementos en la mala de cálculo	44
Figura 4.50	Acercamiento a la zona del punto crítico de inundación y ubicación de los puntos de control.....	45
Figura 4.51	Hidrogramas obtenidos en el punto de control P1.....	45
Figura 4.52	Hidrogramas obtenidos en el punto de control P2	46
Figura 4.53	Mapa de profundidades asociado al Tr 20 años.....	47
Figura 4.54	Mapa de velocidades asociado al Tr 20 años	47
Figura 4.55	Mapa de severidad asociado al Tr 20 años.....	48
Figura 4.56	Mapa de profundidades asociado al Tr 50 años.....	48
Figura 4.57	Mapa de velocidades asociado al Tr 50 años	49
Figura 4.58	Mapa de severidad asociado al Tr 50 años.....	49
Figura 4.59	Mapa de profundidades asociado al Tr 100 años	50
Figura 4.60	Mapa de velocidades asociado al Tr 100 años.....	50

Av. Delfín Madrigal No. 665, Col. Pedregal de Santo Domingo, Alcaldía
Coyoacán, Ciudad de México.Tel: 52+55 5424 6100
www.gob.mx/cenapred

Los avisos de privacidad están disponibles para consulta en
<https://www.gob.mx/cenapred/es/documentos/avisos-de-privacidad-del-cenapred>
Página 4 de 79





Figura 4.61	Mapa de severidad asociado al Tr 100 años	51
Figura 4.62	Mapa de profundidades asociado al Tr 200 años	51
Figura 4.63	Mapa de velocidades asociado al Tr 200 años	52
Figura 4.64	Mapa de severidad asociado al Tr 200 años.....	52
Figura 4.65	Población de la Ciudad de México (Fuente: INEGI 2015)	53
Figura 4.66	Inundaciones registradas en la Ciudad de México 2015-2020. Fuente: Catálogo de inundaciones, 2020	56
Figura 4.67	Georreferencia de inundaciones atendidas por Protección Civil de Ciudad de México. (Fuente: Secretaría de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil)	58
Figura 4.68	Indicador de peligro por AGEB (Fuente: Secretaría de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil).....	58
Figura 4.69	Coladera de piso (núm. 2) en posición transversal al flujo	59
Figura 4.70	Coladera de piso rejilla azolvada.....	60
Figura 4.71	Coladera de piso longitudinal sin capacidad de captación	61
Figura 4.72	Coladera de piso (núm. 1) en posición longitudinal, obstruida por vegetación	62
Figura 4.73	Coladera de piso núm. 3, totalmente obstruida por basura y vegetación	63
Figura 4.74	Coladera de banqueta núm.1 con presencia de vegetación (Fuente: SRI, 2020).....	64
Figura 4.75	Obstrucción en coladera de banqueta núm.3 (Fuente: SRI, 2020)	64
Figura 4.76	Pozos de visitas sobre la vía camino a San Lorenzo	66
Figura 4.77	Ubicación de las estructuras de alcantarillado.....	68
Figura 4.78	Limpieza del raster de terreno	68
Figura 4.79	Obtención de las microcuencas	69
Figura 4.80	Cuentas y ríos.....	70
Figura 4.81	Mapa de factores de convectividad (Fuente: Baeza, 2007)	71
Figura 4.82	Distribución de precipitación para diferentes periodos de retorno	72
Figura 4.83	Precipitación acumulada para diferentes periodos de retorno	72
Figura 4.84	Hidrograma de microcuenca uno para los diferentes periodos de retorno.....	73
Figura 4.85	Hidrograma de microcuenca dos para los diferentes periodos de retorno.....	73
Figura 4.86	Escenario de inundación para un periodo de retorno de 20 años.....	74
Figura 4.87	Escenario de inundación para un periodo de retorno de 50 años.....	74
Figura 4.88	Escenario de inundación para un periodo de retorno de 100 años.....	75
Figura 4.89	Escenario de inundación para un periodo de retorno de 200 años.....	75
Figura 4.90	Escenario de inundación para un periodo de retorno de 500 años.....	76





1. OBJETIVO

Ante la carencia de una metodología de uso común para la ubicación y análisis de inundaciones como eventos frecuentes en puntos o zonas específicas de ciudades o incluso de calles y caminos rurales, se pretende establecer un formato unificado entre las unidades de atención de emergencias tanto de Protección Civil como en la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

Además identificar las herramientas mínimas necesarias para el correcto llenado de un formulario diseñado para la tipificación de sitios afectados recurrentemente por inundaciones, los cuales debido a las condiciones físicas o inadecuado funcionamiento de infraestructura de servicio, puedan ser catalogados como **Puntos Críticos de Inundación**. Así como, establecer casos de estudio donde trabajar no sólo con el reporte de la afectación, si no que se realice el análisis hidrológico o hidráulico con el cual se podrá entender mejor el peligro por inundación de dicha zona e, incluso, proponer y estudiar una probable solución.

Por lo anterior, se pretende unificar el criterio de obtención de datos durante y posterior a los eventos de inundación, con la intención que las unidades locales de protección civil y las brigadas de Protección a la Infraestructura y Atención de Emergencias (PIAE) de la CONAGUA cuenten con una guía rápida de reporte de afectaciones por inundación y a la vez se obtenga la información mínima necesaria, para posteriormente ser analizada y registrada en una base de datos.

2. INTRODUCCIÓN

En la actualidad con el desarrollo y progreso de la sociedad, el crecimiento y actividades humanas que han aumentado, con lo cual también ha crecido el impacto de los fenómenos naturales, tal es el caso de las inundaciones que anteriormente solían presentarse con mayor frecuencia, aunque no de manera exclusiva en zonas con presencia de cuerpos de agua como ciudades o poblados cerca de ríos o arroyos, que en la temporada de lluvias y huracanes presentan cambios referentes al aumento de los escurrimientos o, en el caso, de arroyos que la mayor parte del año están secos, que ahora presentan caudal.

En algunos casos estas inundaciones son de gran recurrencia en el mismo sitio, por lo que generan daños año con año o cada que se presenta algún evento hidrometeorológico, así es como se produce el concepto de **Punto Crítico de Inundación**, el cual definiremos como la *ubicación frecuente de una inundación que cause daños o afectaciones de cualquier tipo como a la infraestructura en general, de logística, viales, económicas o naturales.*

Este trabajo además de exponer los campos del formato para el levantamiento de puntos críticos y de brindar las herramientas mínimas para su correcto llenado, pretende establecer una guía conceptual para un análisis técnico de ejemplos de puntos críticos en zonas urbanas, de los cuales se comenzara con su levantamiento para posteriormente caracterizar las condiciones físicas, hidráulicas e hidrológicas, que quedara como resultado en un análisis de la inundación y si la información disponible lo permite generar el mapa de peligro.

3. FORMATO DE LEVANTAMIENTO DE PUNTOS CRÍTICOS

El formato de levantamiento cuenta con distintos campos que se describirán en este capítulo, los cuales en conjunto tienen como fin recabar de manera

Av. Delfín Madrigal No. 665, Col. Pedregal de Santo Domingo, Alcaldía
Coyoacán, Ciudad de México. Tel: 52+55 5424 6100
www.gob.mx/cenapred

Los avisos de privacidad están disponibles para consulta en
<https://www.gob.mx/cenapred/es/documentos/avisos-de-privacidad-del-cenapred>
Página 6 de 79





puntual información para la caracterización, identificación, ubicación y el análisis de una zona, obra hidráulica o infraestructura que presenten algún tipo de inundación, dentro de los cuales los principales y no por ser los de mayor importancia, sino porque es la información mínima necesaria que se debe considerar y obtener para identificar un punto crítico de inundación, son las áreas destinadas a recolectar la información correspondiente a la ubicación y clasificación de inundación.

3.1. Descripción del formato

El formato propuesto consta de seis secciones:

1. *Datos generales*; que va desde quien realiza el reporte, cuando sucedió y se reportó el evento, la frecuencia con que se presenta.
2. *Tipo de inundación*; con características como son: su tipo y particularidades de extensión, profundidad y duración.
3. *Afectaciones*; donde se enumeran y describen los daños.
4. *Identificación y descripción del punto crítico*; aquí se pondrán las medidas o principales rasgos de la infraestructura, cuerpo de agua o generador de la inundación.
5. *Descripción general del evento*; en esta sección se refieren las condiciones que generaron, como se desarrolló y la atención que se dio al evento de inundación.
6. *Ubicación de punto crítico y polígono de inundación y memoria fotográfica*; en esta sección se desarrolla de manera gráfica, por medio de bocetos, gráficas, mapas y croquis el punto crítico.

La figura 3.1 muestra las secciones en la parte frontal del formato si este es impreso en una hoja, si esto se realiza en a doble cara, en la parte posterior, figura 3.2, se encuentra la última sección destinada a la sección gráfica.





Centro Nacional de
Prevención de Desastres

**Formato General de Levantamiento
de Puntos Críticos de Inundación**

Subdirección de Riesgos
por Inundación

1

Unidad que reporta: _____

Numero de reporte: _____

Fecha del reporte: _____ Fecha del evento de inundación: _____

Frecuencia del evento: _____

2

Tipo de inundación

Pluvial _____ Fluvial _____ Ambas _____

Otro: _____

Area de afectación (m2) _____ Profundidad máxima (m) _____ Profundidad promedio (m) _____ Duración aproximada _____

3

Afectaciones

Tipo	Cantidad	Anotaciones/Comportamiento

Nombre de localidades/colonias/municipio _____

4

Identificación y descripción del punto crítico:

Tipo de infraestructura	Dimensiones/descripción

Coordenadas geográficas _____ Latitud: _____ Longitud: _____

5

Descripción general del evento (precipitación, atención de afectaciones, etc.)

Figura 3.1 Secciones en la parte frontal del formato de levantamiento de puntos críticos





Centro Nacional de Prevención de Desastres	Formato General de Levantamiento de Puntos Críticos de Inundación	Subdirección de Riesgos por Inundación
Ubicación del punto crítico y polígono de inundación (croquis) y memoria fotográfica		
6		

Figura 3.2 Sección en la segunda parte o área posterior del formato de levantamiento de puntos críticos





3.2. Descripción de las secciones del formato

La primera sección, figura 3.3, se relaciona a la unidad, persona o grupo de trabajo, que atiende la emergencia y que recolecta la información. Se solicita fecha del último evento de inundación, del más significativo o del último, si es que se tiene información y fecha del registro. Además, indicar la frecuencia estimada de la afectación. Esta información permitirá llevar un control y en su momento, una estadística e inventario de los registros de eventos de inundación.

Unidad que reporta:		Número de reporte:
Fecha del reporte	Fecha del evento de inundación	Frecuencia del evento

Figura 3.3 Sección de datos generales

La segunda sección, figura 3.4, se especifica el tipo de inundación y sus características más generales, como lo es la profundidad promedio, la máxima y al área de afectación, estos valores pueden ser recopilados después ocurrido el evento y ser actualizados posteriormente con información de los eventos más relevantes que sucedan en el mismo lugar. No obstante, en zonas urbanas de forma general el origen de las aguas es de tipo pluvial, pueden existir canales o ríos que originen inundaciones.

Tipo de inundación			
Pluvial	Fluvial	Ambas	
Otro:			
Área de afectación (m2)	Profundidad máxima (m)	Profundidad promedio (m)	Duración aproximada

Figura 3.4 Sección referente al tipo de inundación y características generales

En *afectaciones*, figura 3.5, se especifica la población y bienes afectados, la cantidad de cada uno de ellos, las localidades y algunas anotaciones que se crean relevantes, como el arrastre de materiales orgánicos, escombros o hasta vehículos. Según sea el caso se puede describir la ubicación de las viviendas afectadas, hecho importante ya que esta información contribuye a la priorización de la atención de puntos de inundación que se tengan en la zona urbana, en el posible escenario de que múltiples áreas de inundación ocurran simultáneamente.





Afectaciones		
Tipo	Cantidad	Anotaciones/Comportamiento
Nombre de localidades/colonias/municipio _____		

Figura 3.5 Sección para la descripción de afectaciones

Consecutivamente se identifica, figura 3.6, y describen las características de la zona, obra hidráulica o estructura que presenta la problemática de inundaciones, en las áreas urbanas éstas pueden ser pasos a desnivel, zonas bajas o vados, alcantarillas, bocas de tormenta, canales, arroyos o ríos o sus cruces con caminos y carreteras. Lo que ayuda a contar con referencia física y geográfica del lugar a la cual lo más conveniente es asignar coordenadas geográficas para la representación de la inundación.

Identificación y descripción del punto crítico:	
Tipo de infraestructura	Dimensiones/descripción
Coordenadas geográficas Latitud: _____ Longitud: _____	

Figura 3.6 Descripción de las características del punto crítico de inundación

De manera adicional, se incluye la *descripción general del evento*, figura 3.7, esta sección ayudará a identificar la problemática y su origen, además de registrar datos para facilitar posteriores análisis y asociar el evento a sucesos posteriores o previamente documentados, como pueden ser datos de precipitación, profundidad de inundación, taponamiento de alguna alcantarilla, bloqueo vial o cualquier suceso relacionado, etc.





Descripción general del evento (precipitación, atención de afectaciones, etc.)

Figura 3.7 Área destinada a la descripción del evento

Finalmente, el formato propuesto, incluye un área para la representación gráfica de la ubicación, esquematización del polígono de inundación a manera de croquis, fotografías de eventos y de las obras hidráulicas, cauces, ríos o cuerpos de agua involucrados, figura 3.8.

Ubicación del punto crítico y polígono de inundación (croquis) y memoria fotográfica

Figura 3.8 Sección para la ubicación del punto crítico

3.3. Guía de conceptos y llenado básico

Antes de describir los conceptos que se abordan en el formato de levantamiento, es conveniente tener presente la definición de inundación, que se considera en este documento y la cual es:

Presencia de agua en zonas donde normalmente no se encuentra y que de manera general provoca afectaciones a la población, son generadas por el desbordamiento de un cauce, desfogue de presas o falla de infraestructura hidráulica (fluviales), acumulación de agua en las zonas bajas o debido a las características físicas del sitio, por incapacidad de drenaje (pluviales), incremento en cuerpos de agua de origen lacustre y costeras ocasionadas por la presencia de ciclones tropicales o tsunamis.

Frecuencia del evento. Se refiere al número de veces que ocurre un evento de inundación, sin importar la magnitud de la afectación, en lapso de tiempo determinado, dado que un escenario de magnitud igual o similar puede ocurrir varias veces durante un año o apenas una ocasión cada cinco años, por lo que es necesario indicar el periodo de tiempo. Si el criterio de la persona o de la institución es realizar un levantamiento de un punto





de inundación este será independiente de si el evento es poco frecuente o muy frecuente, y se debe priorizar de si ocurren o no afectaciones relevantes.

Tipo de inundación. La Ley General de Protección Civil reconoce cuatro tipos de inundación: pluviales, fluviales, costeras y lacustres. Los dos primeros tipos pueden considerarse los más frecuentes o comunes en las zonas urbanas, por lo que en el formato se especifican estos dos tipos, aunque existen otras situaciones que pueden ocasionar afectaciones por inundación, por ejemplo, la falla en el sistema de alcantarillado o descarga de una presa, y estos pueden ser especificados en el espacio de *otro*.

Inundaciones pluviales. Ocurren cuando, por distintos factores como la saturación del suelo, urbanización, etc., el suelo pierde o disminuye su capacidad de infiltración del agua de lluvia y por lo tanto esta se acumula en la superficie. En las zonas urbanas debido a los cambios del suelo, inherente al crecimiento poblacional, al cubrir la capa natural con materiales impermeables (asfaltado de calles, invasiones a zonas de recarga, etc.) es común este tipo de inundaciones.

Inundaciones fluviales. Cuando se alcanza la capacidad máxima de conducción de ríos, arroyos o canales los volúmenes excedentes son trasladados a las llanuras de inundación y zonas bajas aledañas a los cauces.

Inundaciones costeras. Se deben a la introducción del agua de los océanos o mares hacia costa dentro, ocurren por los efectos de los ciclones tropicales como la marea de tormenta (incremento en el nivel del mar debido a la combinación de la marejada ciclónica y la marea astronómica) y oleaje, los tsunamis también son una causa, aunque poco frecuente, de inundaciones costeras¹.

Inundaciones lacustres. Ocurren por el incremento de los niveles de humedales, lagos, lagunas, etc.

Por otro lado, para caracterizar a la inundación se incluye la variable de profundidad

Profundidad máxima. Corresponderá a la parte topográfica más baja, esta puede ser recopilada con base en las señales en muros, daños que dejará la inundación en los bienes expuestos o por la propia experiencia de las personas afectadas.

Profundidad promedio. De manera cualitativa y en función del área de afectación.

Duración aproximada. Se refiere tiempo que permanece la afectación, por ejemplo, la duración que tendrá una inundación en una vialidad al impedir o al ralentizar la circulación normal de vehículos, será el tiempo en el que se inicia la afectación hasta que se normaliza la circulación.

En cuanto a las **afectaciones**, éstas pueden ser de distintos tipos y dependen de la zona en que ocurre la inundación, que pueden ir desde cortes al flujo vehicular, anegación de pequeños comercios, hasta inundaciones en grandes centros comerciales, de gran número de viviendas o de solo un par, arrastre de materiales orgánicos como leña o basura, hasta el de árboles o vehículos, aquí también se puede fraccionar el grado de afectación, por ejemplo, suponiendo que 30 viviendas son afectadas por inundaciones al interior, pero solamente 10 de ellas tuvieron daños en electrodomésticos y el resto daños menores en muebles, por lo tanto es relevante la sección de *anotaciones/comportamiento* en donde se debe especificar con el mayor detalle los daños observados.





Identificación y descripción del punto crítico. Es el lugar, estructura, alcantarilla, bajo puente, boca de tormenta, puente, sección de canal o río, presa, a la cual se puede asociar un evento o el origen de la inundación, en caso de no ser posible identificar la estructura o causa aparente (como un sistema de drenaje pluvial, muy común en las ciudades) se puede describir la zona de mayor afectación.

Descripción general del evento (precipitación, atención de afectación, etc.). Se debe de elaborar un recuento y descripción del desarrollo de la inundación, iniciando por ejemplo con la hora de inicio y término de la precipitación, si esta ocurrió, o no, de manera intensa (de manera cualitativa), si es posible al momento o posteriormente asociar a datos climatológicos o hidrometeorológicos, si se presentó en la infraestructura u obra identificada o si la afectación se encuentra alejada de ésta, si la emergencia o afectaciones fueron atendidas o si incluso se realizaron acciones de mitigación o corrección. También, de ser posible indicar la dirección de escurrimientos dentro de la zona urbana. Entre más información y detalle se incluya, se facilitará en mayor medida para identificar la problemática y facilitará posteriores análisis hidrológicos e hidráulicos.

Finalmente se complementa toda la información por medio de un reporte gráfico, donde es primordial ubicar el punto crítico de inundación, representado en un croquis o boceto junto con el polígono de inundación estimado, se pueden adjuntar evidencia fotográfica de las afectaciones y de la zona inundada.

4. CASOS DE ESTUDIO DE PUNTOS CRÍTICOS DE INUNDACIÓN

En esta sección se presentarán ejemplos prácticos de la utilización del formato para el registro, identificación y registro de puntos críticos de inundación, además de cómo, con la información obtenida por medio de éste, se puede establecer un análisis y representación de peligro por inundación.

4.1. Descripción y registro de punto crítico, ejemplo 01

Este punto crítico de inundación se encuentra en la alcaldía Coyoacán, específicamente en la colonia Pedregal de Carrasco, en una zona completamente urbanizada, con una topografía plana, justo antes de comenzar el ascenso de las pendientes del Ajusco.

Previo a la interconexión y cruce de las avenidas, Delfín Madrigal, Aztecas y del Imán, en esta última, en dirección sur poniente a oriente, se encuentran dos cajas pluviales desarenadoras y tres pozos de visita, una de las cajas cuenta con una hilera de cinco coladeras con rejillas, perpendiculares al sentido de la vialidad, la segunda estructura tiene dos líneas con cuatro coladeras paralelas a la avenida, un detalle a mencionar es el tamaño de las rejillas de 0.5 x 0.5 m.

Por la cantidad de infraestructura en la vialidad y testimonios personales de gente que transita por la zona, se admite una gran incidencia de inundaciones menores y anegaciones en dicho cruce, el cual cuenta con cierta relevancia dado que comunica a la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Autónoma de México, las colonias populares Pedregal de Santa Úrsula, Pedregal de Santo Domingo, Ajusco y Pedregal de Carrasco y la zona habitacional Olímpica, además de ser conexión con la avenida de los Insurgentes Sur, de las principales en la Ciudad de México.





Figura 4.1 Imágenes de caja de coladeras pluviales paralela a av. del Imán y los pozos de visita de la red de drenaje (Fuente: SRI, 2020)

En la figura 4.1 se muestra parte de la infraestructura, como coladeras y pozos de visita, en la zona considerada como punto crítico de inundación.

Evento ocurrido el 09 de julio de 2020

El 09 de julio de 2020 el Observatorio Hidrológico del Instituto de Ingeniería de la UNAM registró una precipitación acumulada de 23.13 mm en hora y de 25.57 mm en dos horas en su disdrométero instalado en el mismo instituto, que se encuentra a 2.3 km de distancia del punto de análisis; se debe tomar en cuenta la intensidad de la lluvia, figura 4.2, ya que en tan sólo 30 minutos se acumularon 18.62 mm, cantidad que equivale al 72% de la lluvia acumulada en dos horas.

En la figura 4.3 se observa la caja de coladeras pluviales paralela al sentido de Av. Del Imán en condiciones normales, en comparación al estado en que se encontró al día siguiente de presentarse anegaciones en la zona, donde se observó que estuvo completamente cubierta por sedimentos y basura.



Figura 4.2 Registro de intensidad de precipitación del 09 de julio de 2020 en el disdrométero instalado en el Instituto de Ingeniería de la UNAM



SEGURIDAD

SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC

COORDINACIÓN NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES



Figura 4.3 Imagen de la caja de coladeras pluviales paralelas al sentido de Av. del Imán y su estado posterior al evento de inundación (Fuente: SRI)

En la figura 4.4 se muestra el formato propuesto, con los campos llenados para el evento de inundación del 09 de julio de 2020 en los cruces de las avenidas Delfín Madrigal, Aztecas y del Imán, además de una estimación de las afectaciones realizada por medio del Atlas Nacional de Riesgos, es importante mencionar que la cantidad de población afectada en este incidente, no sufrió daños a su persona o pertenencias, dado que la principal afectación fue logística y de comunicación, ya que la circulación de este importante cruce, permaneció cerrada por más de cuatro horas, con profundidades de agua promedio de 0.30 m y máximas estimadas por medio de rastros de humedad en muros de 0.5 m.

A pesar de haber sido testigos de este evento de inundación al momento de presentarse, no se elaboró el análisis hidrológico e hidráulico, ya que se analizará otro punto crítico de inundación debido a que se cuenta con mayor información testimonial y básica como topografía, modelos digitales, entre otros.



Centro Nacional de Prevención de Desastres		Formato General de Levantamiento de Puntos Críticos de Inundación		Subdirección de Riesgos por Inundación	
Unidad que reporta: SRI-CENAPRED		Número de reporte: 2			
Fecha del reporte 11/07/2020	Fecha del evento de inundación 10/07/2020	Frecuencia del evento al menos 2 veces por años			
Tipo de inundación					
Pluvial x	Fluvial	Ambas	Otro (especificar):		
Área de afectación (m2) 4 545	Profundidad máxima (m) 0.5	Profundidad promedio (m) 0.3	Duración aproximada 5 horas		
Afectaciones					
Tipo	Cantidad	Anotaciones/Comportamiento		Nombre de localidades/colonias/municipio	
Población:	16268	Afectaciones de un cruce, vialidad cerrada		Pedregal de Carrasco, Coyoacán, 04700 Ciudad de México, CDMX	
Viviendas:	4700				
Vialidades:	3	Avenidas, Aztecas, Delfín Madrigal, del Imán			
Comercios:					
Otros:					
Identificación y descripción del punto crítico:					
Tipo	Dimensiones			Coordenadas geográficas	
Alcantarilla	7 tapas de 0.5 x 0.5 m , en distintas ubicaciones sobre la calle			Latitud:	
Bajo puente				Longitud:	
Punte				19.31172	
Rio/arroyo				-99.17013	
Otro	3 pozos de visita de drenaje combinado de un metro de diámetro, profundidad desconocida				
Descripción general del evento (precipitación, atención de afectaciones, etc.)					
En el cruce de las avenidas se tiene inundación por encima del nivel de banquetas, debido a la posible sobrecapacidad de la red de drenaje y taponamientos por arrastre de sedimentos					
Ubicación del punto crítico y polígono de inundación (cróquis)					
  					

Figura 4.4 Formato de registro de puntos críticos de inundación, llenado para el ejemplo de los cruces de las avenidas Delfín Madrigal, Aztecas y del Imán



4.2. Descripción y registro punto crítico, ejemplo 02

El punto documentado (figura 4.8) se encuentra ubicado en la alcaldía de Tláhuac dentro de la Ciudad de México, en el poblado de San Juan Ixtayopan, colinda con el poblado de Santiago Tulyehualco, alcaldía de Xochimilco. Una de las principales características del sitio es su ubicación al inicio de la ladera del volcán inactivo, Teuhtli.

El punto crítico registrado cuenta con cuatro bocas de tormenta en la zona, que por topografía se considera, la más baja a lo largo de la vialidad de Camino Real entre los cruces formados por las vialidades, División del Norte y La Barraca, por otra parte, las calles Monte Carmelo y La Barranca son perpendiculares al tramo especificado y son las vías principales que dan acceso a los barrios de El Rosario y Ampliación El Rosario, asentamientos en las faldas de la parte noreste del volcán Teuhtli. Sobre Monte Carmelo y La Barranca se ubican varias bocas de tormenta en condiciones inoperantes, al encontrarse totalmente azolvadas y con presencia de maleza, anotando que la gran mayoría de ellas no cuenta con rejillas, figura 4.5.



Figura 4.5 Azolvamiento en bocas de tormenta ubicadas en Monte Carmelo, imagen de la izquierda ubicada en zona alta e imagen derecha en zona baja

Durante el registro, se observa y es evidente el arrastre de sedimentos que generan los escurrimientos de la zona alta que bajan por Monte Carmelo y por La Barranca, para acumularse en Camino Real en la que se observa gravilla e, incluso, material pétreo de mayor tamaño.

La vialidad Camino Real permite el acceso a los flujos vehiculares provenientes de los centros de Tláhuac y Xochimilco y que se dirigen hacia Chalco y Milpa Alta. Al presentarse inundaciones se impide la circulación de autos compactos, obligando que éstos se dirijan hacia la vía paralela de División del Norte, que bajo esas circunstancias debe permitir circulación en ambos sentidos, condición diferente a la que opera regularmente.





En cuanto a afectaciones a viviendas o comercios, se tiene, el testimonio de una persona que habita y posee una tienda de víveres y un local de venta de materiales para la construcción, indicó que el agua que se acumula en la vialidad no ha llegado a afectar su tienda, debido a la precaución que toma al cerrar la cortina, caso contrario a su negocio de materiales en donde sí ha ingresado agua.

Evento ocurrido el 18 de mayo de 2020

Posterior a la lluvia intensa con duración estimada de una hora se pudo observar acumulación de agua en Camino Real por azolvamiento de las bocas de tormenta y disminución de capacidad para desalojar los escurrimientos, al llenarse la zona baja de Camino Real, el agua comenzó a desplazarse hacia zonas más bajas ubicadas en Santiago Tulyehualco en donde brotaba agua por pozos de visita y bocas de tormenta, así como introducción de aguas en al menos tres viviendas.

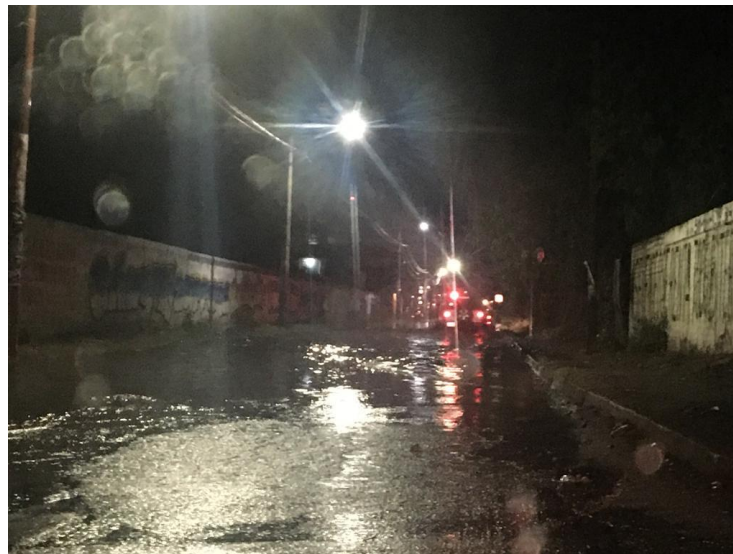


Figura 4.6 Evento de inundación en el punto de estudio, un vehículo quedó varado al intentar cruzar la zona anegada

20 de julio de 2020

La precipitación ocasionó escurrimientos importantes en las vialidades de Monte Carmelo y La Barranca con velocidades suficientes para arrastrar vehículos y generar afectaciones en viviendas y comercios. Debido a la gran cantidad de material arrastrado fue necesario cerrar las vialidades para realizar labores de limpieza y desazolve.





SEGURIDAD

SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC

COORDINACIÓN NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES



Figura 4.7 Arrastre de suelo y rocas de tamaño considerable acumuladas en las vialidades, La Barranca cruce con División del Norte, (Fuente: medios digitales)

Cabe señalar que los eventos descritos anteriormente son de los que se tiene conocimiento, no se descarta que durante el año en curso hayan ocurrido otros eventos significativos.





Centro Nacional de
Prevención de Desastres

**Formato General de Levantamiento
de Puntos Críticos de Inundación**

Subdirección de Riesgos
por Inundación

Unidad que reporta: SRI		Número de reporte: 1
Fecha del reporte 25/05/2020	Fecha del evento de inundación 18/05/2020	Frecuencia del evento al menos una vez al año
Tipo de inundación		
Pluvial x	Fluvial	Ambas
Otro (especificar):		
Área de afectación (m2) 12954	Profundidad máxima (m) 0.5	Profundidad promedio (m) 0.3
Duración aproximada 3		
Afectaciones		
Tipo	Cantidad	Anotaciones/Comportamiento
Población:	40	estimada por 5 habitantes por vivienda
Viviendas:	8	
Vialidades:	3	Camino Real Intransitable
Comercios:	1	abarrotes, sin daños en mobiliario
Otros:		
Vehículos:	1	varado en Camino Real
Nombre de localidades/colonias/municipio 4 viviendas en vialidad Camino real Barrio San Agustín, Tlahuac. 4 viviendas calle José Ma. Camacho, Col. San Sebastián, Xochimilco		
Identificación y descripción del punto crítico:		
Tipo	Dimensiones	
Alcantarilla	Alzolvamiento (1 y 4) 7 secciones de 1x1 m + 1 sec de 0.6x1 m regillas a 45° ancho de 10 cm, marco de 10 cm	
Alcantarilla	(2) 5 sec. 1x1 m, regillas a 45° ancho de 10 cm, marco de 10 cm	
Alcantarilla	(3) 6 sec. 1x1 m, regillas a 45° ancho de 10 cm, marco de 10 cm	
Coordenadas geográficas		
Latitud: 19.245710°		
Longitud: -99.003407°		
Descripción general del evento (precipitación, atención de afectaciones, etc.)		
Lluvia intensa con duración aproximada de 35 min, acumulación de agua en distintas vialidades, destacan Camino real esquina con Monte Carmelo, se observa alzolvamiento en y arrastre de material en Monte Carmelos. Del último evento observado, afectaciones en zonas de relacionadas con los escurrimientos de las zonas altas y posterior escurrimiento en zonas bajas del pueblo de Santiago Tulyehualco		
Ubicación del punto crítico y polígono de inundación (croquis)		
  		

Figura 4.8 Formato de registro de puntos críticos de inundación, llenado para el ejemplo del cruce de Camino Real y monte Carmelo

4.2.1. Análisis hidráulico e hidrológico del punto 02

La cuenca que aporta los volúmenes de escurrimientos se muestra en la figura 4.9, presenta 2.36 km² de área drenada y pendiente del cauce principal de 0.0988, de acuerdo con el modelo digital de elevaciones de tipo terreno y herramientas de un Sistema de

Av. Delfín Madrigal No. 665, Col. Pedregal de Santo Domingo, Alcaldía
Coyoacán, Ciudad de México.Tel: 52+55 5424 6100
www.gob.mx/cenapred

Los avisos de privacidad están disponibles para consulta en
<https://www.gob.mx/cenapred/es/documentos/avisos-de-privacidad-del-cenapred>
Página 21 de 79





Información Geográfica (SIG), además un tiempo de concentración de 30 minutos por la fórmula de Kirpich. En este caso se analizaron cuatro periodos de retorno, 10, 20, 50 y 100 años.

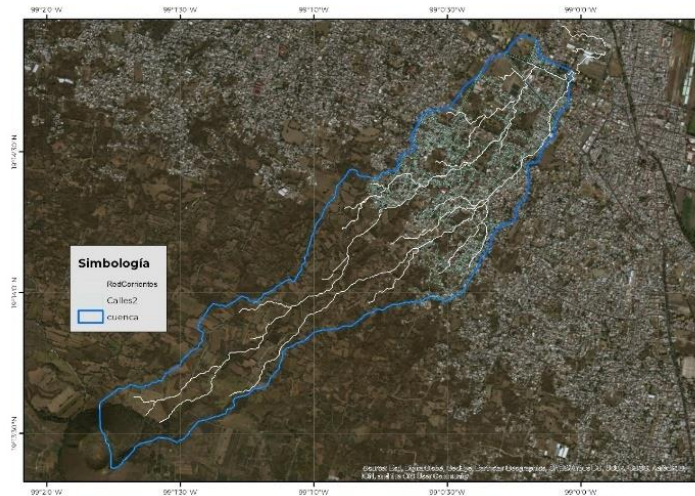


Figura 4.9 Cuenca de aportación a la zona baja de División del Norte

Dado el tiempo de concentración de la cuenca se elaboraron hietogramas de intensidad para una duración de tormenta de 1.5 h, lo que se considera tormentas de corta duración (menores a 120 minutos), teniendo en cuenta que la duración total está directamente relacionada con el tiempo de concentración de la cuenca, de manera que su duración mínima debe corresponder con tal parámetro físico, para garantizar que todas las porciones de la cuenca contribuyan al gasto directo que se estima (Campos, 2010).

Los hietogramas fueron elaborados a partir del *Estudio de regionalización de avenidas máximas. Actividad 2* (Domínguez **et al**, 2018) del Instituto de Ingeniería de la UNAM, cuyos resultados se encuentran disponibles en el ANR. De éstos se obtuvo una precipitación máxima media anual acumulada en 24 horas de 42 mm y los factores regionales para los periodos de retorno analizados.

Por otra parte, se aplicó un factor de convectividad, R , de 0.65 a cada una de las lluvias con duración de 24 horas para asociarlas con una duración de una hora.

Para dar forma a los hietogramas eligieron intervalos de 10 minutos y se aplicaron los factores K , que relacionan duraciones menores a 24 horas con los de 1 hora: P_d^T / P_1^T

Finalmente, se obtuvieron los incrementos de precipitación para cada intervalo, restando a cada lluvia acumulada hasta n intervalos la correspondiente $n-1$; los incrementos así definidos son de magnitud decreciente. El arreglo de la llamada tormenta balanceada consiste en colocar el valor máximo (primer incremento) en el centro de la tormenta, el segundo en magnitud



se ubica adelante y el tercero después del mayor (figura 4.10). Se continúa igual con los incrementos restantes (Campos, 2010).

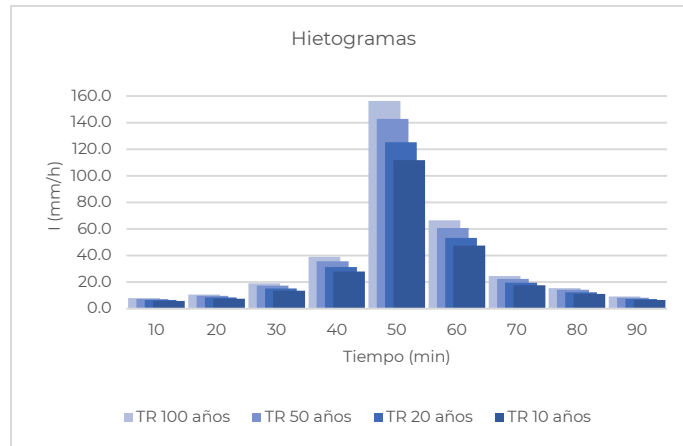


Figura 4.10 Hietogramas para el análisis del punto 02

De acuerdo con lo observado en campo y descrito en el levantamiento del punto, los escurrimientos son conducidos a la parte topográfica más baja por las vialidades de La Barranca y Monte Carmelo, a fin de corroborar y facilitar el proceso de análisis se elaboró un modelo hidrológico - hidráulico Iber para definir hidrogramas para cada uno de los periodos de retorno y que llegan a dichas vialidades en dos puntos de control (figura 4.11 y 4.12), el modelo incluyó pérdidas por infiltración por el método de número de curva y coeficientes de rugosidad.

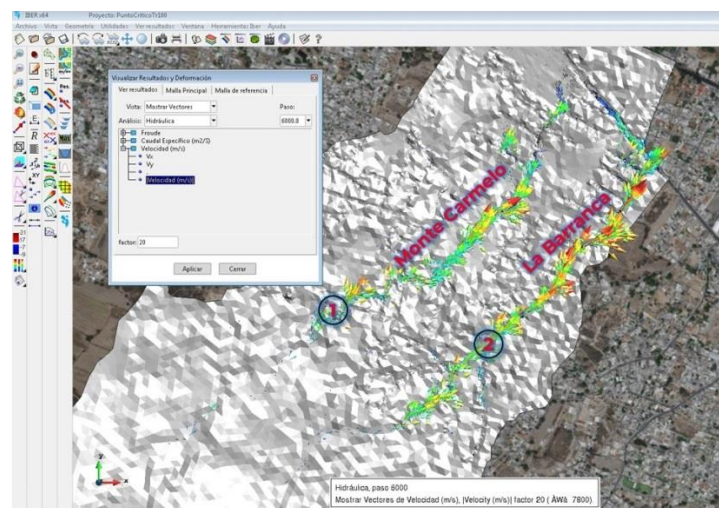


Figura 4.11 Principales escurrimientos y puntos de control

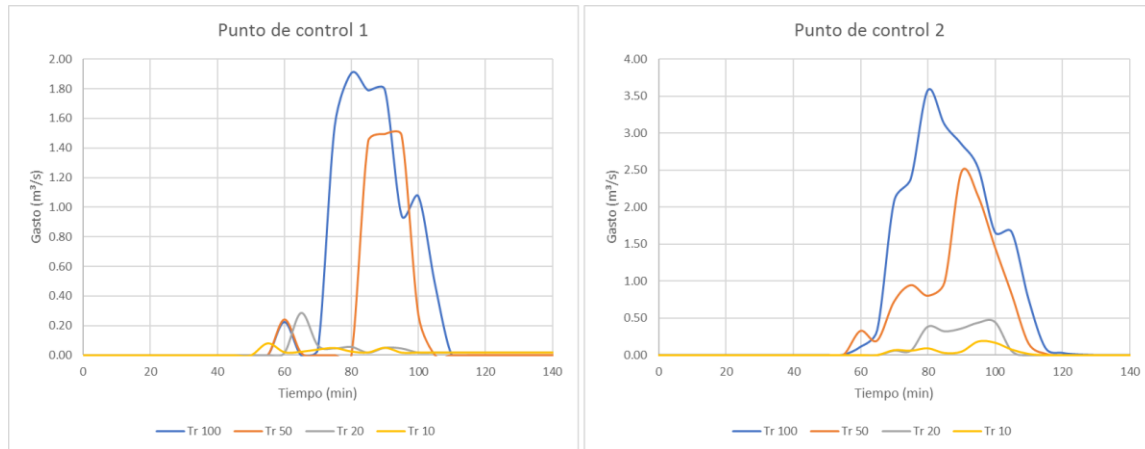


Figura 4.12 Hidrogramas en los puntos de control 1 y 2

En el área de estudio existen diversas bocas de tormenta ubicadas en las vialidades de La Barranca y Monte Carmelo; sin embargo, las condiciones en las que se encuentran son de nula captación por la presencia de azolve y maleza, por lo anterior fueron excluidas en el análisis. Además, se omitió en la malla de cálculo las áreas de viviendas dejando solamente las vialidades a fin de representar de mejor manera los escurrimientos, velocidades y profundidades en las mismas, no obstante, no se tomó en cuenta la existencia de banquetas, postes, vehículos y demás obstrucciones (figura 4.13). Cabe señalar que, se desconoce la información de la red de conducción de aguas pluviales y residuales, por lo que no fueron consideradas en el análisis.



Figura 4.13 Mallado en calles Monte Carmelo, La Barranca y zona baja

Las bocas de tormenta en los sistemas de drenaje pluvial se utilizan para recoger el escurrimiento y descargarlo a un colector subterráneo. Éstas se encuentran normalmente es cunetas o en calles pavimentadas. Brown **et al.**, 2001 presentan con detalle cuatro

clases de coladeras para captación usadas para el drenaje superficial en calles, figura 4.14 (CONAGUA, 2019).

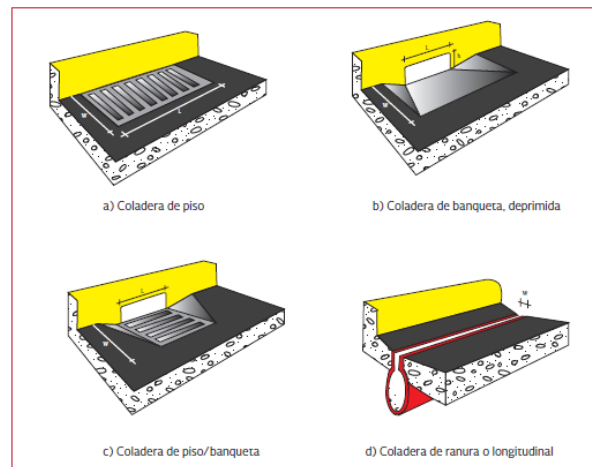


Figura 4.14 Tipos de bocas de tormenta, tomada del MAPAS (CONAGUA, 2019)

Las coladeras de piso generalmente pierden capacidad con el aumento de rejillas, su principal ventaja es que están instaladas a lo largo de la vialidad, donde el agua está fluyendo. Su desventaja es que se obstruyen fácilmente con basura flotante o escombros.

Las coladeras de piso en concavidades funcionan como vertedores cuando la profundidad de la concavidad es pequeña; y para mayores profundidades funcionan como un orificio. El perímetro y el área de abertura libre de la rejilla y la profundidad del agua en el borde afectan a la capacidad de entrada. Y ésta puede verse seriamente afectada por residuos que quedan atrapados en la rejilla.

Las bocas de tormenta fueron incluidas en el modelo Iber a través de la herramienta de sumideros cuyo parámetro de entrada es un hidrograma. Existen diversos estudios que han desarrollado formulaciones para representar el proceso de ingreso de flujo en bocas de tormenta. En general, las formulaciones son sujetas al concepto de eficiencia o a ecuaciones de vertedores y orificios (Cárdenas, et al 2018), la primera de ellas con la expresión (CONAGUA, 2019):

$$Ef = \frac{Q_i}{Q_{cu}}$$

donde:

Ef ; es la eficiencia de ingreso

Q_i ; flujo total de escurrimiento en m^3/s

Q_{cu} ; flujo interceptado en m^3/s

Por otra parte, la capacidad hidráulica de las bocas de tormenta se puede estimar a partir de dos casos de operación, dadas las condiciones de profundidad del agua a la entrada de éstas. En función de lo anterior podrán operar como vertedores u orificios. El gasto que podrá captar funcionando como vertedor es:

Av. Delfín Madrigal No. 665, Col. Pedregal de Santo Domingo, Alcaldía
Coyoacán, Ciudad de México. Tel: 52+55 5424 6100
www.gob.mx/cenapred

Los avisos de privacidad están disponibles para consulta en
<https://www.gob.mx/cenapred/es/documentos/avisos-de-privacidad-del-cenapred>
Página 25 de 79



$$Q_{BT-v} = C_v P_v h^{1.5}$$

donde:

P_v ; es el perímetro de la rejilla en m, sin considerar las barras y el lado de la boca de tormenta junto a la banqueteta.

C ; coeficiente de descarga igual a 1.66

h ; profundidad del agua en m

La capacidad hidráulica de la coladera de piso operando como orificio es:

$$Q_{BT-o} = C_o A_o (2gh)^{0.5}$$

donde:

C_o ; coeficiente del orificio igual a 0.67

A_o ; área libre sin rejillas, en m^2

g ; $9.8 m/s^2$

h ; profundidad del agua en m

La ecuación de vertedor es válida para una profundidad d:

$$d < 1.79(A_o/P_v)$$

El valor de P_v se debe reducir en donde son posibles las obstrucciones por basura.

La ecuación de orificio es válida para una profundidad d:

$$d > 1.79(A_o/P_v)$$

El valor de A_o y P_v se deben reducir en donde son posibles las obstrucciones por basura. (UDFCD, 2016).

En este caso se emplearon ecuaciones de vertedor u orificio según la profundidad del agua a la entrada de las bocas de tormenta. Las estructuras identificadas en la zona de inundación cuentan con las siguientes dimensiones y arreglo de rejillas, figuras 4.15 y 4.16.

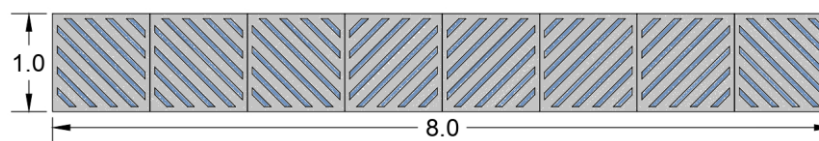


Figura 4.15 Dimensiones de las bocas de tormenta 1, 3 y 4 en metros

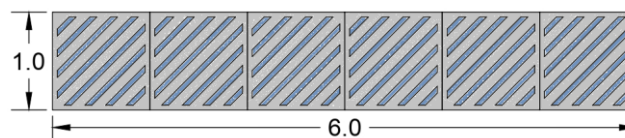


Figura 4.16 Dimensiones de boca de tormenta 2 en metros



SEGURIDAD

SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC

COORDINACIÓN NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES

Para el análisis de este punto de inundación, se tomaron en cuenta algunas consideraciones, que se enuncian a continuación:

- Se considera que un factor de importancia en este punto de inundación es la acumulación de azolve y arrastre de basura, se hará la suposición que las bocas de tormenta no operan a su máxima capacidad, es decir, que no logran descargar todo el flujo posible, se analizará el escenario del 50 por ciento de la alcantarilla, que se encuentra obstruida en su perímetro y 30 por ciento en su área.
- Se generalizará la geometría de las bocas de tormenta a las dimensiones de 8x1 metros, a fin de facilitar el proceso de cálculo.
- Las bocas de tormenta 1, 2 y 3 tendrán la misma carga hidráulica, ya que se encuentran contiguas, mientras que en la 4 será distinta por estar en una zona relativamente más baja.

La operación de las bocas de tormenta se ingresó al modelo Iber como sumideros, cuyo funcionamiento se describe mediante hidrogramas, que a su vez son función de las profundidades de la inundación. Por lo anterior, se realizó un proceso iterativo y un cálculo inicial sin estructuras, y se obtuvo el hidrograma de cada boca de tormenta, se elaboraron cuatro iteraciones (azul, naranja, gris y amarillo, primer, segundo, tercer y cuarto cálculo, respectivamente de las figuras 4.17 a 4.20). Un proceso similar fue construido con el análisis mediante métodos numéricos del flujo de escorrentía en situaciones de avenida por calles de elevadas pendientes en Alcalá de Guadaira (Cabrera, 2018).

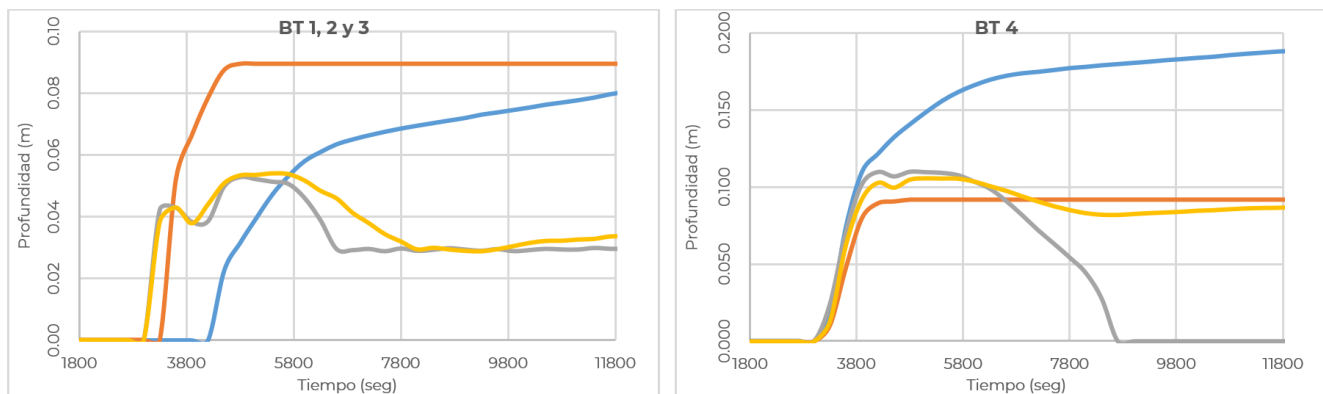


Figura 4.17 Profundidades para el periodo de retorno de 10 años



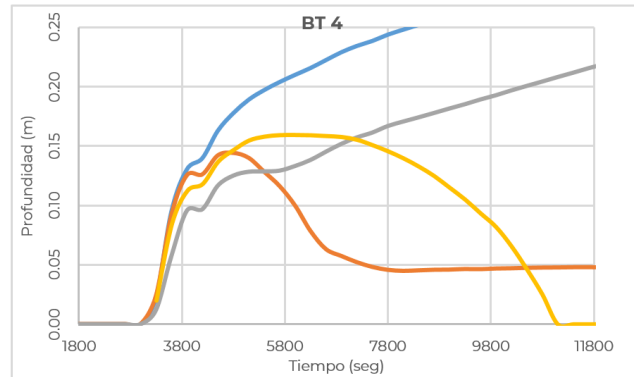
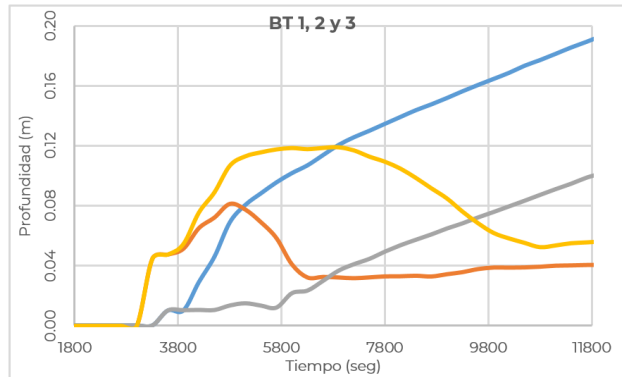


Figura 4.18 Profundidades para el periodo de retorno de 20 años

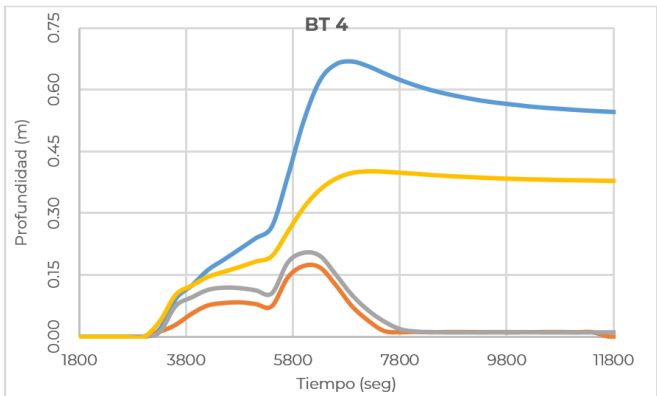
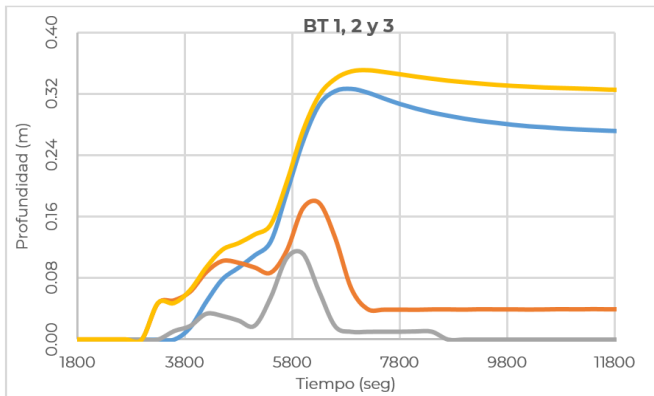


Figura 4.19 Profundidades para el periodo de retorno de 50 años

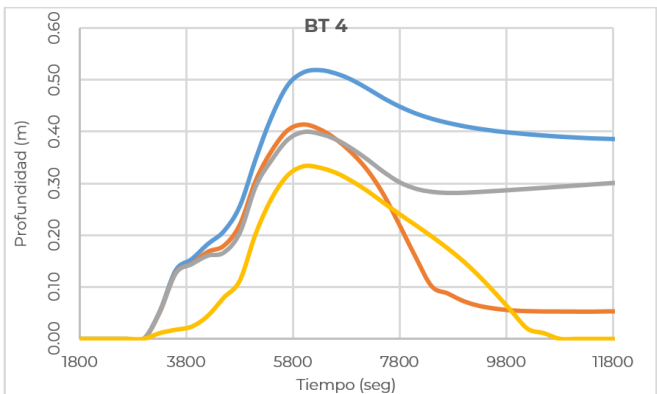
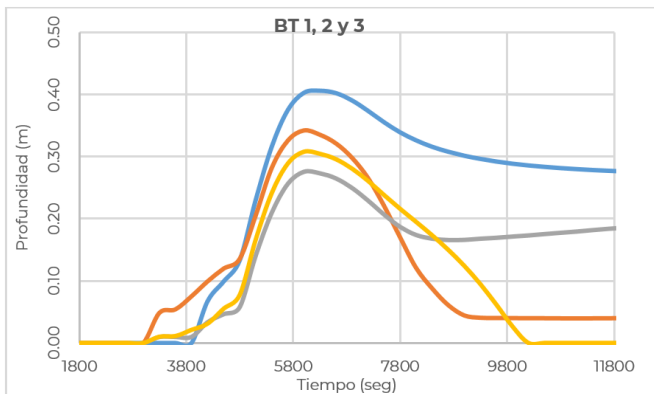


Figura 4.20 Profundidades para el periodo de retorno de 100 años



4.2.2. Mapas de peligro del punto 02

A continuación, se presentan los resultados de la simulación y de cuarta iteración, asociados a los periodos de retorno de 10, 20, 50 y 100 años, para las variables de profundidades, velocidades y severidad mediante el monograma de Dorrigo.

Mapas asociados al Tr 10 años

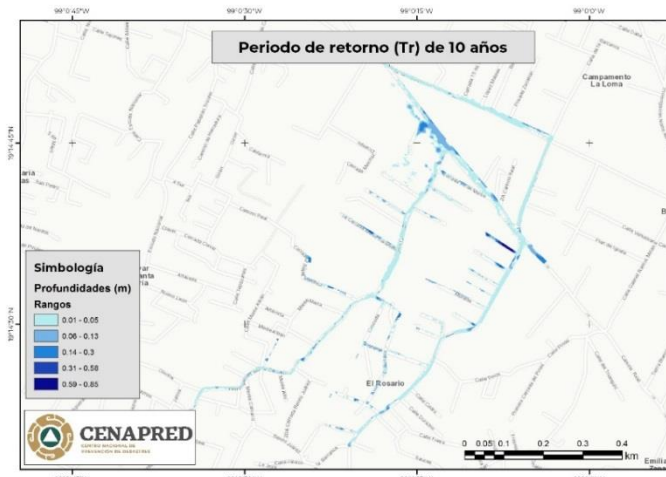


Figura 4.21 Mapa de profundidades asociado al Tr 10 años

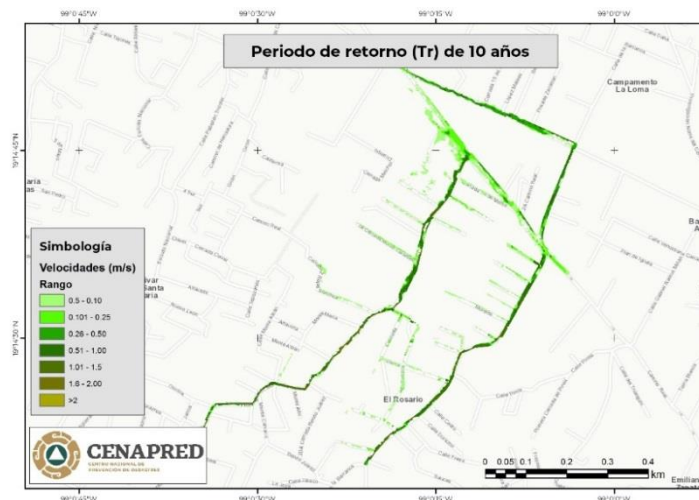


Figura 4.22 Mapa de velocidades asociado al Tr 10 años

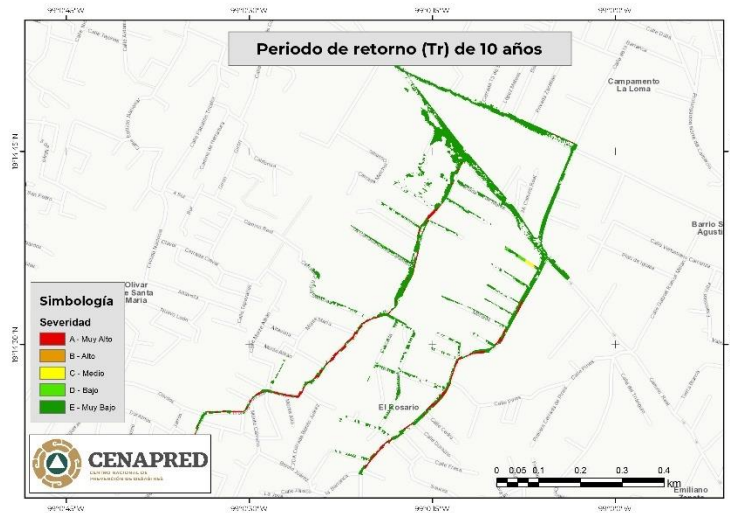


Figura 4.23 Mapa de severidad asociado al Tr 10 años

Mapas asociados al Tr 20 años

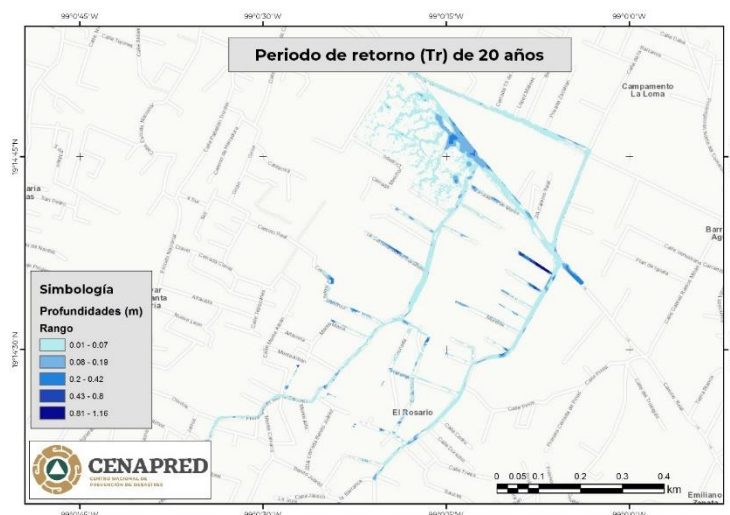


Figura 4.24 Mapa de profundidades asociado al Tr 20 años



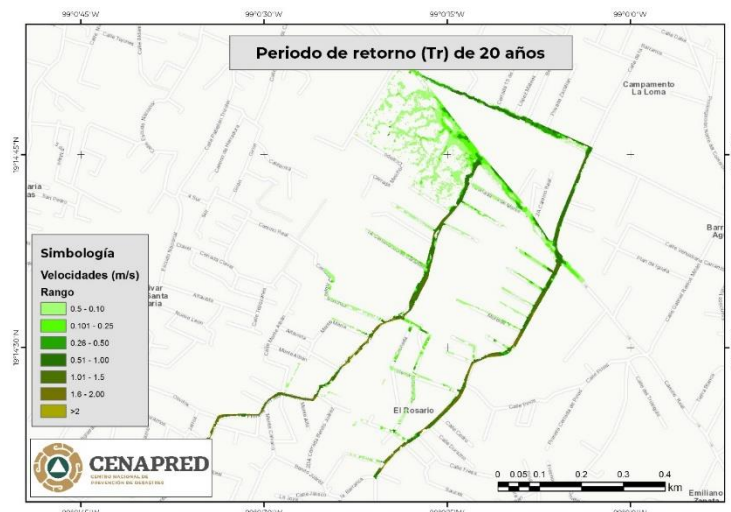


Figura 4.25 Mapa de velocidades asociado al Tr 20 años

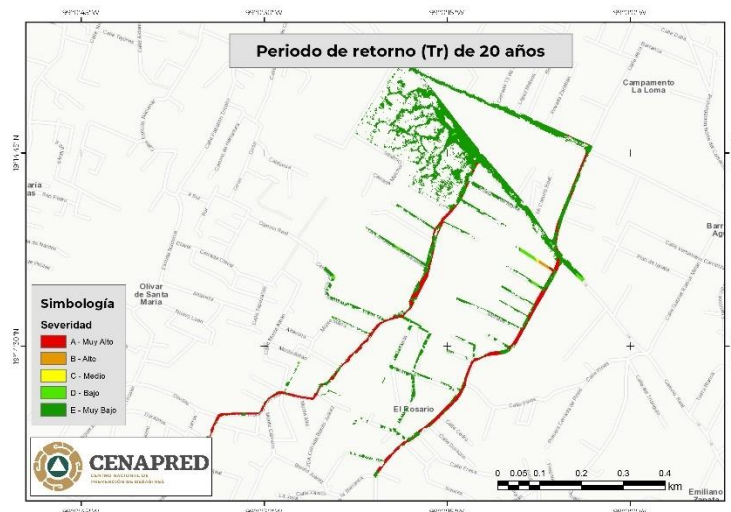


Figura 4.26 Mapa de severidad asociado al Tr 20 años

Mapas asociados al Tr 50 años

Av. Delfín Madrigal No. 665, Col. Pedregal de Santo Domingo, Alcaldía
Coyoacán, Ciudad de México. Tel: 52+55 5424 6100
www.gob.mx/cenapred

Los avisos de privacidad están disponibles para consulta en
<https://www.gob.mx/cenapred/es/documentos/avisos-de-privacidad-del-cenapred>
Página 31 de 79



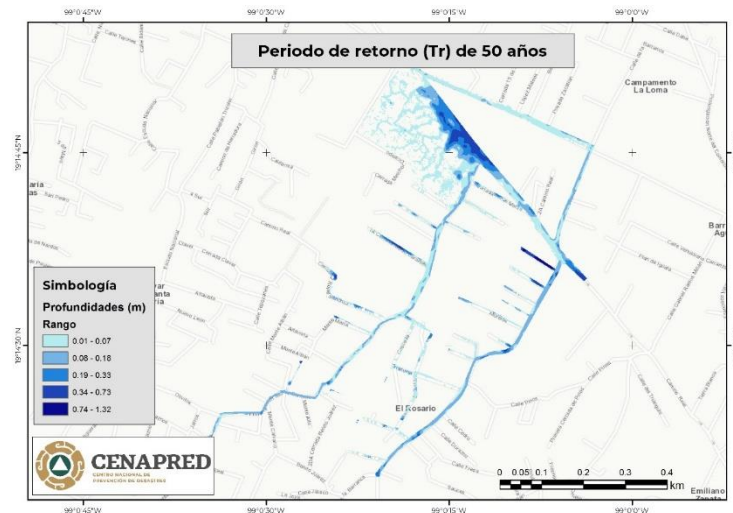


Figura 4.27 Mapa de profundidades asociado al Tr 50 años

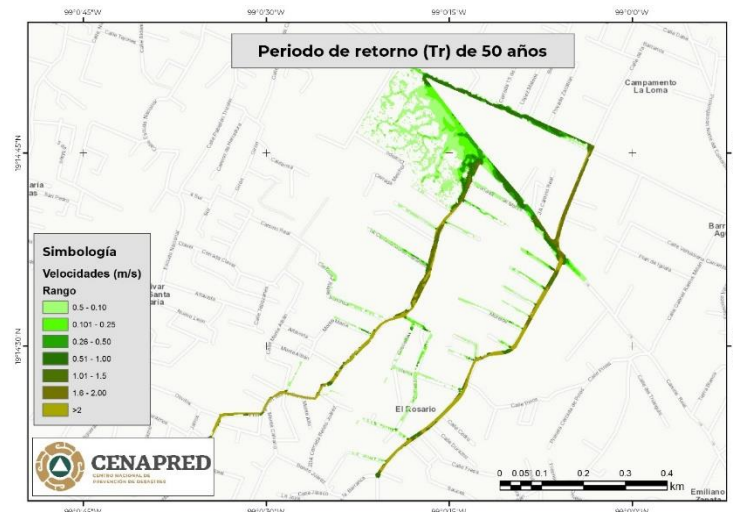


Figura 4.28 Mapa de velocidades asociado al Tr 50 años



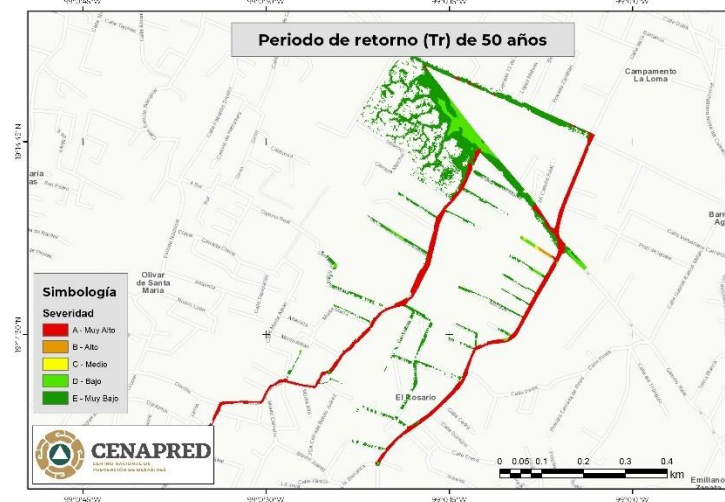


Figura 4.29 Mapa de severidad asociado al Tr 50 años

Mapas asociados al Tr 100 años

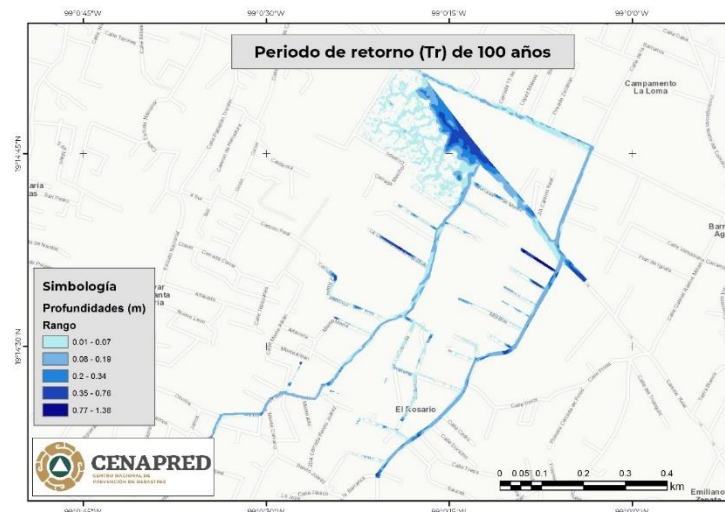


Figura 4.30 Mapa de profundidades asociado al Tr 100 años

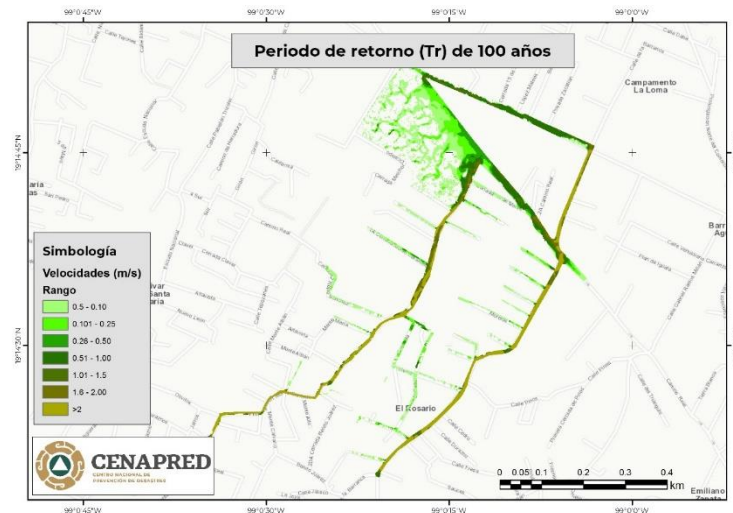


Figura 4.31 Mapa de velocidades asociado al Tr 100 años

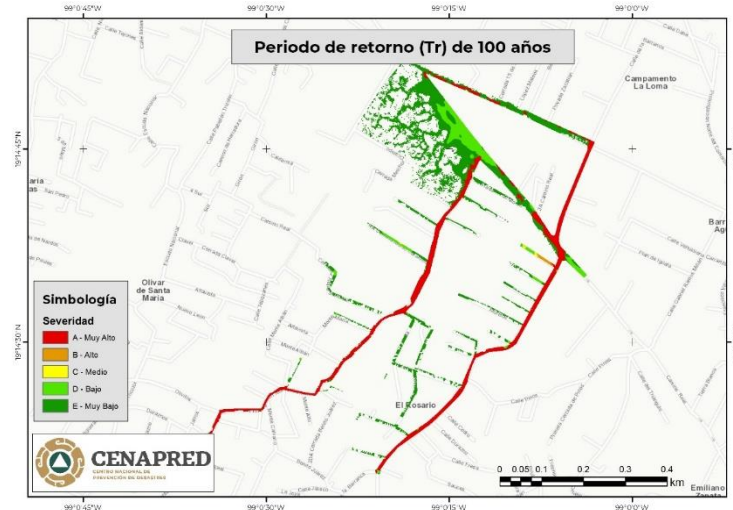


Figura 4.32 Mapa de severidad asociado al Tr 100 años

4.3. Descripción y registro punto crítico, ejemplo 03

Debido a los cambios bruscos en el terreno, de zonas serranas a una planicie lagunar, caracterizada por abundancia de cuerpos de agua tipo canales, en la alcaldía Xochimilco se presentan y pueden ubicar múltiples zonas de inundación, las cuales pueden clasificarse como puntos críticos, se inspeccionó y registró la información disponible con una visita al lugar situado en la calle Camino Nacional, en el pueblo de San Lucas Xochimanca.

Como se mencionó previamente, esta avenida se encuentra prácticamente entre una planicie, zona de regulación y una colina, por lo que naturalmente es una

Av. Delfín Madrigal No. 665, Col. Pedregal de Santo Domingo, Alcaldía
Coyoacán, Ciudad de México. Tel: 52+55 5424 6100
www.gob.mx/cenapred

Los avisos de privacidad están disponibles para consulta en
<https://www.gob.mx/cenapred/es/documentos/avisos-de-privacidad-del-cenapred>
Página 34 de 79



zona de inundación a diferentes magnitudes, lo que se toma como punto crítico es una boca de tormenta de, con cuatro rejillas con dimensiones de 0.6 m x 1.5 m, colocadas de manera transversal a la dirección de la vialidad (figura 4.33). Las anegaciones en esta zona tienen una profundidad mínima de 0.25 m y máxima de 0.5 m, en sus cerradas se ha reportado penetración de agua a viviendas de hasta de 1.0 m.

Debido a sus características la zona siempre ha presentado inundaciones, las cuales hace 15 años no generaban grandes afectaciones, debido a que los escurrimientos se realizaban por medio de dos cauces aledaños y la circulación de vehículos se podía limitar, pero el crecimiento poblacional de zonas aledañas ha provocado que esta calle sea una vialidad de alivio para el tránsito hacia los poblados en la zona alta de Xochimilco. De igual manera, se observó que ante la presencia de lluvias el agua ya no es conducida por los ríos sino que se presenta una sobrecarga de las redes de drenaje sanitario, lo que ha resultado en modificaciones del mismo en instalación de diversas bocas de tormenta en distintas ubicaciones.



Figura 4.33 Boca de tormenta, identificada como punto crítico de inundación, ubicada en la calle Camino Nacional, San Lucas Xochimanca, Xochimilco

Evento ocurrido el 09 de julio de 2020

El 04 de agosto de 2020 en el disdrométero de Xochimilco del Observatorio Hidrológico de la UNAM, se registró una lluvia acumulada en tres horas de 29.55 mm, que en la zona del punto crítico provocó inundaciones menores con profundidades promedio de 0.25 m y máximos de 0.45 m, sin afectaciones a viviendas, la afectación mayor fue el cierre de la vialidad por más de cinco horas, imposibilitando la conexión de colonias como La Noría y Santiago Tepalcatlalpan a los poblados altos de San Lucas Xochimanca, San Lorenzo Atemoaya, Nativitas y San Mateo Xalpa; sin embargo, es importante mencionar que los ríos San Lucas y Santiago, que ambos se encuentran en promedio a 500 m del sitio de análisis, desbordaron en secciones previo a la llegada de su descarga en el vaso regulador San Lucas, ubicado al norte, aproximadamente a 190 m de Camino Nacional, por lo que se registraron socavones en vialidades contiguas a los ríos, arrastre de sedimentos y rocas y penetración menor de agua a viviendas.

En la figura 4.34 se muestra la intensidad de precipitación registrada en el disdrométero ubicado en Xochimilco, donde se observó que hubo dos eventos de





gran magnitud en la zona, lo que presumiblemente no permitió el comportamiento ideal de las redes de drenaje combinado y estructuras de captación de agua fluvial, información a resaltar son los acumulados de lluvia, que en la primera hora fue de 19.75 mm representando el 66.8 % del total en tres horas, en la segunda hora el acumulado fue de 26. 23 sumando el 88.7 % y en la tercera hora acumularon los citados 29.55 mm, estas diferencias, aunque menores, representan caudales adicionales en un corto tiempo.

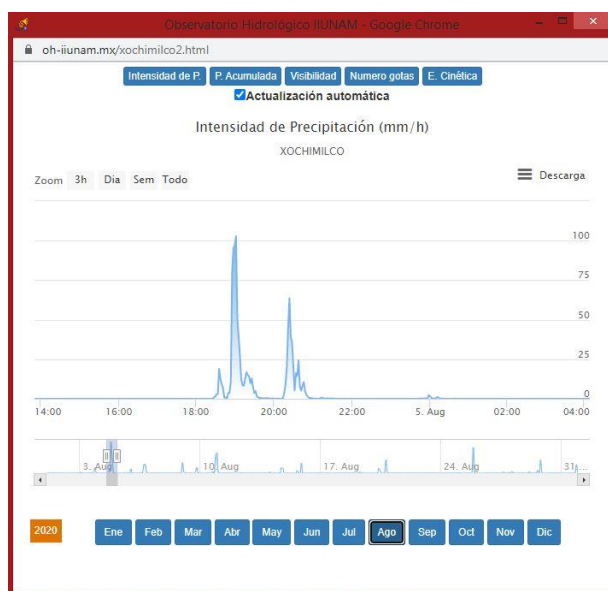


Figura 4.34 Intensidad de precipitación registrada en el disdrométo ubicado en Xochimilco

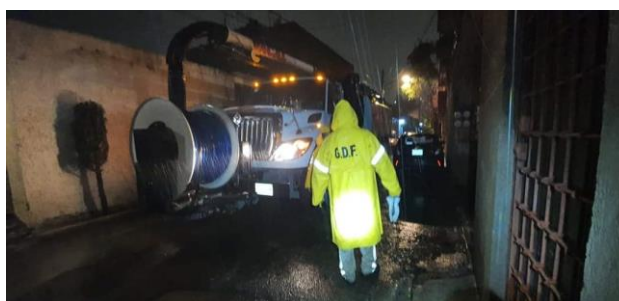


Figura 4.35 Reporte de afectaciones en Xochimilco por el evento del 04 de agosto de 2020, fotografías tomadas del twitter oficial de la alcaldía

Es importante la ubicación y registro de los puntos críticos de inundación por que como en este caso, establecer y conocer un panorama general tanto físico y social e, incluso, histórico, permite definir que seguirán ocurriendo inundaciones, debido a la vocación y características del medio físico y por la propia sociedad que genera y se expone al riesgo.

4.3.1. Análisis hidráulico e hidrológico del punto 03

El punto crítico de inundación se encuentra a menos de 200 m del sitio de drenaje o salida de una cuenca de 135.47 km², que cubre una gran parte de la transición de las laderas de los volcanes Teuhtli y Ajusco, aunque cuenta con gran porcentaje de urbanización, todavía existen grandes porciones de terreno natural, que no se conoce su estado es un hecho común, los arroyos y riachuelos de esta zonas en algún momento son captados por la redes de drenaje sanitario, por lo que los volúmenes de agua que son captados por esta cuenca, en su mayoría son conducidos por esta infraestructura, que no está diseñada para regular eventos extraordinarios de precipitación. Por lo anterior, los ríos a la salida de la cuenca no conducen caudal con regularidad y se encuentran en mal estado, siendo así más propensos a presentar desbordamientos.

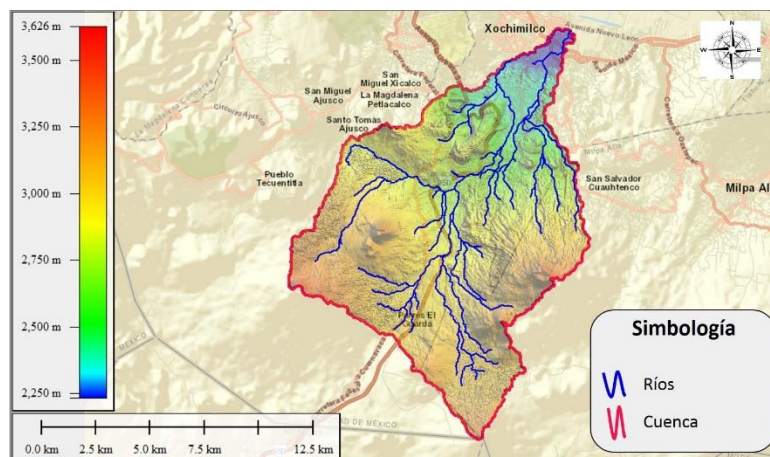


Figura 4.36 Cuenca del vaso regulador San Lucas

En la figura 4.36 se muestra la extensión de la cuenca con la red de ríos, en la cual se puede observar el rango de elevaciones del terreno, que van desde los 2 233.22 msnm hasta 3 623.33 msnm, además de poder considerar que un tercio de la cuenca se encuentra urbanizada o semi urbanizada.

Los análisis hidrológicos de cuencas de este tamaño suelen implicar grandes esfuerzos y tiempos de elaboración, debido a que por la extensión, el análisis puede verse influenciado por distintas zonas de precipitación, que pueden o no estar medidas por medio de las redes de variables climatológicas; sin embargo, en 2018 se publicó el *Estudio para regionalizar los gastos generados por avenidas máximas, como base para la elaboración de mapas de peligro por inundaciones fluviales en todas las cuencas de la República Mexicana: regionalización de gastos* (Domínguez, *et al.*, 2018), el cual contiene distintos productos, como las isoyetas para duraciones de una y 24 horas asociadas a distintos periodos de retorno.

Aunque se cuenta con la información de la precipitación para distintos periodos de retorno actualizada a 2018, sólo se utilizaron cuatro de éstos bajo las siguientes hipótesis para la caracterización y modelación numérica de inundaciones:

- Dado que no se cuenta con información detallada del catastro, de la red de drenaje sanitario, alcantarillas, bocas de tormenta y de más obras que influyan en los escurrimientos o de mitigación de las inundaciones y que la mayoría está diseñada con base en el Tr de 20 años, es el motivo por que será con el que

se elaboró el análisis, puesto que estas infraestructuras dejan de funcionar bajo ese periodo de retorno.

- Debido a que periodos de retorno mayores a 200 años son considerados para el diseño de pequeñas presas, presas de jales y bordos de protección, entre otras obras hidráulicas, este será el Tr de mayor magnitud considerado.

Con base en lo anterior, los periodos de retorno a simular fueron 20, 50, 100 y 200 años, cuya información será obtenida por medio de isoyetas; es importante mencionar que no hay datos hidrométricos en el estudio de regionalización u otra fuente con la calidad suficiente para ser integrada al análisis.

Las figuras 4.37 a 4.40 muestran las isoyetas con duración de una hora asociada a los periodos de retorno 20, 50, 100 y 200 años, respectivamente, que en el Atlas Nacional de Riesgos se encuentran disponibles para su consulta.

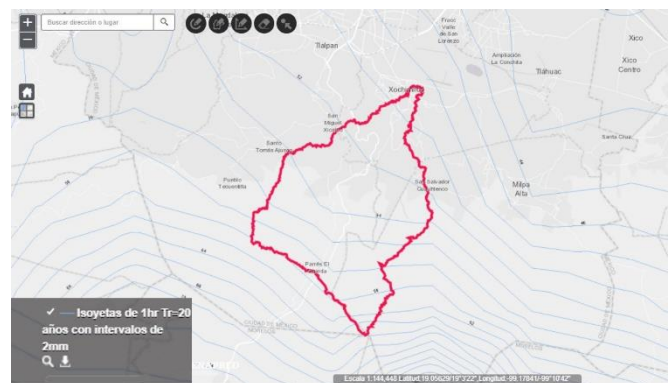


Figura 4.37 Isoyetas asociadas al periodo de retorno de 20 años para la cuenca del vaso regulador San Lucas

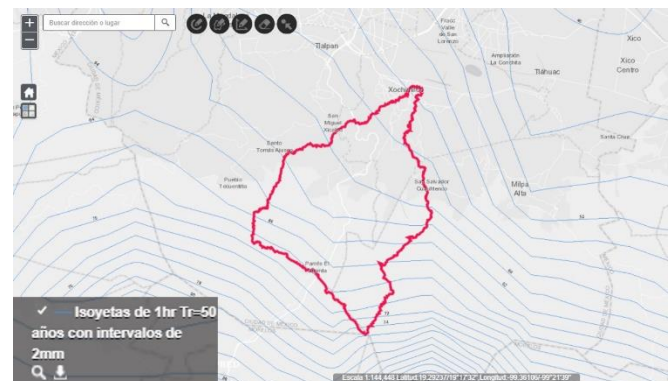


Figura 4.38 Isoyetas asociadas al periodo de retorno de 50 años para la cuenca del vaso regulador San Lucas

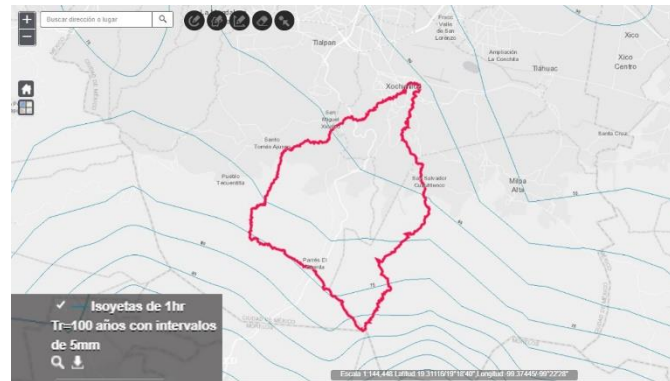


Figura 4.39 Isoyetas asociadas al periodo de retorno de 100 años para la cuenca del vaso regulador San Lucas

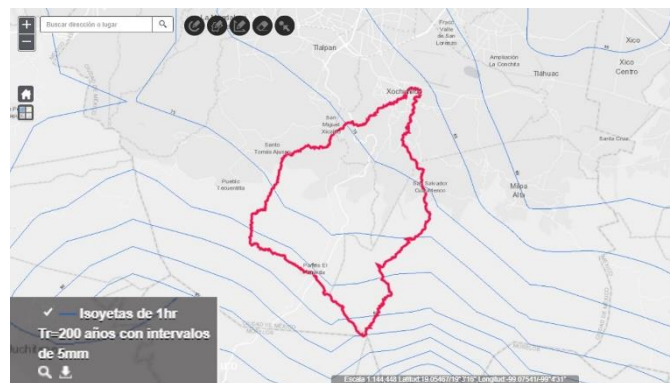


Figura 4.40 Isoyetas asociadas al periodo de retorno de 200 años para la cuenca del vaso regulador San Lucas

Debido a que los eventos de inundación observados no superan el tiempo de duración de seis horas, con precipitación que no excede las tres horas y el tiempo de residencia del agua anegada es de máximo cinco horas, para el modelo numérico de simulación hidráulico se utilizó como periodo máximo de cálculo 24 horas; el modelo digital de elevaciones (MDE) para caracterizar la topografía es del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) con resolución horizontal de 5 metros, que permite identificar y representar vialidades o cauces, que sus secciones transversales no sean menores al tamaño del MDE, figura 4.41.



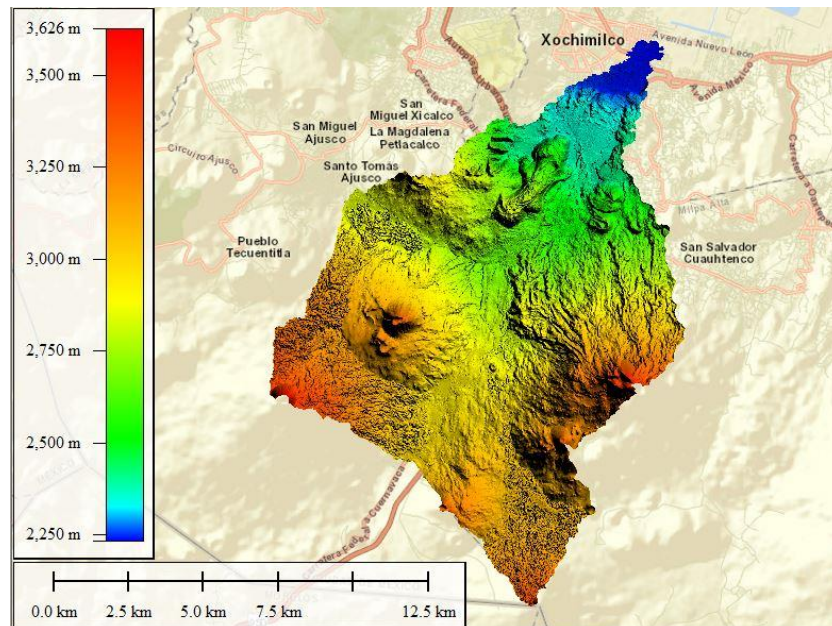


Figura 4.41 Modelo digital de elevaciones utilizado para la simulación numérica de inundaciones

Para la calibración del modelo lluvia-escurrimiento, se realizó una primera simulación con un hietograma medido con un pluviómetro del Instituto de Ingeniería de la UNAM durante un día, figura 4.42, con el cual se estableció la forma de los hietogramas asociados a los valores máximos de las isoyetas de los periodos de retorno utilizados para el análisis, figura 4.40; las simulaciones se llevaron a cabo con el programa computacional Iber en su versión 2.5, que de manera acoplada hace la transformación de altura de precipitación a volumen de agua escurrido y simultáneamente resuelve las ecuaciones para aguas someras e identifica las características de los flujos.

Este proceso sirvió para identificar deficiencias en el MDE, que se corrigieron por medio de interpolación de elevaciones del mismo e inspecciones de las secciones transversales de los cauces; y la representación de lluvia a lo largo de un día no permitió caracterizar las inundaciones que se presentan en la cuenca de análisis, debido a que las intensidades de precipitación que provocan escenarios deben estar concentradas en periodos más cortos a un día, en este caso de una hora.

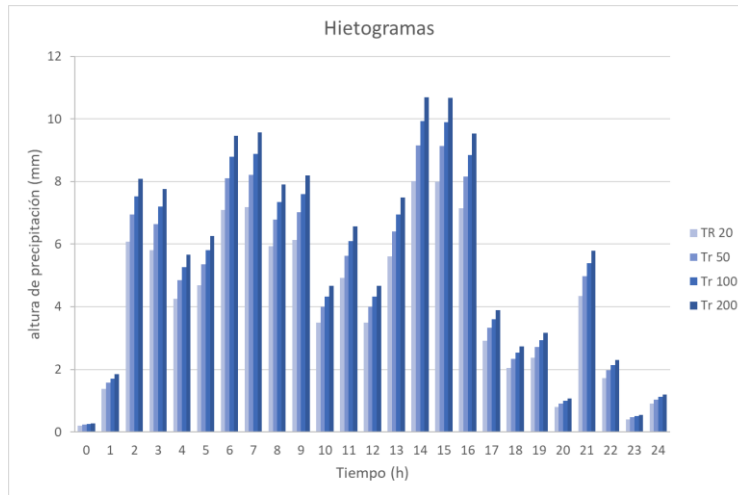


Figura 4.42 Hietogramas asociados para los periodos de retorno en análisis con duración de un día

Para concentrar la lluvia en una hora se transformaron las isoyetas asociadas a los periodos de retorno utilizados, con duración de una hora, a formatos vectoriales tipo raster, conservando así su distribución espacial, y de esta manera funcionaron como entrada de datos al modelo lluvia-escurrimiento, la representación gráfica para cada Tr se muestra en las figuras 4.43 a 4.46, respectivamente.

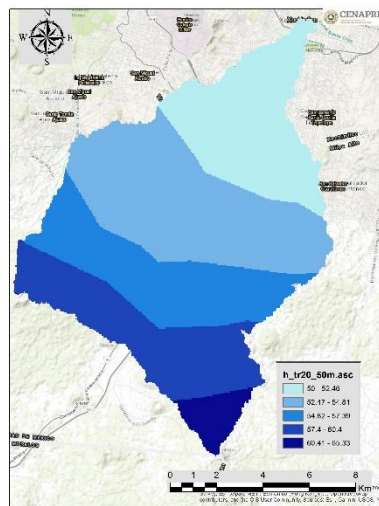


Figura 4.43 Altura de precipitación distribuida en el área de la cuenca para un Tr de 20 años y duración de una hora

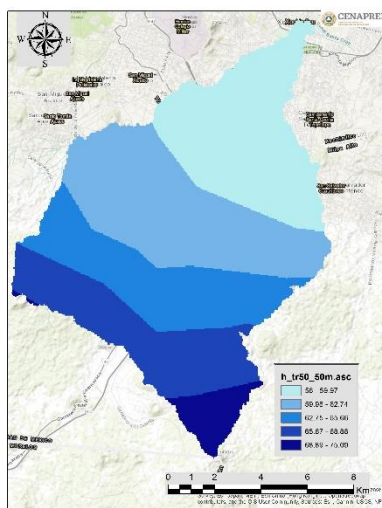


Figura 4.44 *Altura de precipitación distribuida en el área de la cuenca para un Tr de 50 años y duración de una hora*

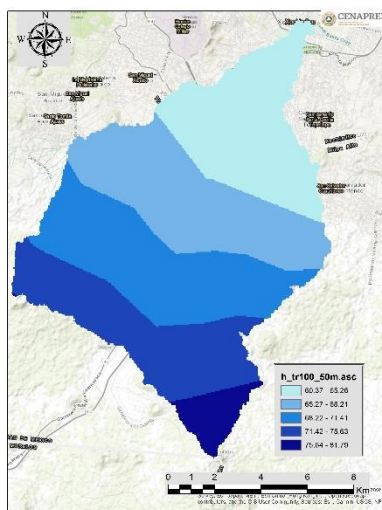


Figura 4.45 *Altura de precipitación distribuida en el área de la cuenca para un Tr de 100 años y duración de una hora*



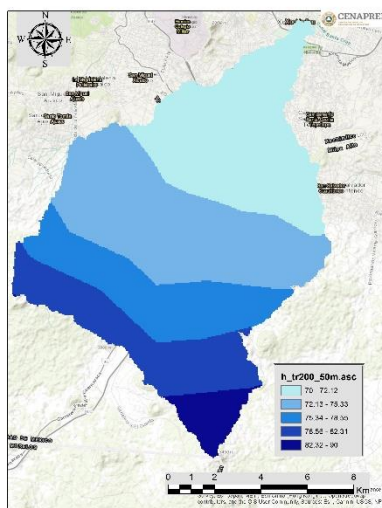


Figura 4.46 *Altura de precipitación distribuida en el área de la cuenca para un Tr de 20 años y duración de una hora*

Una vez corregidas las deficiencias en el MDE, se estableció el modelo definitivo, figura 4.47, en el cual se utilizaron dos tamaños para los elementos de la malla de cálculo, con el objeto de optimizar el tiempo de cómputo de la simulación, los cuales fueron de 50 m para zonas de terreno natural y de 5 m para la zona urbana, figura 4.48.

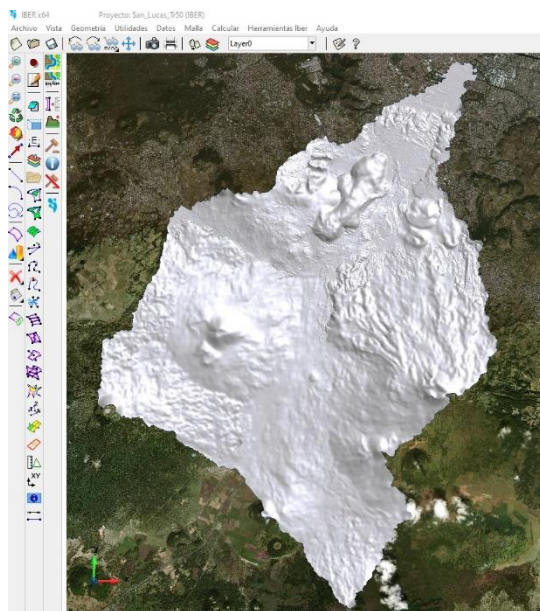


Figura 4.47 *Vista suavizada de los elementos de cálculo en el modelo definitivo*

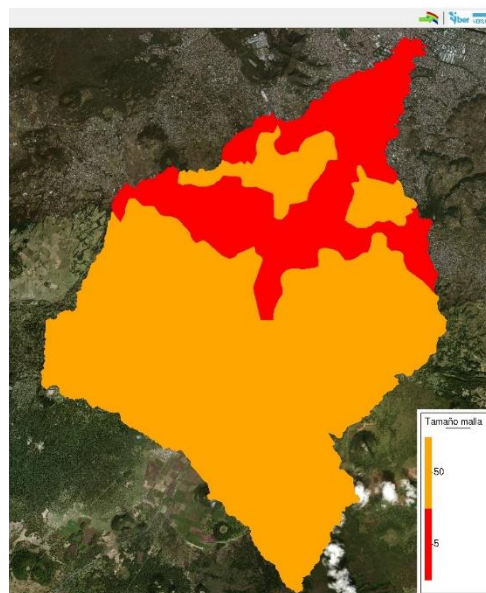


Figura 4.48 Distribución y tamaño de los elementos de cálculo dentro de la cuenca

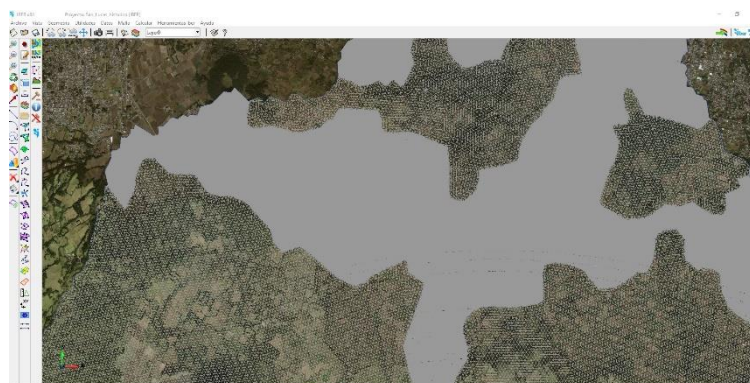


Figura 4.49 Densidad de los diferentes tamaños de elementos en la mala de cálculo

Una vez realizada la simulación se establecieron puntos de control para verificar el comportamiento de los escurrimientos, en estos puntos se obtuvieron hidrogramas para cada periodo de retorno, figuras 4.51 y 4.52, con el fin de que las simulaciones mostraran congruencia, y a la vez permitieron visualizar la magnitud de los caudales, en figura 4.50 se observa la ubicación de los puntos de control.



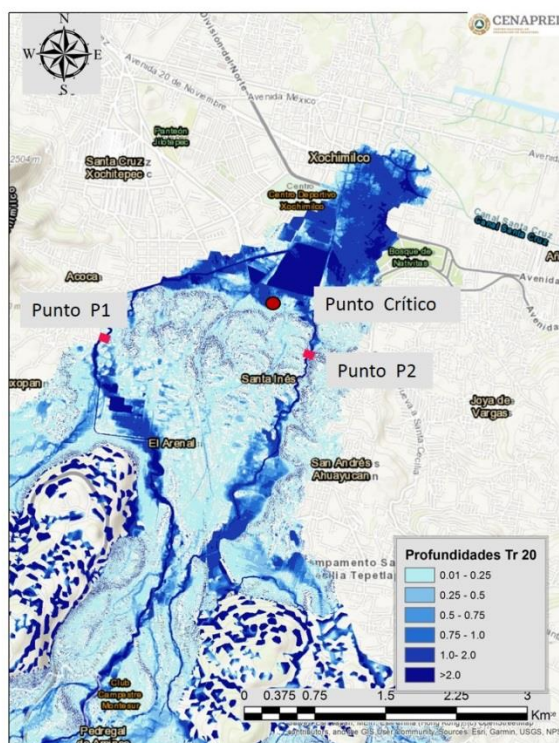


Figura 4.50 Acercamiento a la zona del punto crítico de inundación y ubicación de los puntos de control

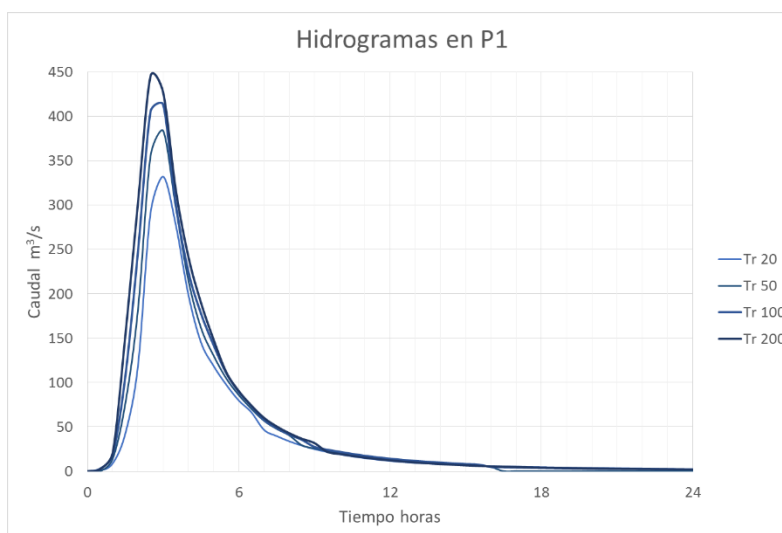


Figura 4.51 Hidrogramas obtenidos en el punto de control P1

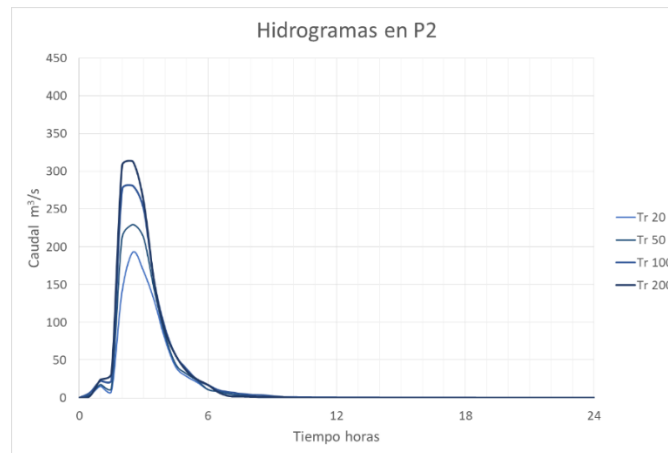


Figura 4.52 Hidrogramas obtenidos en el punto de control P2

En los hidrogramas se observó que los colocados en el punto de control P1, que corresponden al río Santiago son mayores a los del punto P 2 del río San Lucas, esto porque el primero cuenta con un recorrido más largo y con secciones mayores, por lo que la incidencia de desbordamiento en este cauce no ocurre con tanta frecuencia; caso contrario a los del segundo afluente en análisis, que conduce caudales menores en secciones más pequeñas, con un recorrido notablemente menor pero con pendientes más pronunciadas, que provocan grandes velocidades y desbordamientos recurrentes.

4.3.2. Mapas de peligro del punto 03

De las modelaciones obtenidas se representó a los de peligro asociado a los periodos de retorno 20, 50, 100 y 200 años, para las variables de profundidades, velocidades y severidad, esta última es la combinación de las dos primeras por medio del nomograma de Dorrigo.





Mapas asociados al Tr 20 años

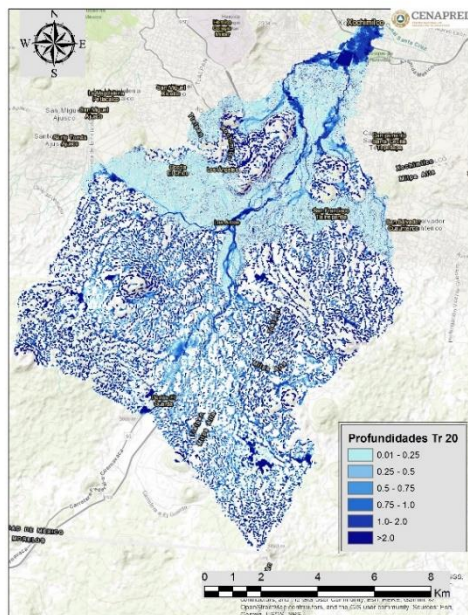


Figura 4.53 Mapa de profundidades asociado al Tr 20 años

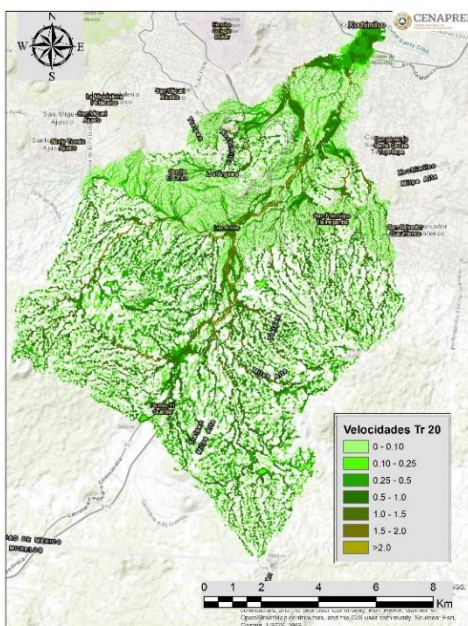


Figura 4.54 Mapa de velocidades asociado al Tr 20 años

Av. Delfín Madrigal No. 665, Col. Pedregal de Santo Domingo, Alcaldía
Coyoacán, Ciudad de México. Tel: 52+55 5424 6100
www.gob.mx/cenapred

Los avisos de privacidad están disponibles para consulta en
<https://www.gob.mx/cenapred/es/documentos/avisos-de-privacidad-del-cenapred>
Página 47 de 79



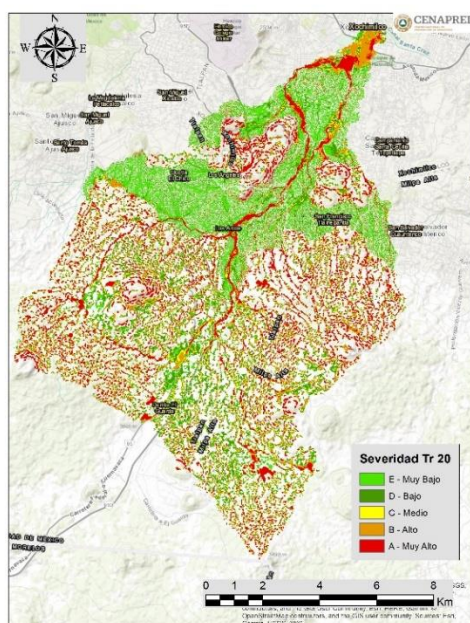


Figura 4.55 Mapa de severidad asociado al Tr 20 años

Mapas asociados al Tr 50 años

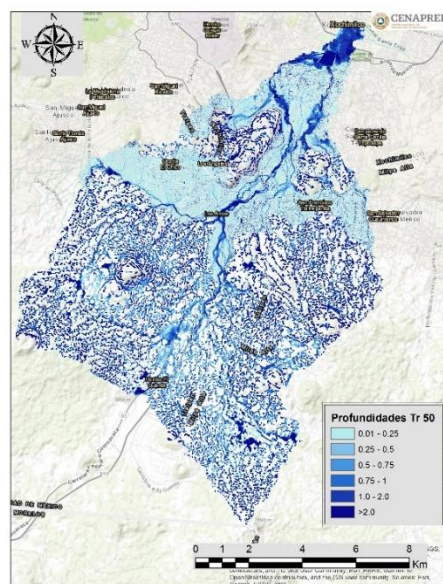


Figura 4.56 Mapa de profundidades asociado al Tr 50 años

Av. Delfín Madrigal No. 665, Col. Pedregal de Santo Domingo, Alcaldía
Coyoacán, Ciudad de México. Tel: 52+55 5424 6100
www.gob.mx/cenapred

Los avisos de privacidad están disponibles para consulta en
<https://www.gob.mx/cenapred/es/documentos/avisos-de-privacidad-del-cenapred>
Página 48 de 79



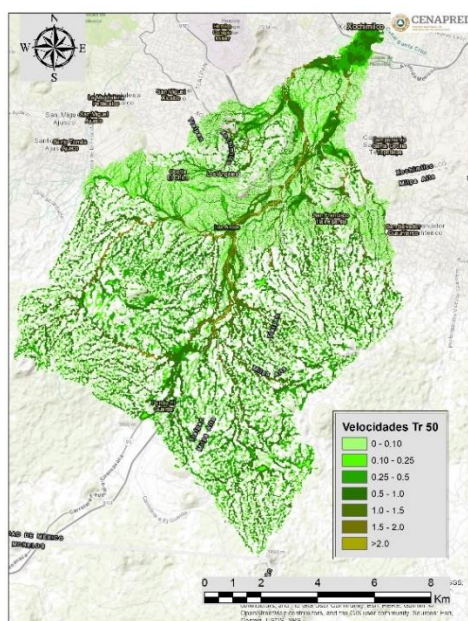


Figura 4.57 Mapa de velocidades asociado al Tr 50 años

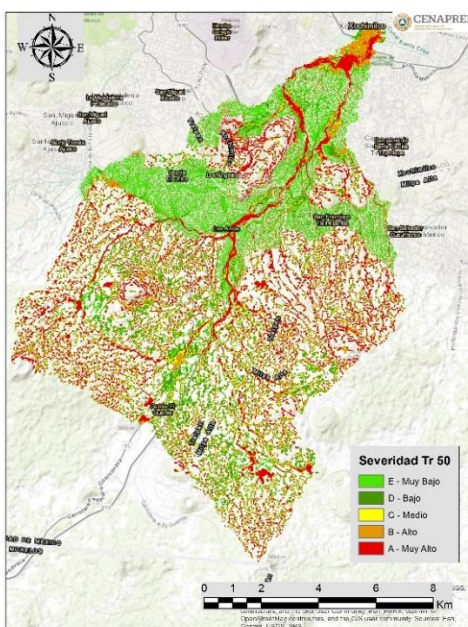


Figura 4.58 Mapa de severidad asociado al Tr 50 años





Mapas asociados al Tr 100 años

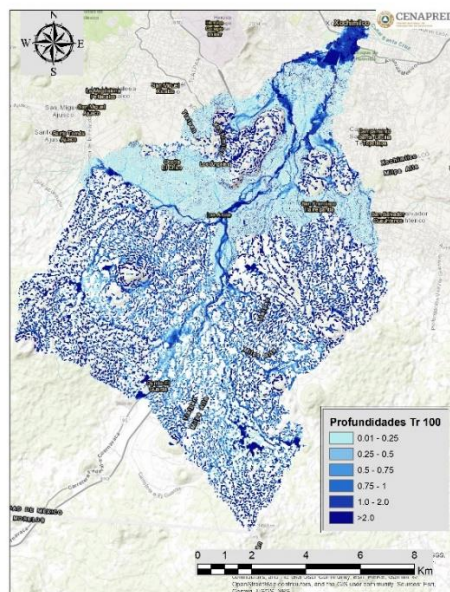


Figura 4.59 Mapa de profundidades asociado al Tr 100 años

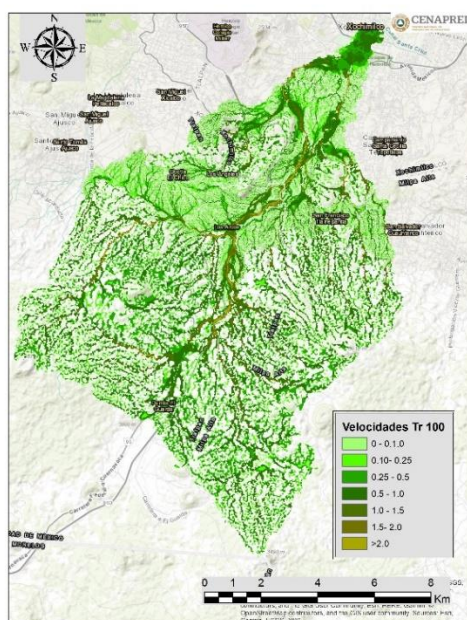


Figura 4.60 Mapa de velocidades asociado al Tr 100 años

Av. Delfín Madrigal No. 665, Col. Pedregal de Santo Domingo, Alcaldía
Coyoacán, Ciudad de México. Tel: 52+55 5424 6100
www.gob.mx/cenapred

Los avisos de privacidad están disponibles para consulta en
<https://www.gob.mx/cenapred/es/documentos/avisos-de-privacidad-del-cenapred>
Página 50 de 79



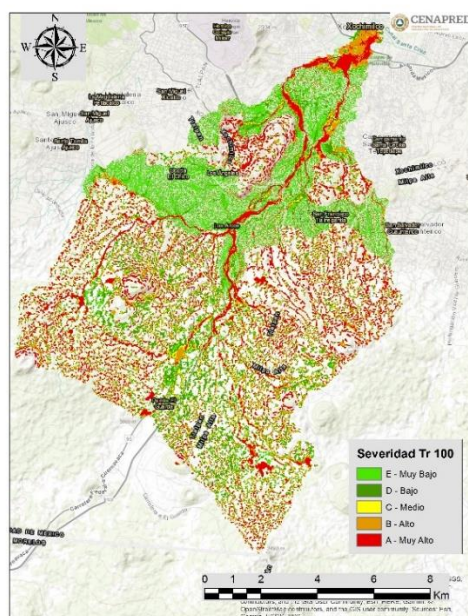


Figura 4.61 Mapa de severidad asociado al Tr 100 años

Mapas asociados al Tr 200 años

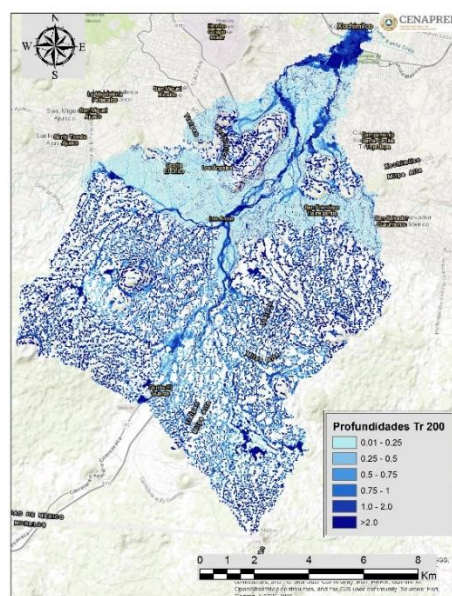


Figura 4.62 Mapa de profundidades asociado al Tr 200 años

Av. Delfín Madrigal No. 665, Col. Pedregal de Santo Domingo, Alcaldía
Coyoacán, Ciudad de México. Tel: 52+55 5424 6100
www.gob.mx/cenapred

Los avisos de privacidad están disponibles para consulta en
<https://www.gob.mx/cenapred/es/documentos/avisos-de-privacidad-del-cenapred>
Página 51 de 79



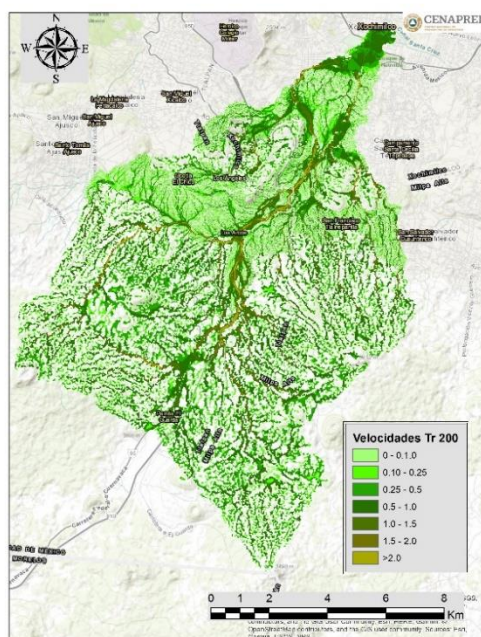


Figura 4.63 Mapa de velocidades asociado al Tr 200 años

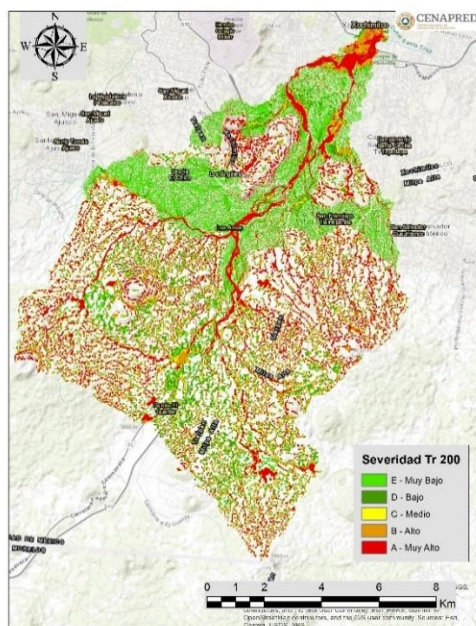


Figura 4.64 Mapa de severidad asociado al Tr 200 años

Av. Delfín Madrigal No. 665, Col. Pedregal de Santo Domingo, Alcaldía
Coyoacán, Ciudad de México. Tel: 52+55 5424 6100
www.gob.mx/cenapred

Los avisos de privacidad están disponibles para consulta en
<https://www.gob.mx/cenapred/es/documentos/avisos-de-privacidad-del-cenapred>
Página 52 de 79



4.4. Descripción y registro punto crítico, ejemplo 04

Datos generales

La alcaldía Iztapalapa es una de las 16 demarcaciones territoriales que conforman la Ciudad de México, su territorio representa el 7.52% del área total de la Ciudad, se ubica entre los paralelos 19°24'N, 19°17'N y los meridianos 99°58'W, 99°08'W, teniendo una extensión territorial de 11,667 ha. De acuerdo con las cifras del INEGI en 2015 habitan 1,827,868 personas, siendo la alcaldía más poblada con el 20% de la población de la CDMX, que registra un crecimiento anual de 0.23%. Sin embargo, a partir de 2010 ha mostrado tasas de crecimiento poblacional negativas como consecuencia de la falta de suelo urbanizado, principalmente en las faldas de la sierra de Santa Catarina (SEDATU, 2016).

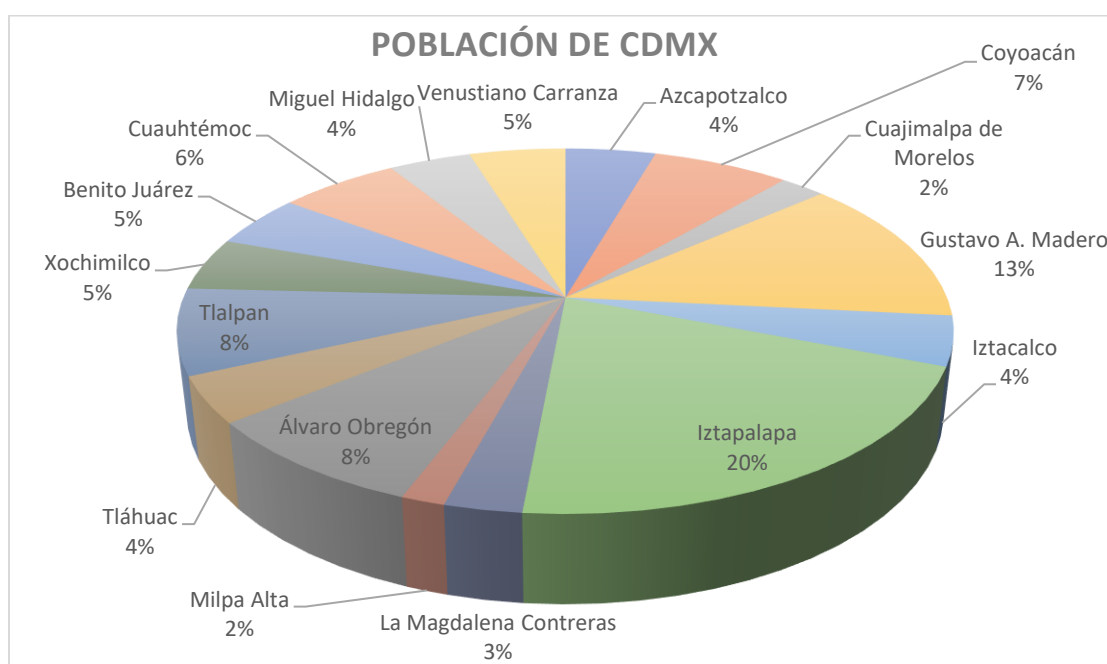


Figura 4.65 Población de la Ciudad de México (Fuente: INEGI 2015)

La mayor parte del territorio de Iztapalapa fue en la antigüedad parte del Lago de Texcoco, casi el 60 % de la alcaldía es suelo lacustre y está ubicado en la mitad norte, la planicie entre el Cerro de la Estrella y la sierra de Santa Catarina. El suelo aluvial en torno al cerro de la Estrella y en el piedemonte de los volcanes Yuhualixqui y Xaltepec ocupan casi el 10 % de la alcaldía (INEGI, 2010).

Esta condición del suelo propicia que se presenten problemas de agrietamiento y hundimientos diferenciales del suelo, que afectan a las edificaciones, la infraestructura y repercuten en costos más elevados de las obras de urbanización. Por otra parte, el poblamiento en la sierra de Santa Catarina y el cerro de la Estrella genera problemas en el suministro de agua potable.



Fisiografía

La alcaldía Iztapalapa tiene la fisiografía de un vaso lacustre resultado de dos fallas tectónicas que dieron origen al alineamiento de las estructuras volcánicas del Cinturón Volcánico Transmexicano. Su relieve plano corresponde a una fosa o depresión tectónica (vaso lacustre y vaso lacustre salino).

El primer lineamiento está definido por el cerro Peñón del Marqués (2,400 msnm) y Huizachtecatl o cerro de la Estrella (2,460 msnm); el segundo lo componen la Sierra de Santa Catarina con el cerro Tecuautzi o Santiago (2,640 msnm), cerro Tetecón (2,480 msnm), volcán Xaltepec (2,500 msnm), volcán Yuhualixqui (2,420 msnm) y volcán Guadalupe o el Borrego (2,820 msnm), tomando en cuenta sólo las elevaciones principales.

Los materiales que constituyen el subsuelo corresponden a una intercalación de productos volcánicos tales como lavas, tobas, cenizas, materiales granulares, sedimentos transportados por ríos y arroyos provenientes de las partes topográficamente altas y que fueron transportados hacia los valles. Cubriendo a dichos materiales y con espesores variables entre ellas, se encuentran arcillas y arenas finas, que son el producto del sedimento de los antiguos lagos.

Geología

La mayor parte de su superficie corresponde a unidades litológicas que aparecieron en el periodo Cuaternario. En la sierra de Santa Catarina, la unidad litológica predominante es la brecha volcánica básica, que representa más del 23% de la superficie de la alcaldía. En las faldas de los volcanes Tecuauhtzin y Guadalupe se encuentra el basalto, correspondiente a un poco más del 1% del territorio. En el caso del Peñón Viejo, también predomina la brecha volcánica. El cerro de la Estrella presenta una configuración más compleja, ya que combina la brecha volcánica del Cuaternario con una zona de toba básica del Periodo Terciario de mayor antigüedad; dicha región corresponde apenas al 5.56% (INEGI, 2008).

El territorio de Iztapalapa se encuentra en la subprovincia Lagos y Volcanes del Anáhuac pertenecientes a la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico el cual está formado por tres sistemas de topoformas de llanura lacustre, que cubren casi el 96%, mientras que el resto corresponde a un sistema de lomerío de basalto ubicado sobre el volcán Guadalupe.

El cerro de la Estrella emerge durante el vulcanismo de la época plio–pleistocénica del cuaternario, de composición andesítico–basáltica. Al mismo tiempo se desarrollaron los cerros del Pino, Marqués y Chimalhuacán, conformando la sierra de Santa Catarina, que junto con el Cerro de la Estrella componen la alcaldía Iztapalapa.

Hidrología

Iztapalapa se encuentra totalmente dentro de la Región Hidrológica del río Pánuco, forma parte de la subcuenca Texcoco-Zumpango, que fue unida de manera artificial en el siglo XVII a la cuenca del río Moctezuma a través de un canal que tenía como propósito desaguar el Valle de Anáhuac en el río Tula para evitar las frecuentes inundaciones que afectaban a la Ciudad de México. Las obras de desagüe de los Lagos han

Av. Delfín Madrigal No. 665, Col. Pedregal de Santo Domingo, Alcaldía
Coyoacán, Ciudad de México. Tel: 52+55 5424 6100
www.gob.mx/cenapred

Los avisos de privacidad están disponibles para consulta en
<https://www.gob.mx/cenapred/es/documentos/avisos-de-privacidad-del-cenapred>
Página 54 de 79





SEGURIDAD

SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC

COORDINACIÓN NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES

continuado desde la época colonial hasta la actualidad.

Esta demarcación fue una región con grandes extensiones de agua, existieron canales para transportarse a Santa Anita, Jamaica y Tlatelolco. El reconocimiento en corrientes de aguas se presenta en los canales de Chalco y Nacional, que se encuentran a cielo abierto y forman límites con las alcaldías Xochimilco y Coyoacán, además de los canales de Churubusco y de Garay, los cuales se encuentran entubados.

Los acuíferos de Iztapalapa han sido intensamente explotados para abastecer de agua a los habitantes del Valle de México. Esto ha generado un gran número de fracturas en su territorio. Un ejemplo es la calzada Ignacio Zaragoza, la cual constituye uno de los principales accesos a la Ciudad de México, y que muestra un severo hundimiento. Esto ha generado un gran número de fracturas en su territorio. Los problemas derivados del hundimiento diferencial de la superficie eran ya visibles en la década de 1980

Clima

Según la clasificación climática de Köppen, y de acuerdo con el mapa de climas de la Ciudad de México, Iztapalapa se localiza en un clima templado moderado lluvioso; cuenta con un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, de menos humedad y semiseco templado con temperaturas promedio de 16.7 °C, extremas menores de 13.2 °C en invierno y 19.0 °C en primavera (Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México, INAFED, 2007). La precipitación pluvial anual registrada es en promedio de 607.00 mm, donde el año más seco registra los 403.80 mm, y el año más lluvioso 864.80 mm, según los datos de la Comisión Nacional de Agua, 2008.

Áreas naturales protegidas

De acuerdo con Programa General de Ordenamiento Ecológico de 2000 esta alcaldía tiene como Áreas Naturales Protegidas (ANP) al cerro de la Estrella (143 ha) y la sierra de Santa Catarina, decretadas el 03 de noviembre de 1994 y el 21 de agosto de 2003, respectivamente. El cerro Peñón del Marqués, el Volcán Yuhualixquí, Parque Ciutláhuac y el Canal Nacional son otros tres elementos catalogados como Áreas Verdes con Valor Ambiental. Los elementos que se enmarcan dentro de la línea de conservación son de suma importancia en la preservación ecológica y éstos se están viendo seriamente afectados por la invasión de los asentamientos irregulares, lo que incide en el deterioro del suelo y del medio ambiente (PDDU, 2008). De manera específica se considera como zona de gran valor ambiental a la sierra de Santa Catarina, cuyo suelo de conservación tiene una extensión de 576 ha, debido a que en las partes altas es donde mayor precipitación pluvial se presenta y el tipo de suelo es altamente permeable, ocurren filtración de aguas de lluvia al subsuelo, ayudando con ello a mantener los niveles de los mantos freáticos utilizados para obtener agua potable para el uso de la población (PDDU, 2008; Mapa X)

Inundaciones

Las inundaciones en la Ciudad de México han sido un problema constante a través del tiempo, ya que era un lago alimentado por algunos escurrimientos provenientes de la Sierra Chichinautzin, Nevada, entre otros. El primer evento de este tipo se registró

Av. Delfín Madrigal No. 665, Col. Pedregal de Santo Domingo, Alcaldía
Coyoacán, Ciudad de México. Tel: 52+55 5424 6100
www.gob.mx/cenapred

Los avisos de privacidad están disponibles para consulta en
<https://www.gob.mx/cenapred/es/documentos/avisos-de-privacidad-del-cenapred>
Página 55 de 79





en 1629 cuando 36 horas de lluvia generaron que la ciudad quedara bajo el agua, esta inundación duró cinco años provocando múltiples daños.

En la delegación se han identificado 73 zonas con problemas de encharcamiento cuyas causas son de distinto tipo siendo provocadas por la bajada de aguas broncas (15%), seguidas de insuficiencia del colector (6%), insuficiencia de la atarjea (15%) y por coladeras obstruidas (64%).

De acuerdo con el catálogo de inundaciones (CENAPRED 2020), Ciudad de México cuenta con 498 registros de inundación, de los cuales 51 se presentaron en la alcaldía de Iztapalapa siendo de las más afectadas a este fenómeno, derivado de diversos factores como: urbanización, crecimiento poblacional, déficit en la capacidad de drenaje, topografía, cambio de uso de suelo, bajo rendimiento en el sistema de drenaje debido al azolve o basura.

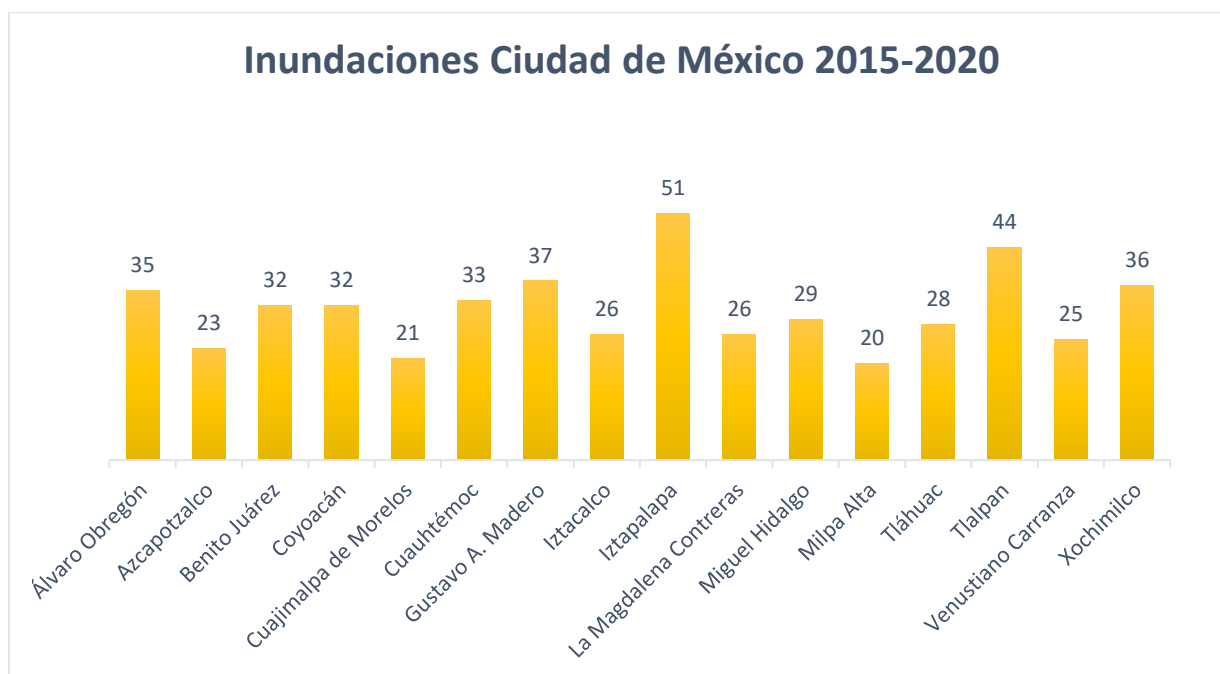


Figura 4.66 Inundaciones registradas en la Ciudad de México 2015-2020. Fuente: Catálogo de inundaciones, 2020

Derivado de lo anterior se analizó un punto crítico de inundación, ubicado en las coordenadas 19°21'14.3"N, 99°04'58.9"W, sobre la calle Camino Real a San Lorenzo, entre las colonias 8va Ampliación San Miguel y Plan de Iguala. En esta vía se encuentran varias fábricas, gasolineras y hoteles, además es muy concurrida por las personas que viven en las laderas del cerro de la Estrella, ya que constituye un acceso principal para llegar a la cima del cerro donde existen varias unidades habitacionales; sin embargo, en temporada de lluvias suele inundarse de manera recurrente.

El gobierno de la Ciudad de México cuenta con una aplicación web llamada Atlas de Riesgos de la Ciudad de México, en el que se encuentra una base de datos georreferenciados que contiene inundaciones atendidas por la Secretaría de





Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil desde 2016 hasta la fecha, de acuerdo con esta información se registraron ocho eventos en un radio de 150 m de distancia al punto crítico.

Tabla 1 Inundaciones atendidas por la Secretaría de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil

Fecha	Tipo de inundación	Detalles
24/05/2016	Inundación pluvial	Encharcamiento por lluvia torrencial.
24/05/2016	Inundación pluvial	Encharcamiento por lluvia torrencial.
29/08/2017	Inundación pluvial	Encharcamiento por lluvia torrencial.
19/10/2018	Inundación pluvial	A consecuencia de la insuficiencia de la red de drenaje, se formó un encharcamiento de 200 m., lineales por 40 cm., de tirante en la parte más baja, afectando los cuatro carriles de la calzada Ermita Iztapalapa con dirección al oriente.
15/09/2020	Inundación pluvial	A consecuencia de las fuertes lluvias que se presentaron en la zona, aunado al azolve de los accesorios hidráulicos, se formó un encharcamiento de aproximadamente 1 km lineal por hasta 1 m de tirante. Se cuantificaron un aproximado de 30 comercios.
08/09/2020	Inundación pluvial	Sobre la vialidad se detectó un encharcamiento de 200 m., de espejo por 40 cm., de tirante, se procedió a destapar los accesorios hidráulicos para que fluyera el agua, se presentó el vactor D-10 del SACMEX para realizar desazolve.
31/07/2020	Inundación pluvial	A consecuencia de la insuficiencia de la red de drenaje, se formó un encharcamiento de 30m., de espejo por 15 cm., de tirante afectando un carril de la vialidad; los niveles de agua bajaron conforme a la capacidad de la red de drenaje.
18/05/2020	Inundación pluvial	A consecuencia de la insuficiencia de la red de drenaje, se formó un encharcamiento de 250m., de espejo por 50 cm afectando los dos carriles de la calzada Ermita Iztapalapa con dirección al oriente, no hubo afectaciones a inmuebles.

Fuente: Atlas de Riesgo de la Ciudad de México





Figura 4.67 Georreferencia de inundaciones atendidas por Protección Civil de Ciudad de México.
(Fuente: Secretaría de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil)

Además, esta plataforma presenta un mapa de Indicadores de peligro, amenazas y exposición a nivel AGEb, la zona en estudio se encuentra en nivel alto en cuanto a peligro por inundación.

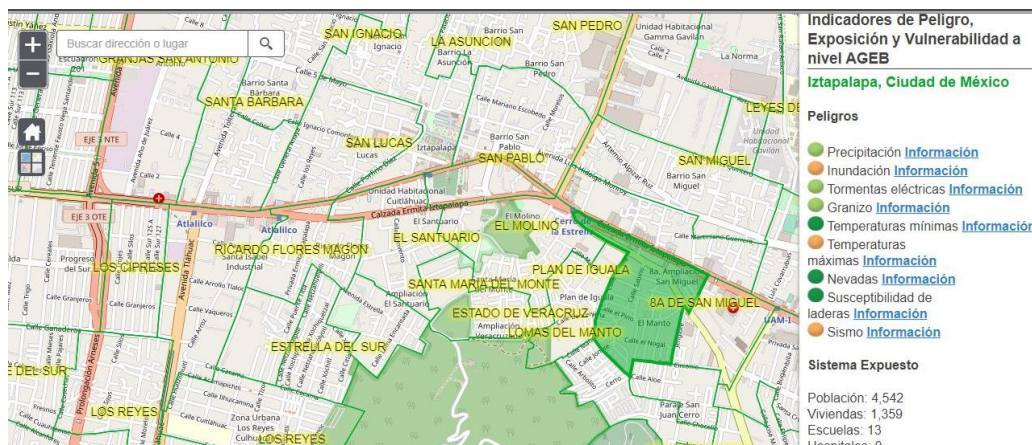


Figura 4.68 Indicador de peligro por AGEb (Fuente: Secretaría de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil)

Se realizó una visita de campo, con la finalidad de observar el terreno, pendiente y tipo de infraestructura hidráulica de la zona. Derivado de esta breve inspección se observaron componentes del sistema de alcantarillado como son estructuras de captación y de conexión, así como de mantenimiento.

Av. Delfín Madrigal No. 665, Col. Pedregal de Santo Domingo, Alcaldía Coyoacán, Ciudad de México. Tel: 52+55 5424 6100
www.gob.mx/cenapred

Los avisos de privacidad están disponibles para consulta en
<https://www.gob.mx/cenapred/es/documentos/avisos-de-privacidad-del-cenapred>
Página 58 de 79





SEGURIDAD

SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC

COORDINACIÓN NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES

Boca de Tormenta

Estructuras destinadas a la captación de agua de lluvia, localizadas generalmente en la confluencia de las calles, con el objeto de interceptar el agua antes de la zona de tránsito de los peatones. Se observó coladeras de piso, las cuales pierden capacidad de captación con el aumento de rejillas, cuentan con la ventaja de poderse ubicar de manera transversal o longitudinal a la vía por donde el agua fluye.



Figura 4.69 Coladera de piso (núm. 2) en posición transversal al flujo

Sin embargo, este tipo de coladeras transversales tienen la desventaja de acumular sedimentos, al ser arrastrado por el flujo, por lo que reduce su capacidad de captación de manera considerable como se muestra en la siguiente figura 4.70.

Av. Delfín Madrigal No. 665, Col. Pedregal de Santo Domingo, Alcaldía
Coyoacán, Ciudad de México. Tel: 52+55 5424 6100
www.gob.mx/cenapred

Los avisos de privacidad están disponibles para consulta en
<https://www.gob.mx/cenapred/es/documentos/avisos-de-privacidad-del-cenapred>
Página 59 de 79





SEGURIDAD

SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC

COORDINACIÓN NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES

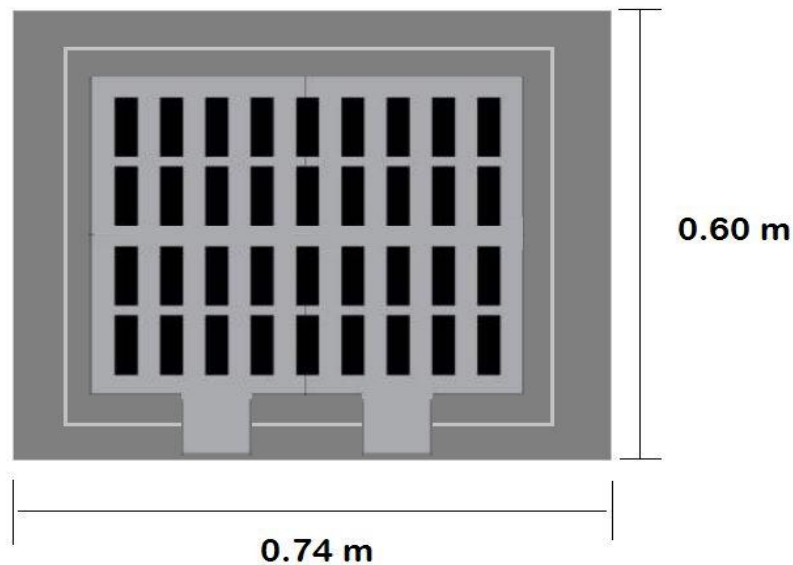


Figura 4.70 Coladera de piso rejilla azolvada

Av. Delfín Madrigal No. 665, Col. Pedregal de Santo Domingo, Alcaldía
Coyoacán, Ciudad de México. Tel: 52+55 5424 6100
www.gob.mx/cenapred

Los avisos de privacidad están disponibles para consulta en
<https://www.gob.mx/cenapred/es/documentos/avisos-de-privacidad-del-cenapred>
Página 60 de 79





En la zona de estudio se observaron tres sitios con este tipo de boca de tormenta, todos con problemas de azolvamiento, en uno de ellos se observó el crecimiento de plantas, por lo que su capacidad de captación se encuentra reducida o es nula, ocasionando acumulación de flujo en la parte baja de calle. De igual forma en la acera izquierda no se observó banquetas ni estructuras de alcantarillado, en algunas partes se aprecia manchas de humedad, así como pequeños arbustos.



Figura 4.71 Coladera de piso longitudinal sin capacidad de captación



SEGURIDAD

SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC

COORDINACIÓN NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL

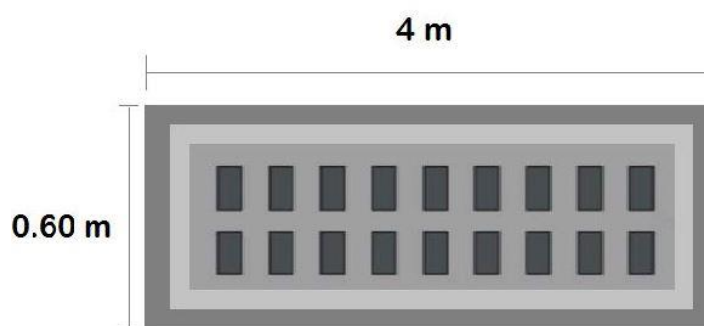


CENAPRED

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES



Figura 4.72 Coladera de piso (núm. 1) en posición longitudinal, obstruida por vegetación



Av. Delfín Madrigal No. 665, Col. Pedregal de Santo Domingo, Alcaldía
Coyoacán, Ciudad de México. Tel: 52+55 5424 6100
www.gob.mx/cenapred

Los avisos de privacidad están disponibles para consulta en
<https://www.gob.mx/cenapred/es/documentos/avisos-de-privacidad-del-cenapred>
Página 62 de 79





SEGURIDAD

SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC

COORDINACIÓN NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES

El arrastre de sedimentos y asolvamiento no es el único problema en este lugar, además debido a la velocidad con la que baja el flujo arrastra desechos sólidos que se acumulan en las coladeras quedando atrapada entre las rejillas y la maleza.



Figura 4.73 Coladera de piso núm. 3, totalmente obstruida por basura y vegetación

Av. Delfín Madrigal No. 665, Col. Pedregal de Santo Domingo, Alcaldía
Coyoacán, Ciudad de México. Tel: 52+55 5424 6100
www.gob.mx/cenapred

Los avisos de privacidad están disponibles para consulta en
<https://www.gob.mx/cenapred/es/documentos/avisos-de-privacidad-del-cenapred>
Página 63 de 79





La calle de Camino Real a San Lorenzo cuenta con cuatro alcantarillas de banquetta, todas ellas presentan vegetación, tapando totalmente el área de captación. Este tipo de estructuras aumenta su eficiencia cuando existe una cuneta en la base que permite el ingreso del agua, las que se encuentran en el lugar no cuenta con dicho elemento.



Figura 4.74 Coladera de banquetta núm.1 con presencia de vegetación (Fuente: SRI, 2020)

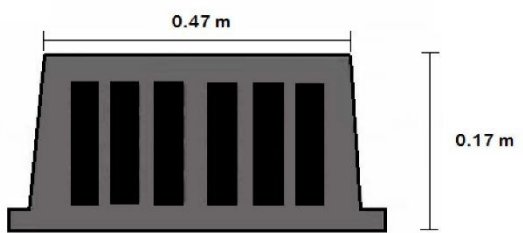
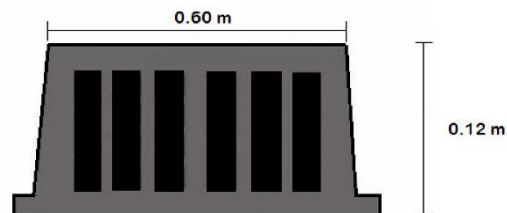
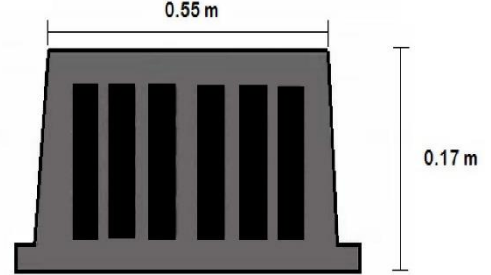
Además del azolve, la obstrucción de basura y vegetación, la infraestructura de captación de agua pluvial ha sufrido hundimientos y con ello disminuye el área de captación con la que fue diseñada.



Figura 4.75 Obstrucción en coladera de banquetta núm.3 (Fuente: SRI, 2020)



Tabla 2 Dimensiones de alcantarillado de banquetta ubicadas en zona inundable

Alcantarilla de banquetta	Dimensiones
 Alcantarilla obstruida por vegetación y basura	 0.47 m 0.17 m
 Alcantarilla que presenta hundimiento	 0.60 m 0.12 m
 Alcantarilla limpia en calle aledaña a la zona en estudio	 0.55 m 0.17 m

Pozos de visita

Son estructuras diseñadas para la conexión y mantenimiento de los ductos que forman parte del sistema de las redes de drenaje y recolectar los volúmenes de agua escurridos por las vialidades, además de servir de conector de ductos de diversos diámetros y

Av. Delfín Madrigal No. 665, Col. Pedregal de Santo Domingo, Alcaldía
Coyoacán, Ciudad de México. Tel: 52+55 5424 6100
www.gob.mx/cenapred

Los avisos de privacidad están disponibles para consulta en
<https://www.gob.mx/cenapred/es/documentos/avisos-de-privacidad-del-cenapred>
Página 65 de 79





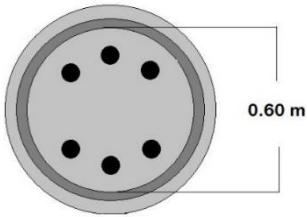
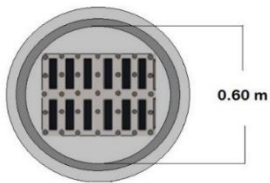
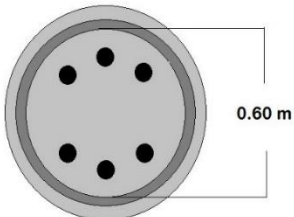
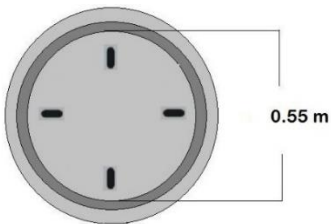
materiales, también disponen del espacio suficiente para que un operador baje a nivel de tuberías y realizar acciones de limpieza e inspección de las misma.



Figura 4.76 Pozos de visitas sobre la vía camino a San Lorenzo



Tabla 3 Ejemplos de pozos de visita que se encuentran en la zona de estudio y sus dimensiones

POZOS DE VISITA	DIMENSIONES
	
	
	
	

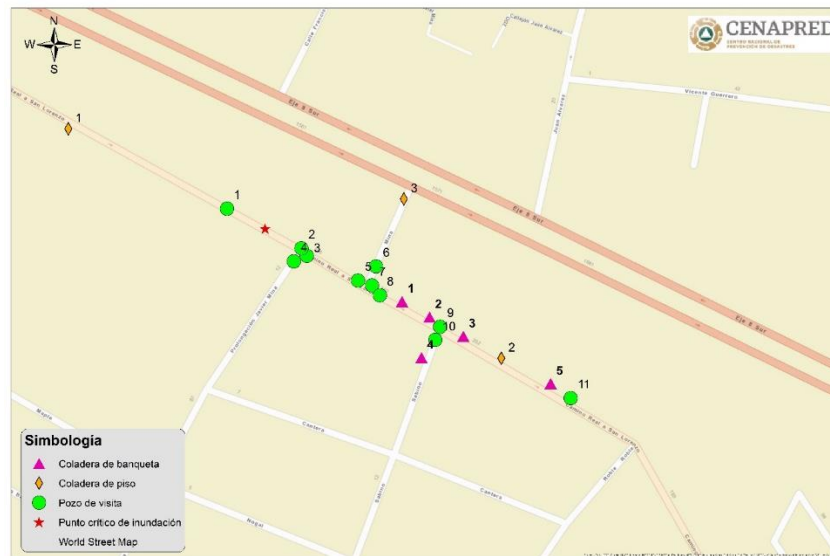


Figura 4.77 Ubicación de las estructuras de alcantarillado

4.4.1. Análisis hidráulico e hidrológico del punto 04

Análisis de la cuenca

Una vez que se eligió el punto crítico y se realizó la visita de campo, se prosiguió al estudio de la cuenca y el comportamiento de los escurrimientos.

Se buscó topografía disponible en el portal de INEGI con una resolución de cinco metros, se trabajó este modelo con la finalidad de quitar algunas inconsistencias como depresiones o falta de datos de topografía en ciertos lugares, ya que pueden provocar errores al realizar la simulación hidráulica.

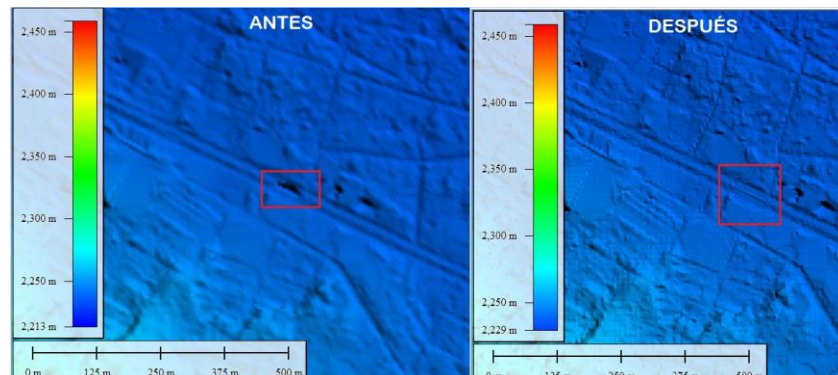


Figura 4.78 Limpieza del raster de terreno



Con el archivo de terrero corregido, se prosiguió a sacar las microcuencas de aportación al área de estudio, así como los escurrimientos que confluyen en la zona.

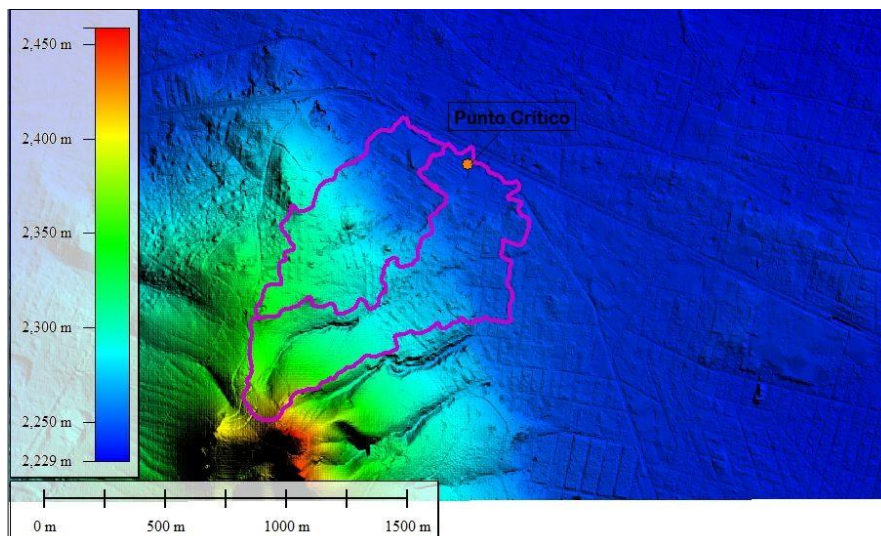


Figura 4.79 Obtención de las microcuencas

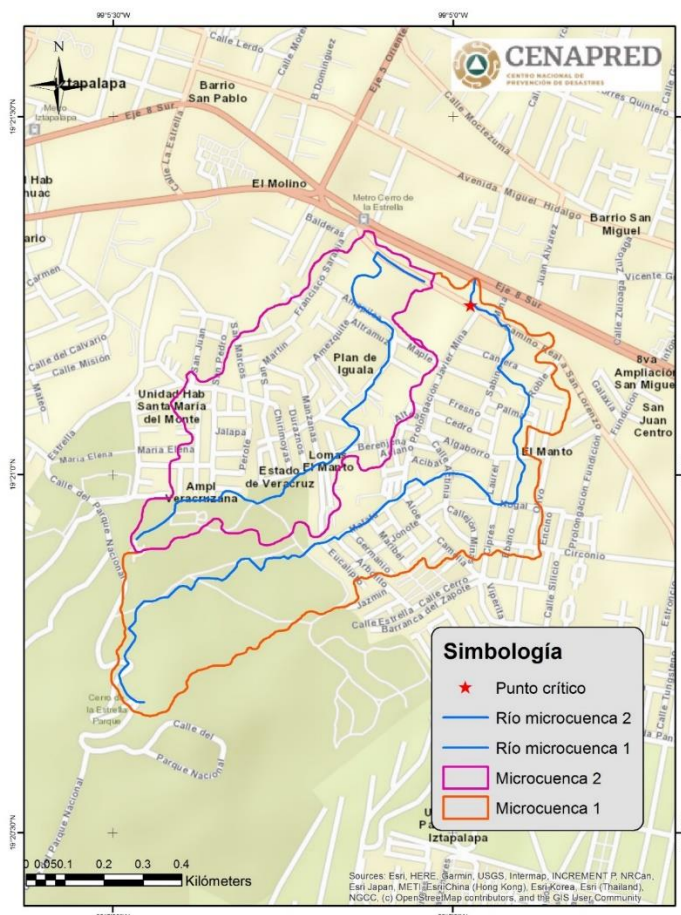


Figura 4.80 Cuentas y ríos

Una vez localizadas las cuentas y los escurrimientos se obtuvieron las características fisiográficas de la microcuenca.

Tabla 4 Parámetros fisiológicos de las cuencas

Características fisiográficas	Microcuenca 1	Microcuenca 2
Área de la cuenca (km ²)	0.47	0.33
Longitud del cauce principal (km)	2.21	1.46
Desnivel topográfico (m)	160.1	93.8
Pendiente del cauce principal	0.013	0.042
Tiempo de concentración (h)	0.33	0.25

Fuente: Elaboración propia





Escenarios de inundación

Se prosiguió con la elección de datos de precipitación a través de las isoyetas disponibles en el Atlas Nacional de Riesgos para los periodos de retorno de $Tr = 20, 50, 100, 200$ años.

Tabla 5 Valor de isoyetas seleccionadas para la zona de estudio

TR	Precipitación 24 h	Precipitación 1 h
20 años	69	45
50 años	78	51
100 años	87	52
200 años	93	61
500 años	104	63

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, para la estimación de gasto de cuencas pequeñas se requiere conocer las precipitaciones medias asociadas a duraciones menores a un día, por lo que se retomó el trabajo de Baeza (2007) utilizando el mapa de factores de convectividad (factor R) y la tabla que relaciona las precipitaciones de 24 h con las de 1 h.

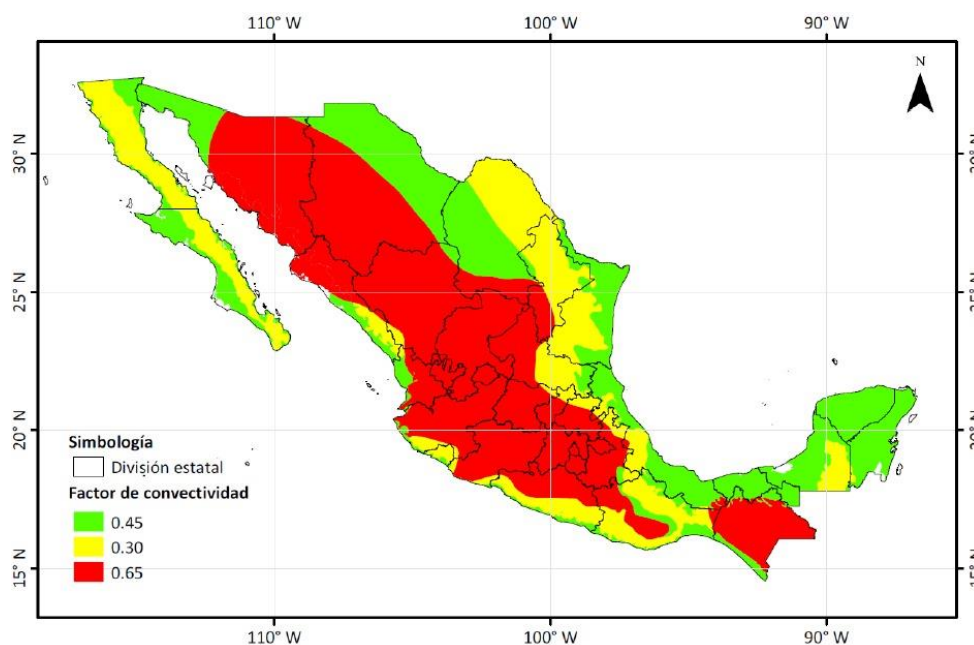


Figura 4.81 Mapa de factores de convectividad (Fuente: Baeza, 2007)



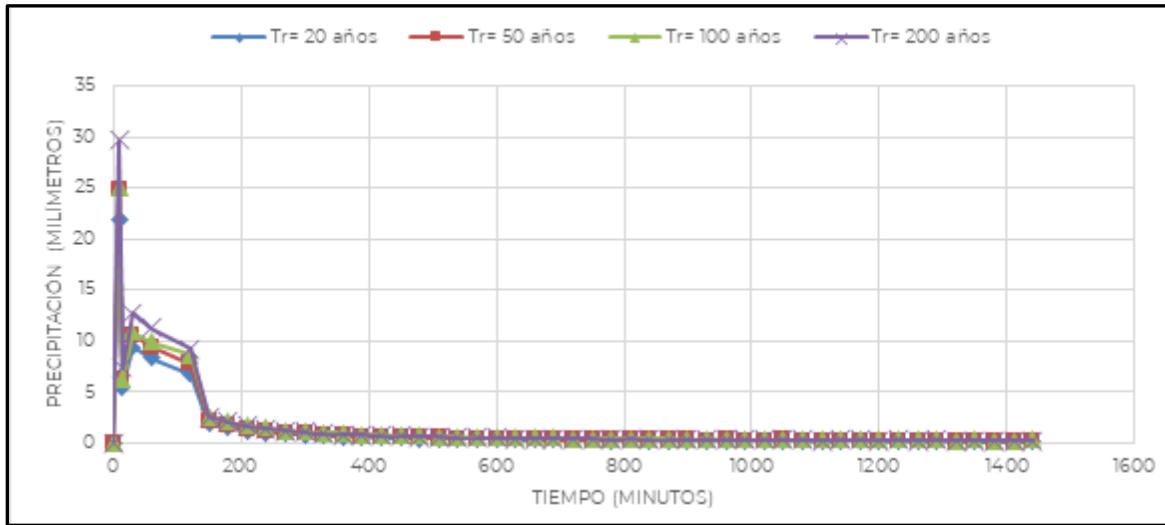


Figura 4.82 Distribución de precipitación para diferentes periodos de retorno

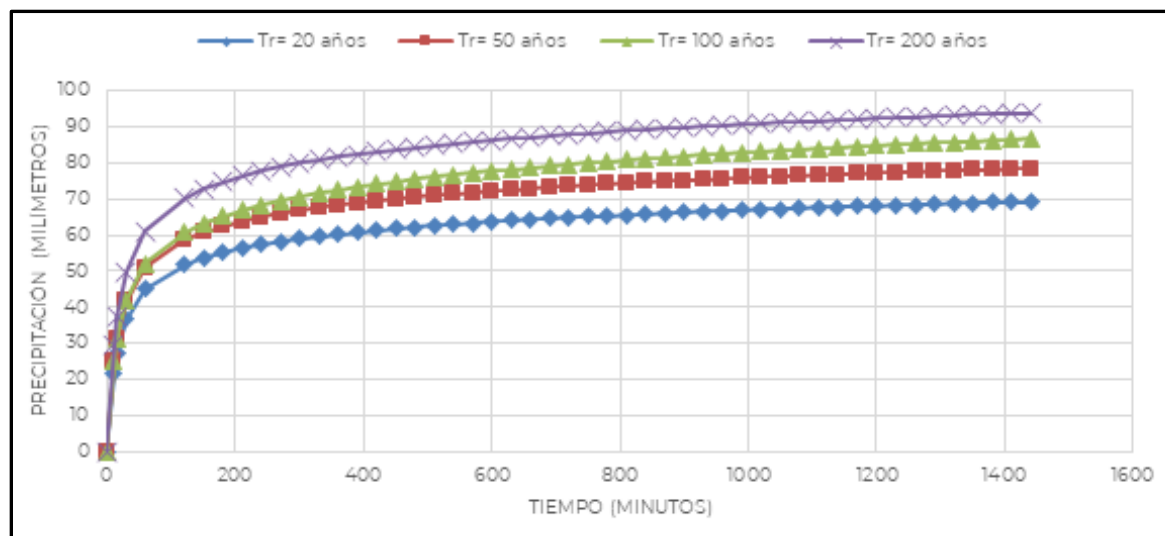


Figura 4.83 Precipitación acumulada para diferentes periodos de retorno

Se obtuvieron las características fisiográficas de la cuenca y se prosiguió a realizar el modelo de lluvia-escorrentía, utilizando el software Hec-HMS 4.7.1., obteniendo como resultado los hidrogramas que se muestran abajo, los cuales describen una respuesta rápida de las microcuencas en el comportamiento de los escurrimientos una vez que se presenta la precipitación, que se debe principalmente al tamaño de las cuencas de influencia y la pendiente del terreno.

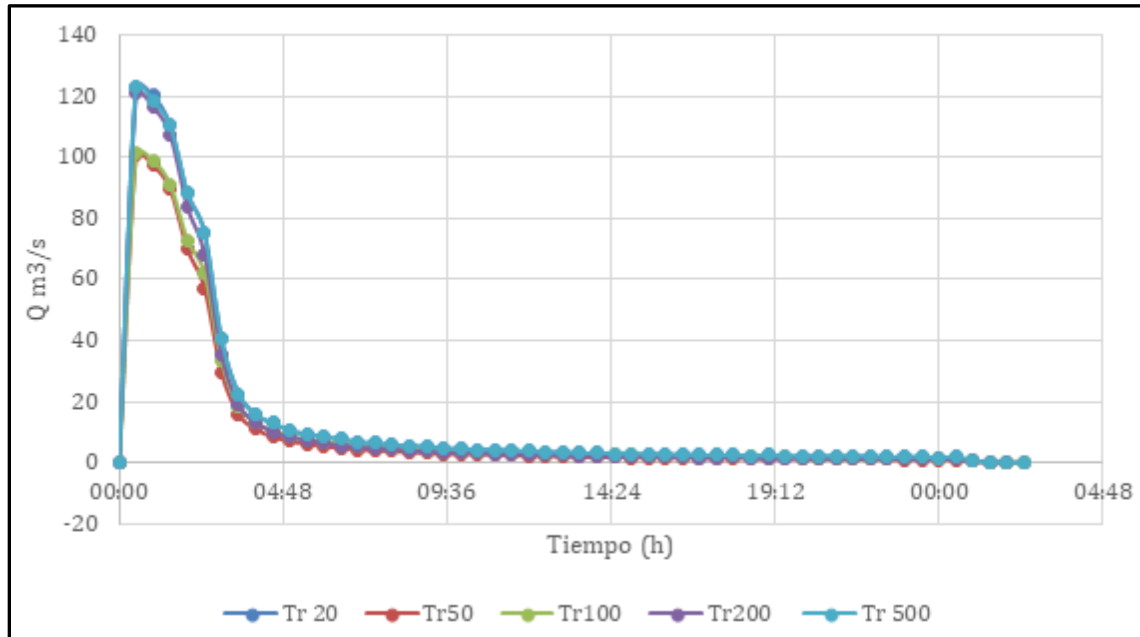


Figura 4.84 Hidrograma de microcuenca uno para los diferentes periodos de retorno

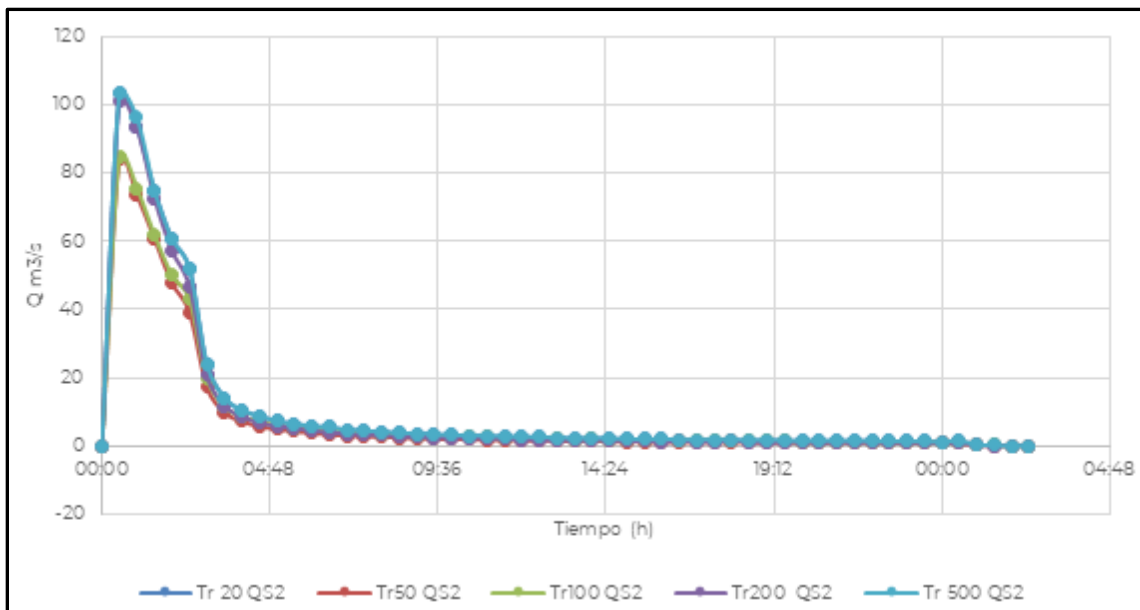


Figura 4.85 Hidrograma de microcuenca dos para los diferentes periodos de retorno



Una vez obtenidos los insumos para la simulación hidráulica como el terreno y los hidrogramas, se prosiguió a generar los escenarios de inundación para los diversos periodos de retorno.

4.4.2. Mapas de peligro del punto 04

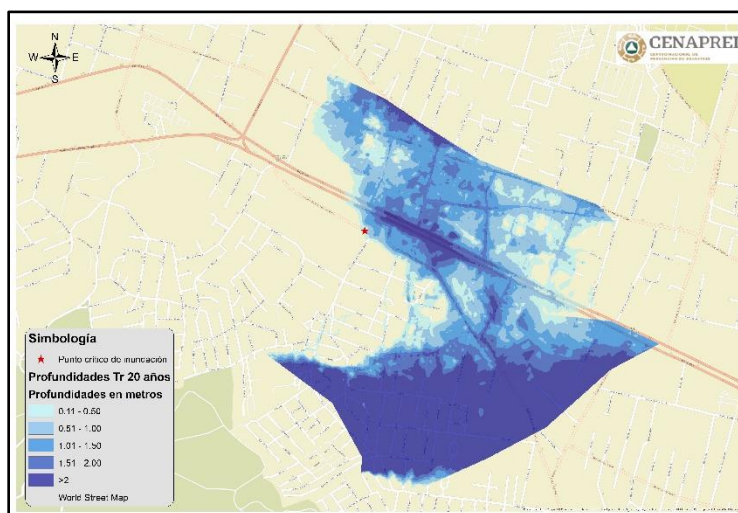


Figura 4.86 Escenario de inundación para un periodo de retorno de 20 años

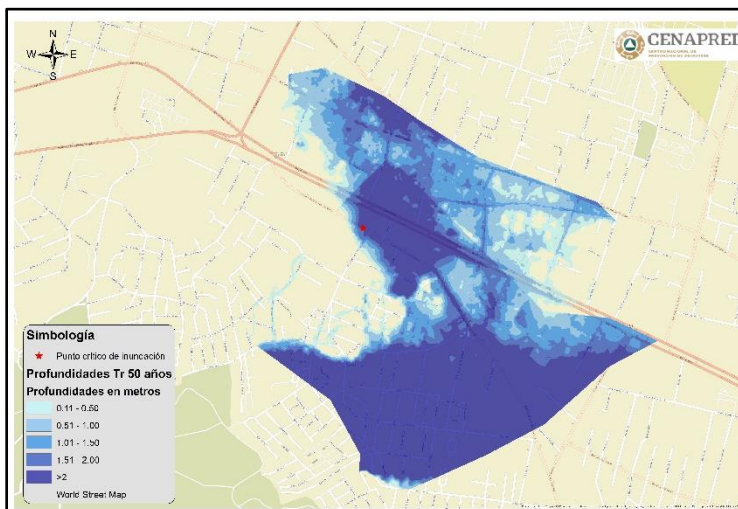


Figura 4.87 Escenario de inundación para un periodo de retorno de 50 años

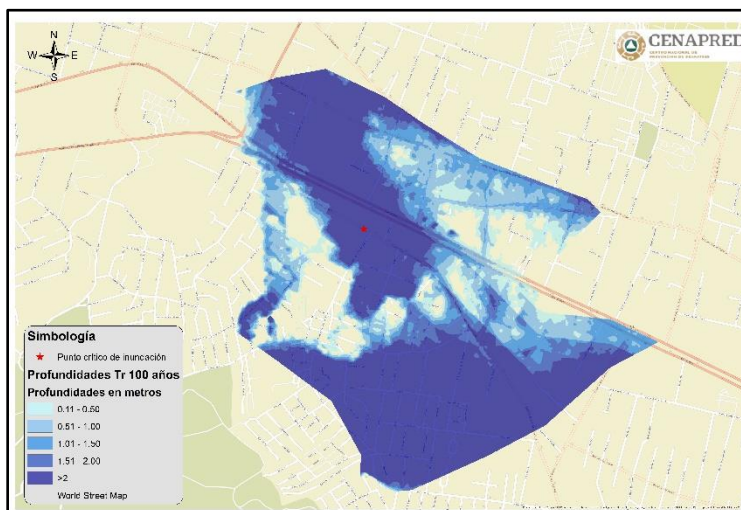


Figura 4.88 Escenario de inundación para un periodo de retorno de 100 años

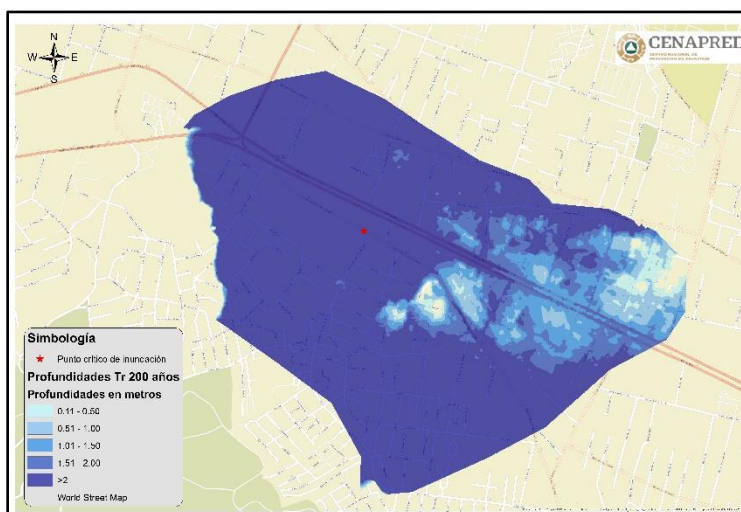


Figura 4.89 Escenario de inundación para un periodo de retorno de 200 años



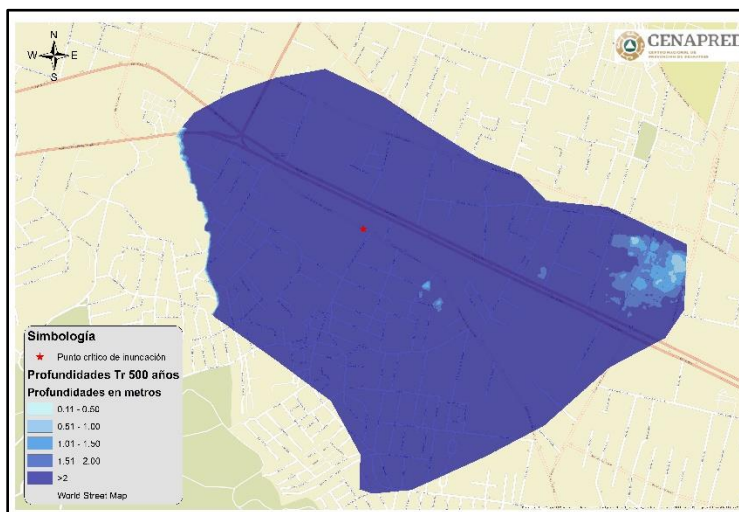


Figura 4.90 Escenario de inundación para un periodo de retorno de 500 años





5. CONCLUSIONES

- Se presentó, describió y ejemplificó la utilización del formato para la captura de datos de puntos críticos de inundación, por medio de cuatro eventos suscitados en diferentes alcaldías de la Ciudad de México.
- Se resaltó la funcionalidad del formato debido a que los estudios de caso fueron realizados por tres personas diferentes y en todos se obtuvo información valiosa, para su registro en las bases de datos, como el Catalogo de Inundaciones del CENAPRED y su posterior análisis mediante simulaciones hidrológicas e hidrodinámicas, así mismo el mapeo del peligro por inundación.
- Por las características particulares de cada estudio de caso se realizaron estudios hidrológicos e hidráulicos, éstos fueron tratados de diferente manera, a diferente escala, la cual se puede resumir de la siguiente forma:
 - Para el ejemplo de punto crítico 02, se pudieron simular dentro del modelo hidrodinámico, las bocas de tormenta, lo cual permite representar con mayor detalle las inundaciones urbanas que vemos en vialidades, esto fue posible debido a que se encuentran dentro de una pequeña cuenca donde no existe interacción con otras áreas de aportación de escurrimientos.
 - En un escenario ideal donde se cuente con la información de redes de drenaje sanitario, pluvial y de la infraestructura de mitigación o control existente, esta sería la manera de obtener el peligro por inundación en zonas urbanas, lo cual no sucede debido a la complicada interacción que existe por la interacción de cuencas urbanizadas, semi-urbanas y rurales con la infraestructura antes descrita.
 - El ejemplo de punto crítico 03 se elaboró a una escala mayor, incluyendo precisión en cuanto a terreno se refiere, en las zonas urbanas, debido a que los escurrimientos a analizar pertenecen a una cuenca que abarca varios km² de superficie y en la cual se presentan desbordamiento de arroyos y ríos. Este tipo de análisis que contempla la cuenca completa permite observar el comportamiento de la inundación con un enfoque integral e identificar puntos de atención, por medio de éstos se priorizan las obras de protección y por el cual se debería de elaborar los mapas de peligro por inundación. En este ejemplo no se incluyeron las bocas de tormenta en las simulaciones, ya que se considera que bajo ciertas condiciones extremas de lluvia y escurrimientos dejan de funcionar, además de que las principales afectaciones son producidas por los desbordamientos de cauces
 - En el caso del ejemplo de punto crítico 04 se realizó a partir del trabajo documental de características físicas, geológicas y estadísticas de incidentes de inundación de una zona complicada de la ciudad de México, tanto por el contexto social como fisiográfico, donde si bien existe información para la delimitación de cuencas, la influencia de la urbanización complica las representaciones hidráulicas, por ello este caso se realizó el análisis hidrológico por medios tradicionales, como lo son las curvas intensidad, duración periodo de retorno (i-d-Tr), para poder realizar la simulaciones de inundaciones de una porción de terreno delimitada por la infraestructura identificada como punto crítico.





- En general podemos decir que los sitios afectados por inundación, se localizan en zonas bajas del terreno, hondonadas o depresiones entre puntos de mayor altitud, siendo éstos afectados por los escurrimientos originados en zonas altas de laderas y por la propia acumulación de agua de lluvia.
- Otro factor de gran peso, son las pendiente con un porcentaje alto, que generan el aumento de la velocidad de los flujos, dificultando la captación de agua en los sistema de alcantarillado y a la vez arrastran materiales que deterioran la infraestructura de basura, disminuyendo la capacidad hidráulica de las estructuras de drenaje.
- Cabe mencionar que el estado general de las bocas de tormenta e infraestructura hidráulica, no cuenta con mantenimiento y se encuentra deteriorada, ese descuido provoca el crecimiento y acumulación de vegetación, basura y sedimentos, así como en muchos casos no es suficiente por el efecto del crecimiento poblacional y cambio en los regímenes de precipitación y escurrimiento.

6. RECOMENDACIONES

- Implementar durante las situaciones de emergencias o atención para la limpieza y rehabilitación de zonas inundadas, **el formato de registro de puntos críticos de inundación se puede llenar posterior a los eventos**, para los cuales se debe anotar, memorizar o fotografiar la mayor cantidad de información, **con el fin de que posteriormente contar con datos para documentar el punto crítico de inundación.**
- Contar con un panorama general del área o punto analizado, con la intención de poder agregar información valiosa al entendimiento, caracterización y descripción de las inundaciones. Esta información puede obtenerse por medio de fuentes oficiales como estudios previos, bases de datos y atlas de inundación o de la recopilación testimonial de datos tales como: encuestas, notas periodísticas o relatos locales, siempre considerando la subjetividad inherente a éstas e intentando brindar un rigor científico.
- Obtener información para documentar eventos de inundación, tanto para su ubicación como para su posterior análisis, por medio de metodologías hidrológicas e hidráulicas, por lo que las simulaciones y mapas de peligro no son una tarea obligada de las brigadas y personal encargado de atender emergencias, pero sin duda es un conocimiento y habilidad que pueden adquirir.





SEGURIDAD

SECRETARÍA DE SEGURIDAD
Y PROTECCIÓN CIUDADANA



CNPC

COORDINACIÓN NACIONAL
DE PROTECCIÓN CIVIL



CENAPRED

CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN
DE DESASTRES

7. REFERENCIAS

- Baeza, 2007. Estimación Regional de Factores de Convectividad para el Cálculo de las Relaciones Intensidad-Duración-Frecuencia Tesis Maestría. Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería. UNAM, México.
- Cabrera, M. J., 2018. Análisis mediante métodos numéricos del flujo de escorrentía en situaciones de avenida por calles de elevadas pendientes en Alcalá de Guadaira. Trabajo final de grado Ingeniería civil.
- Campos, D. F., 2010. Introducción a la Hidrología Urbana. (1ra ed.) México.
- CENAPRED, 2020. Catálogo de inundaciones en México, Subdirección de Riesgos por Inundación.
- Centro Nacional de Huracanes, *Introducción a la marejada ciclónica*, publicación en línea; https://www.nhc.noaa.gov/surge/marejadaCiclonica_intro.pdf
- CONAGUA, 2019. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Drenaje Pluvial Urbano.
- INEGI, 2015. Encuesta intercensal 2015. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Domínguez, et al 2018, *Estudio para regionalizar los gastos generados por avenidas máximas, como base para la elaboración de mapas de peligro por inundaciones fluviales en todas las cuencas de la República Mexicana*, Proyecto de la Subcuenta de Investigación.
- Secretaría de Gestión Integral del Riesgo y Protección Civil, Diciembre 2019. Atlas de Riesgos CDMX: <http://www.atlas.cdmx.gob.mx/analisisn2/>
- Secretaría de Protección Civil, 2014. Atlas de Peligros y Riesgos de la Ciudad de México. Iztapalapa.

