

SISTEMA NACIONAL DE PROTECCIÓN CIVIL CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES

IDENTIFICACIÓN DE SITIOS INUNDABLES EN EL ESTADO DE SINALOA, A PARTIR DE LAS PRECIPITACIONES INTENSAS DE LA DEPRESIÓN TROPICAL NÚM 19-E, DEL OCÉANO PACÍFICO

**Humberto Guzmán García
Nina Danae Ramírez González
Lucía Guadalupe Matías Ramírez**

Informe preparado para el CENAPRED
Subdirección de Riesgos por Inundación
Dirección de Investigación
Noviembre, 2018



CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	7
ANTECEDENTES 7	
IDENTIFICACIÓN DE ZONAS INUNDABLES EN COMUNIDADES DE SINALOA	11
Valle Alto.....	11
Santa Fe, Villa Fontana, Humaya	16
Zona inundable de Guamúchil, Sinaloa	23
Zona inundable de Ahome, Sinaloa.....	31
CONCLUSIONES	37
RECOMENDACIONES.....	38
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39
AGRADECIMIENTOS.....	40

Figura 1. Localización de la DT19-E, a las 18:00 h tiempo del centro de México (Fuente: SMN, 2018a)	7
Figura 2. Estaciones que registraron los máximos valores de precipitación acumulada durante 24 h del 19 de septiembre	8
Figura 3. Presencia de tormentas intensas en el estado de Sinaloa, 20 de septiembre, a las 12:15 h tiempo local del centro de México (Fuente: SMN, 2018b)	9
Figura 4. Escurrimientos pluviales que se dirigen hacia un canal trapezoidal, la obstrucción de éste provocó un incremento en el tirante en boulevard Valle Alto, ciudad de Culiacán	12
Figura 5. Ubicación de algunos puntos con marcas de agua en Valle Olimpo, zona baja, en la cual los escurrimientos pluviales se dirigen hacia el dren Bacurimi, ciudad de Culiacán (Fuente: Google Earth, 2018 modificado por la Subdirección de Riesgos por Inundación)	13
Figura 6. Tirantes alcanzados en la zona afectada de Valle Alto (en metros). Se observa que las mayores alturas se alcanzaron en la zona de Valle Olimpo, ciudad de Culiacán (Fuente: Google Earth, 2018 modificado por la Subdirección de Riesgos por Inundación)	14
Figura 7. Capacidad hidráulica del pequeño canal trapezoidal (Fuente: HCanales, 2013)	14
Figura 8. Capacidad hidráulica del canal perimetral de Valle Alto, ciudad de Culiacán (Fuente: HCanales, 2013)	15
Figura 9. Canal perimetral y su descarga al dren Bacurimi, ciudad de Culiacán	15
Figura 10. Erosión en las márgenes del dren y bajo el puente vehicular del boulevard Valle Alto y el dren Bacurimi, ciudad de Culiacán	16
Figura 11. Afectaciones en el puente vehicular y descargas de la colonia Villas del río Elite, ciudad de Culiacán	16
Figura 12. Ubicación del trayecto por el canal pluvial que atraviesa las colonias Santa Fe, Villa Fontana y Humaya, ciudad de Culiacán	17
Figura 13. Capacidad hidráulica del canal (Fuente: HCanales, 2013)	18
Figura 14. Sección y capacidad hidráulica en los puentes y en el tramo final del canal en la colonia Humaya, ciudad de Culiacán (Fuente: HCanales, 2013)	18
Figura 15. Inicio del canal pluvial en los límites de la colonia Santa Fe, ciudad de Culiacán	18
Figura 16. Arrastre de vehículos. El agua superó la altura del canal en la colonia Santa Fe, ciudad de Culiacán	19
Figura 17. Afectaciones y azolve en el canal pluvial de la colonia Santa Fe, ciudad de Culiacán	19
Figura 18. Descargas pluviales hacia el canal en la colonia Villa Fontana, ciudad de Culiacán	19
Figura 19. Acumulación de basura y colapso de reja en deportivo de Villa Fontana, ciudad de Culiacán	20
Figura 20. Tramo del canal sin revestimiento y con cambios bruscos de dirección, ubicado en la colonia Villa Fontana, ciudad de Culiacán	20

Figura 21. Ubicación de las colonias que fueron afectadas por inundación, con base en el recorrido en campo en la ciudad de Culiacán (Fuente: INEGI, 2011)	21
Figura 22. Áreas de aportación y escurrimientos obtenidos con datos LIDAR en la ciudad de Culiacán	22
Figura 23. Ubicación de los sitios que presentaron problemas de inundación, ciudad de Guamúchil (Fuente: Google Earth, 2018)	23
Figura 24. Afectaciones en el bordo sobrepasado por el caudal del río Évora, ciudad de Guamúchil	24
Figura 25. Sección y recorrido del canal de la obra de toma de la presa Eustaquio Buelna, ciudad de Guamúchil.....	25
Figura 26. Rejillas pluviales y conducción mediante tres tuberías de 1 m de diámetro ubicadas en la zona baja de la ciudad de Guamúchil	25
Figura 27. Recorrido del canal de la obra de toma de la presa Eustaquio Buelna, Guamúchil (Fuente: Google Earth, 2018).....	26
Figura 28. Rejillas pluviales y descarga al río Évora, ciudad de Guamúchil.....	26
Figura 29. Reparación del bordo y afectaciones por inundación debido al desfogue de la presa Eustaquio Buelna, ciudad de Guamúchil.....	27
Figura 30. Marcas de tirantes alcanzados en las pilas de puente vehicular que atraviesa el cauce del río Évora, Col. Agustina Ramírez, ciudad de Guamúchil.....	28
Figura 31. Localización del dique, arroyos y colonias afectadas por inundación en la ciudad de Guamúchil.....	29
Figura 32. Ubicación de las colonias más afectadas por inundación que se encuentran aguas abajo del dique El Aeropuerto, ciudad de Guamúchil (Fuente: INEGI, 2011)	29
Figura 33. Colonias afectadas y tirantes de agua visibles en la colonia Cuauhtémoc, ciudad de Guamúchil.....	30
Figura 34. Compuertas y bombas para conducir escurrimientos superficiales de la colonia Las Garzas hacia el dren dique Aeropuerto, ciudad de Guamúchil	30
Figura 35. Sifones del dique Aeropuerto, que fue rebasado durante la inundación del 19 de septiembre, ciudad de Guamúchil	31
Figura 36. Descarga por vertedor de la presa Eustaquio Buelna, 26 de septiembre de 2018	31
Figura 37. Ubicación de los sitios inundables en Los Mochis (Fuente: Google Earth, 2018)	32
Figura 38. Representación topográfica de Los Mochis con LIDAR. Se muestra que no hay diferencias considerables en las pendientes del terreno, es decir, es una zona plana. No se identifica una zona baja hacia donde se dirijan los escurrimientos (Fuente: INEGI, 2011)	33
Figura 39. Ubicación de la descarga con problemas de crecimiento de mangle en la bahía de Ohuira, ciudad de Los Mochis (Fuente: Google Earth, 2018)	34

Figura 40. Colonias Residencial Deportiva y La Serena Residencial afectadas por inundaciones. La altura del agua todavía es de 0.30 m, después de ocho días de haber ocurrido la depresión tropical, ciudad de Los Mochis.....34

Figura 41. La colonia Residencial Aurora se encuentra por debajo del nivel del bordo del canal, lo que representa un peligro en caso de que el canal se desborde en ciudad de Los Mochis.....35

Figura 42. Afectaciones en puentes que cruzan los canales de la ciudad de Los Mochis.....35

Figura 43. Estero y afectaciones en los canales de riego del Módulo Santa Rosa, ciudad de Los Mochis.....36

Identificación de zonas inundables de Sinaloa, debido al paso de la depresión tropical núm. 19-e del océano Pacífico

INTRODUCCIÓN

Del 24 al 28 de septiembre de 2018 se realizó una visita técnica a las colonias que presentaron inundaciones en algunas comunidades de Sinaloa, ocasionadas por la depresión tropical núm. 19-E del pasado 19 de septiembre, en los municipios de Culiacán, Guamúchil y Los Mochis; entre dichas colonias destacan Villa Fontana, Santa Fe, Humaya y Valle Alto. Así mismo, se llevaron a cabo mediciones en la infraestructura hidráulica existente, con el fin de determinar las capacidades de conducción de las mismas.

ANTECEDENTES

La depresión tropical núm. 19-E (DT19-E) se formó el 19 de septiembre de 2018, a las 10:00 h, 60 km al noreste de Loreto, B.C.S., y 190 km al sur de Guaymas, Sonora (NHC, 2018). Por su parte, el Servicio Meteorológico Nacional indicó que podría favorecer la presencia de tormentas muy fuertes a intensas (75 a 150 mm) en los estados de Baja California Sur, Sonora y Sinaloa (figura 1) (SMN, 2018a).

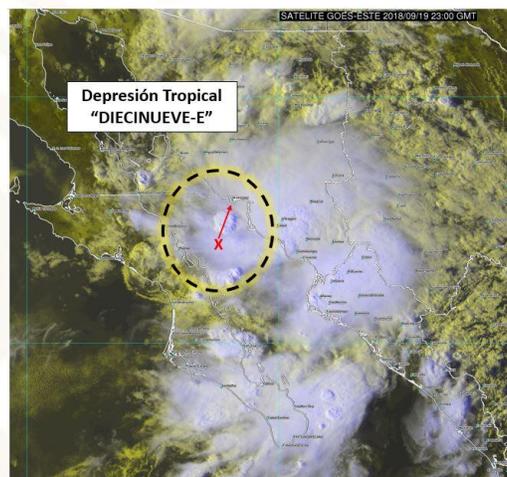


Figura 1. Localización de la DT19-E, a las 18:00 h tiempo del centro de México (Fuente: SMN, 2018a)

La Comisión Nacional del Agua informó sobre la precipitación máxima acumulada en algunas estaciones automáticas y convencionales del estado de Sinaloa, para el 19 de septiembre, los datos se muestran en la tabla 0.1 y figura 2.

Tabla 0.1 Precipitación máxima acumulada en 24 h del 19 de septiembre de 2018

Estación o sitio	Municipio	Altura Hp	Umbral
------------------	-----------	-----------	--------

		(mm)	(mm)
Ahome	Ahome	359.5	103
El Carrizo	Ahome	271	103
Lic. Eustaquio Buelna	Salvador Alvarado	182.3	100
Guamúchil	Salvador Alvarado	182.3	100

Fuente: Subdirección General Técnica de la Comisión Nacional del Agua, 2018a

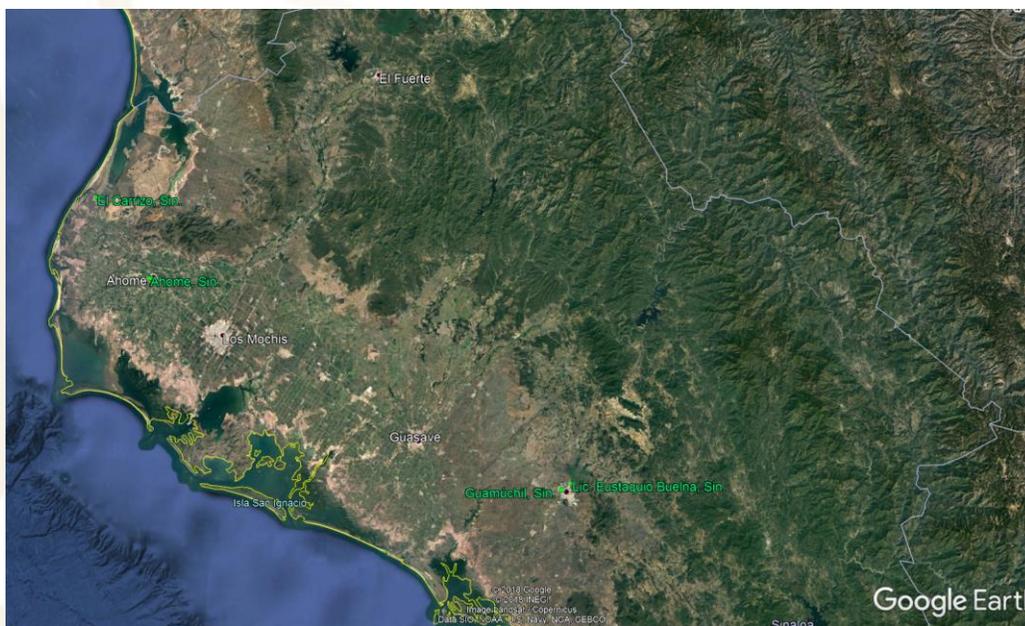


Figura 2. Estaciones que registraron los máximos valores de precipitación acumulada durante 24 h del 19 de septiembre

A las 22:00 h del 19 de septiembre, la DT19-E tocó tierra sobre la isla Lobos, aproximadamente 85 km al sur-sureste de Guaymas, Sonora; en ese momento originó lluvias torrenciales de 150 a 250 mm en dicho estado y en el norte de Sinaloa (SMN, 2018b), las cuales continuaron durante el siguiente día, como se muestra en la figura 3.

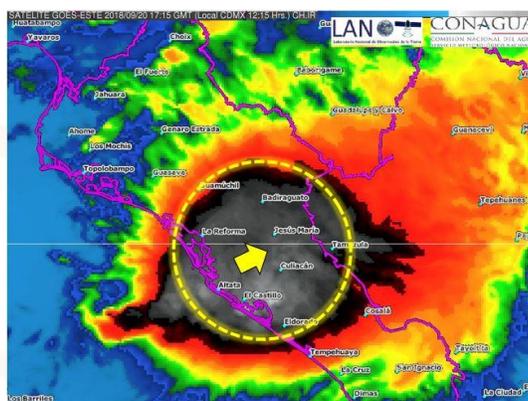


Figura 3. Presencia de tormentas intensas en el estado de Sinaloa, 20 de septiembre, a las 12:15 h tiempo local del centro de México (Fuente: SMN, 2018b)

Debido a las altas precipitaciones registradas en Sinaloa se incrementaron los almacenamientos en las principales presas del estado, tabla 2. 2. Por lo que se iniciaron extracciones en Eustaquio Buelna desde el 20 de septiembre.

Tabla 0.2 Niveles de almacenamiento en las principales presas de Sinaloa durante el 20 y 21 de septiembre de 2018 a las 08:00 h

Vaso de almacenamiento	20-sep %	21-sep %
Luis Donaldo Colosio	87.88	104.26
Miguel Hidalgo	53.65	57.69
Josefa Ortiz de Domínguez	27.62	65.40
Gustavo Díaz Ordaz	49.44	55.12
Ing. Guillermo Blake Aguilar	46.00	49.99
Lic. Eustaquio Buelna	84.28	130.80
Adolfo López Mateos	34.70	39.44
Juan Guerrero Alcocer	32.32	32.60
Sinaloa	50.87	53.67
José López Portillo	61.56	61.92
Ing. Aurelio Benassini Vizcaino	58.77	59.22

Fuente: Subdirección General Técnica, Comisión Nacional del Agua, 2018b

Así mismo, se compilaron los eventos de inundación más recientes en Sinaloa, algunos ejemplos se muestran en la tabla 2.3. De éstos, se observa que en los últimos cuatro años sólo hay presencia de dos ciclones tropicales, y que el sistema que más humedad ha producido en el estado fue la depresión tropical núm. 19-E, obteniéndose un periodo de retorno de 2000 años. Cabe mencionar que, en el Diario Oficial de la Federación, se publicó la *Declaratoria de desastre natural por la presencia de lluvia severa e inundación fluvial y pluvial ocurrida el 19 y 20 de septiembre de 2018 en 11 municipios de Sinaloa*, para Ahome, Angostura, Badiraguato, Culiacán, El Fuerte, Guasave, Mocorito, Navolato, Salvador Alvarado, Sinaloa y Choix (DOF, 2018).

Tabla 2.3 Inundaciones en el estado de Sinaloa en el periodo 2015-2018

Año	Estado	Municipio	Fenómeno	Daños	Hp (mm)	Estación climatológica	Fecha	Periodo de retorno Tr (años)
2015	Sinaloa	El Fuerte	Canal de baja presión (lluvias fuertes)	Se presentaron problemas en el drenaje sanitario	96.5	El Fuerte EFTSI	24/06/2015	2
2015	Sinaloa	Salvador Alvarado (Guamúchil)	Huracán Linda categoría II (lluvias muy fuertes)	Afectaciones en 200 viviendas de 10 colonias con tirantes de 20 a 30 cm.	123.7	Guamúchil SIH, GMCSI	TREN DE LLUVIAS DE 6 DÍAS (149 mm) 7/09/2015	2
2016	Sinaloa	Guasave	Canal de baja presión (lluvias intensas)	Inundaciones en vialidades y viviendas con tirantes de hasta 50 cm, en las zonas más bajas.	109	Guasave GSVSI	18/08/2016	2
2017	Sinaloa	Culiacán	Canal de baja presión (lluvias muy fuertes)	Crecida de arroyos en la zona de las cascadas de <i>San Antonio</i> , la corriente arrastró a 15 personas (14 rescatadas con vida), incremento de niveles en el canal del desagüe Fracc. <i>Las Estancias-Valles del Sol</i> y autos varados.	85.6	Culiacán CLCSI	16/08/2017	5
2018	Sinaloa	Guasave	Canal de baja presión (lluvias intensas)	Desbordamiento de arroyos provocaron anegamiento de vialidades	98.4	Guasave GSVSI	07/09/2018	2

Año	Estado	Municipio	Fenómeno	Daños	Hp (mm)	Estación climatológica	Fecha	Periodo de retorno Tr (años)
2018	Sinaloa	Ahome, El Fuerte, Choix, Guasave, Sinaloa, Angostura, Salvador Alvarado, Mocorito, Badiraguato, Navolato y Culiacán	DT 19-E (Lluvias intensas)	Miles de viviendas afectadas por desbordamiento y ruptura de bordos en los ríos Fuerte y Mocorito, así como de diversos drenes y canales; colapsos en diversos tramos carreteros; en sistemas de agua potable y zonas agrícolas.	359.5	Ahome	19/09/2018	2000

Fuente: Comisión Nacional del Agua modificado por la Subdirección de Riesgos por Inundación, 2018

IDENTIFICACIÓN DE ZONAS INUNDABLES EN COMUNIDADES DE SINALOA

Durante el paso de la depresión tropical núm. 19-E, en el estado de Sinaloa, se visitaron los municipios de Culiacán, Guasave y Ahome, en los cuales se identificaron algunas colonias con mayor afectación, siendo las siguientes:

En el municipio de Culiacán, Sinaloa: Valle Alto, Santa Fe, Villa Fontana y Humaya.

Valle Alto

El martes 25 de septiembre de 2018 se realizó un recorrido y se registraron los tirantes de esta colonia mediante las marcas de agua aún visibles en las fachadas de las casas; la mayoría de los vecinos realizaba labores de limpieza, mientras que las autoridades locales levantaban el censo de afectaciones.

Las principales calles para medir la altura de la inundación fueron: Valle Ensenada, Bosque del Valle, Siete Valles y Boulevard Valle Alto (figura 4), debido a que los vecinos señalaron que en estos lugares el agua alcanzó los niveles más altos.

De acuerdo con información preliminar, satelital y de terreno, Valle Fuerte tiene varias zonas bajas, las cuales propician la acumulación de agua de lluvia, mientras que en la zona de Valle Olimpo, los escurrimientos pluviales descargan, tanto de manera superficial como a través de rejillas (que se encontraban azolvadas al momento del recorrido), hacia un pequeño canal trapezoidal con capacidad aproximada de $2.87\text{m}^3/\text{s}$, que conduce el agua hacia un canal perimetral rectangular, con un aforo estimado de $36.41\text{m}^3/\text{s}$; este último descarga al dren Bacurimi. Cabe mencionar que los escurrimientos superficiales se incorporan al canal trapezoidal, el cual se encuentra obstruido por un muro, lo que generó que se alcanzaran profundidades de **1.65 m** en dicha zona.



Figura 4. Escurremientos pluviales que se dirigen hacia un canal trapezoidal, la obstrucción de éste provocó un incremento en el tirante en boulevard Valle Alto, ciudad de Culiacán

Se visitó el dren Bacurimi, el cual por las marcas de agua visibles superó el nivel de la descarga del canal rectangular perimetral de Valle Alto (figura 5 y 6), que evitó que las aguas pluviales de la colonia fueran desalojadas. Adicionalmente, en el puente vehicular que pasa por el dren, se observaron efectos de erosión y socavación considerables, que pueden poner en riesgo la estabilidad estructural del mismo. En las márgenes también había erosión en los taludes por donde el agua desbordó (figura 7 y 8).

Debido a que el dren Bacurimi inicia en la zona norte de Culiacán y es muy extenso, transporta escurrimientos pluviales de otras áreas hacia la ciudad (figura 9 a 11), lo anterior representa un riesgo, ya que el dren puede saturarse y no tener la capacidad suficiente para drenar los escurrimientos pluviales, que se originan en las colonias localizadas en el sur de la ciudad. Por ello, puede favorecer la generación de inundaciones, en caso de ocurrir eventos similares a la depresión tropical núm.19-E.

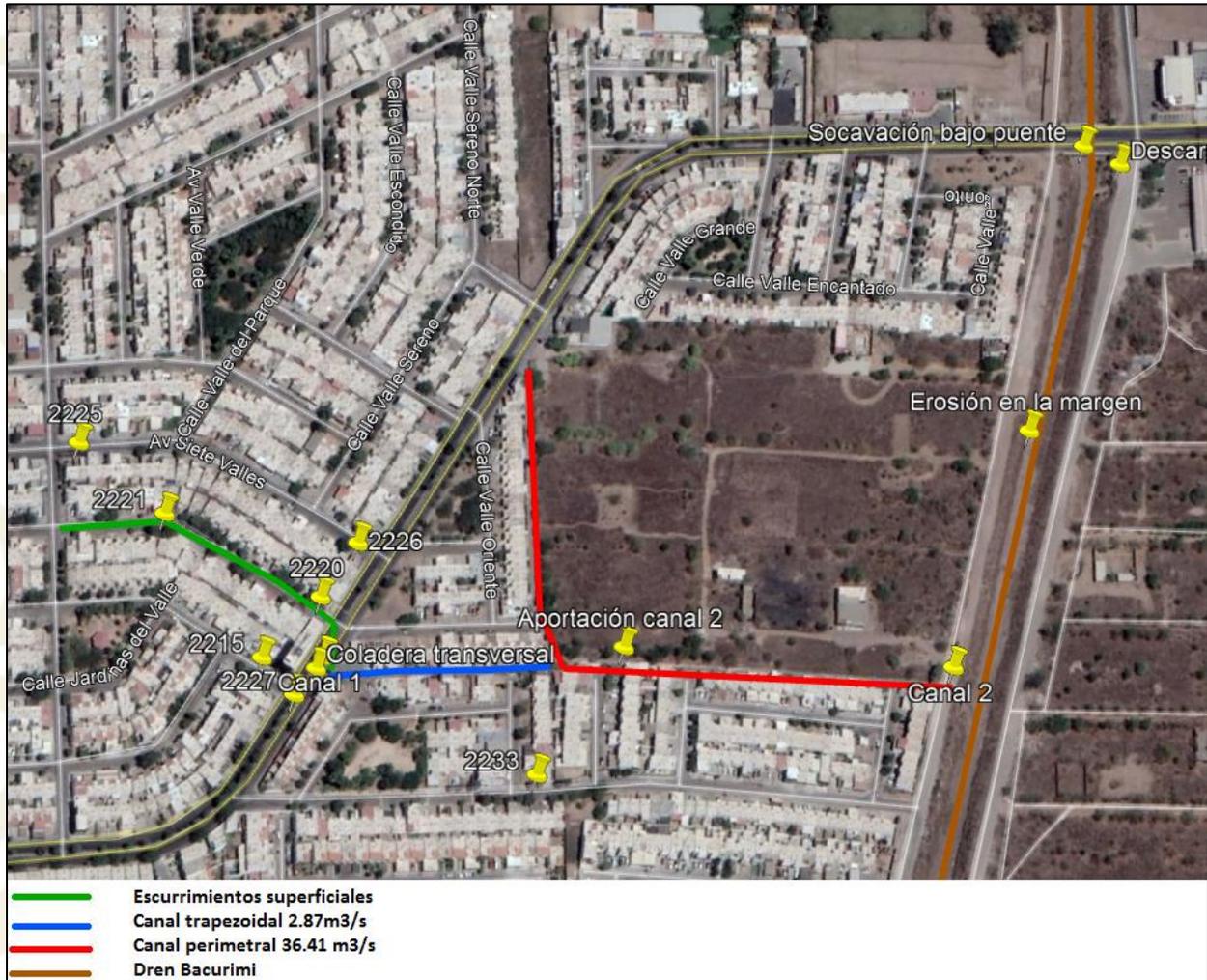


Figura 5. Ubicación de algunos puntos con marcas de agua en Valle Olimpo, zona baja, en la cual los escurrimientos pluviales se dirigen hacia el dren Bacurimi, ciudad de Culiacán (Fuente: Google Earth, 2018 modificado por la Subdirección de Riesgos por Inundación)



Figura 8. Capacidad hidráulica del canal perimetral de Valle Alto, ciudad de Culiacán (Fuente: HCanales, 2013)



Figura 9. Canal perimetral y su descarga al dren Bacurimi, ciudad de Culiacán



Figura 10. Erosión en las márgenes del dren y bajo el puente vehicular del boulevard Valle Alto y el dren Bacurimi, ciudad de Culiacán



Figura 11. Afectaciones en el puente vehicular y descargas de la colonia Villas del río Elite, ciudad de Culiacán

Santa Fe, Villa Fontana, Humaya

Estas colonias presentaron afectaciones por inundación de tipo pluvial, no obstante, durante la visita, en el sitio ya había limpieza, por lo que no fue posible tomar mediciones de tirantes. Sin embargo, se realizó el recorrido por un canal pluvial (figura 12) que atraviesa varias colonias de la zona urbana hasta llegar a un punto en la colonia Humaya, éste se encuentra totalmente cubierto y sigue su cauce bajo nivel de terreno natural, el cual se infiere que descarga en algún punto del río Humaya. Dicho canal no se encuentra revestido en su parte inicial, donde captura los escurrimientos de las zonas altas, mientras que en el tramo que atraviesa la zona urbana tiene una sección transversal trapezoidal con ligeras variaciones de dimensiones a lo largo de su trayecto (figura 13 y 14). En la

colonia Santa Fe no se registraron descargas sanitarias ni pluviales al canal; no obstante, cuando pasa por la colonia Villa Fontana y Humaya se incorporan descargas pluviales mediante tuberías (figura 15 a 19). Existen varios puentes vehiculares, los cuales tienen una altura aproximada de **2.40** m a la base inferior del canal, mismos que fueron rebasados por los escurrimientos pluviales. En estos puntos la sección del canal es rectangular.

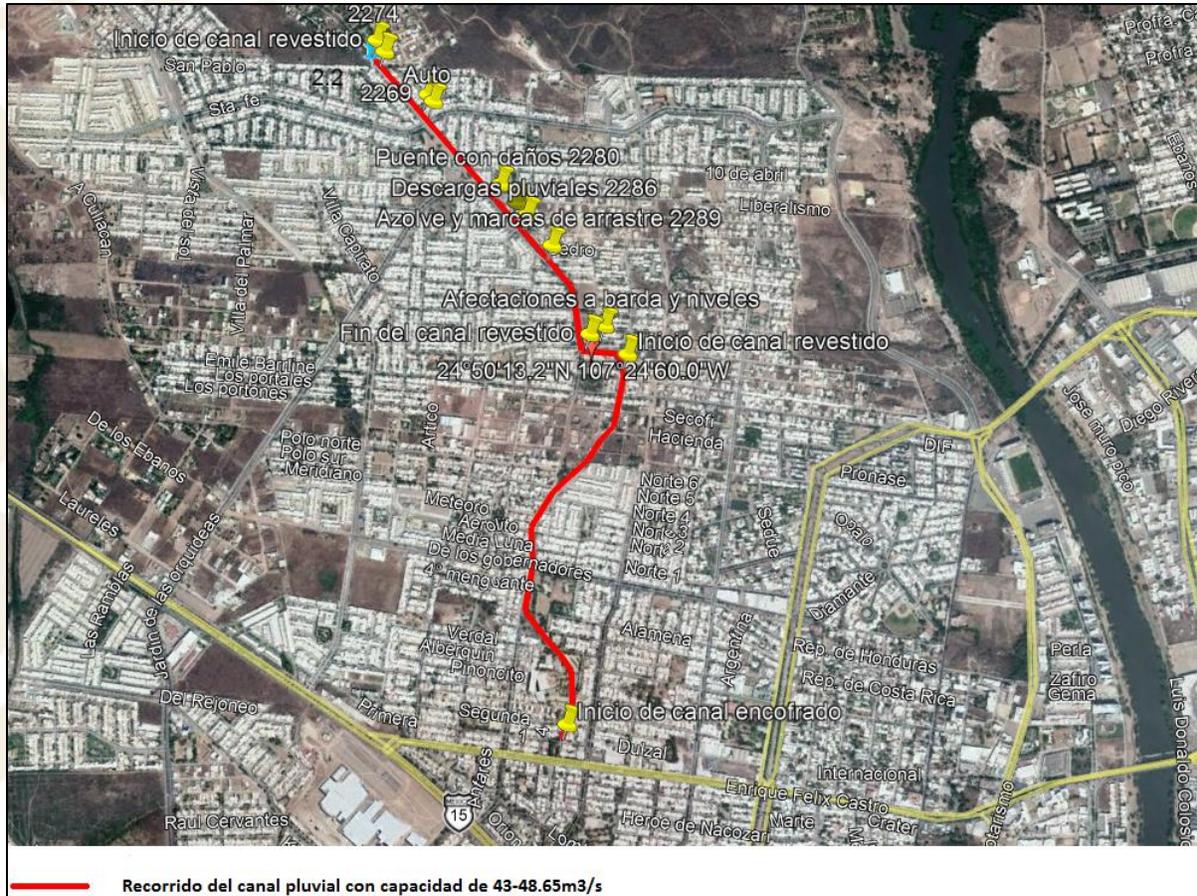


Figura 12. Ubicación del trayecto por el canal pluvial que atraviesa las colonias Santa Fe, Villa Fontana y Humaya, ciudad de Culiacán

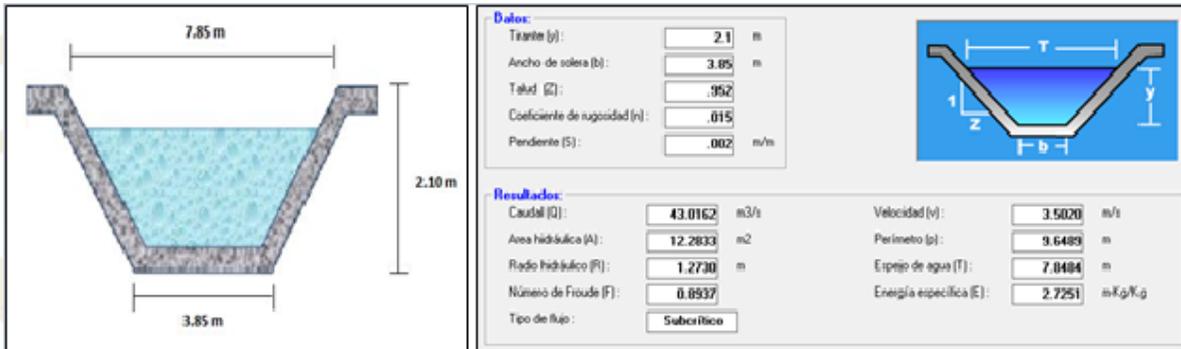


Figura 13. Capacidad hidráulica del canal (Fuente: HCanales, 2013)



Figura 14. Sección y capacidad hidráulica en los puentes y en el tramo final del canal en la colonia Humaya, ciudad de Culiacán (Fuente: HCanales, 2013)



Figura 15. Inicio del canal pluvial en los límites de la colonia Santa Fe, ciudad de Culiacán



Figura 16. Arrastre de vehículos. El agua superó la altura del canal en la colonia Santa Fe, ciudad de Culiacán



Figura 17. Afectaciones y azolve en el canal pluvial de la colonia Santa Fe, ciudad de Culiacán



Figura 18. Descargas pluviales hacia el canal en la colonia Villa Fontana, ciudad de Culiacán



Figura 19. Acumulación de basura y colapso de reja en deportivo de Villa Fontana, ciudad de Culiacán



Figura 20. Tramo del canal sin revestimiento y con cambios bruscos de dirección, ubicado en la colonia Villa Fontana, ciudad de Culiacán

De acuerdo con la figura 20, el cambio brusco de dirección del canal y las construcciones pudieron generar remanso y acumulación de agua pluvial en esa zona.

En el sitio donde el canal abierto se transforma en uno cerrado, la capacidad hidráulica de conducción se restringe a la estimada según la sección del mismo, siendo ésta de $48.65\text{m}^3/\text{s}$; es probable que al superarse dicho gasto, se haya generado un remanso aguas arriba.

Posterior a la visita, se realizó un análisis de gabinete con base en la información de elevación del terreno, tipo LIDAR (Light Detection And Ranging -detección por luz y distancia), disponible en la página del INEGI.

Con los datos de LIDAR, en la figura 21, se observa que las colonias afectadas por inundación fueron Valle Alto, Villas del Río Elite y Villas del Río, localizadas en zonas bajas que forman parte de la llanura de inundación en el cambio de dirección del río Culiacán.

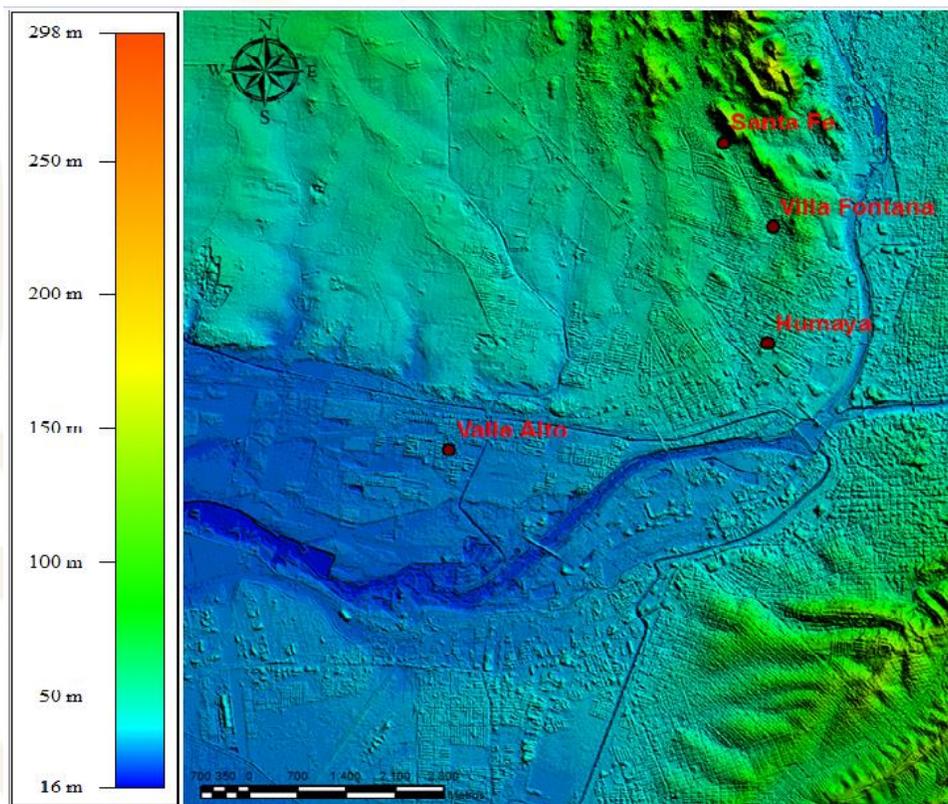


Figura 21. Ubicación de las colonias que fueron afectadas por inundación, con base en el recorrido en campo en la ciudad de Culiacán (Fuente: INEGI, 2011)

Por otra parte, las colonias Santa Fe, Villa Fontana y Humaya se localizan en una zona baja, delimitada por elevaciones considerables, al este y oeste, lo que indica que es un dren natural.

Se realizó un análisis para determinar las áreas de aportación y escurrimientos que se forman en los puntos analizados, como se muestra en la figura 22.

Tabla 0.1 Estimación de áreas de drenaje para los sitios con problemas de inundación en Culiacán

Lugar (colonia)	Área de drenaje (km²)
Valle Alto	1.24
Santa Fe	5.26
Villa Fontana	
Humaya	

Fuente: Subdirección de Riesgos por Inundación, 2018

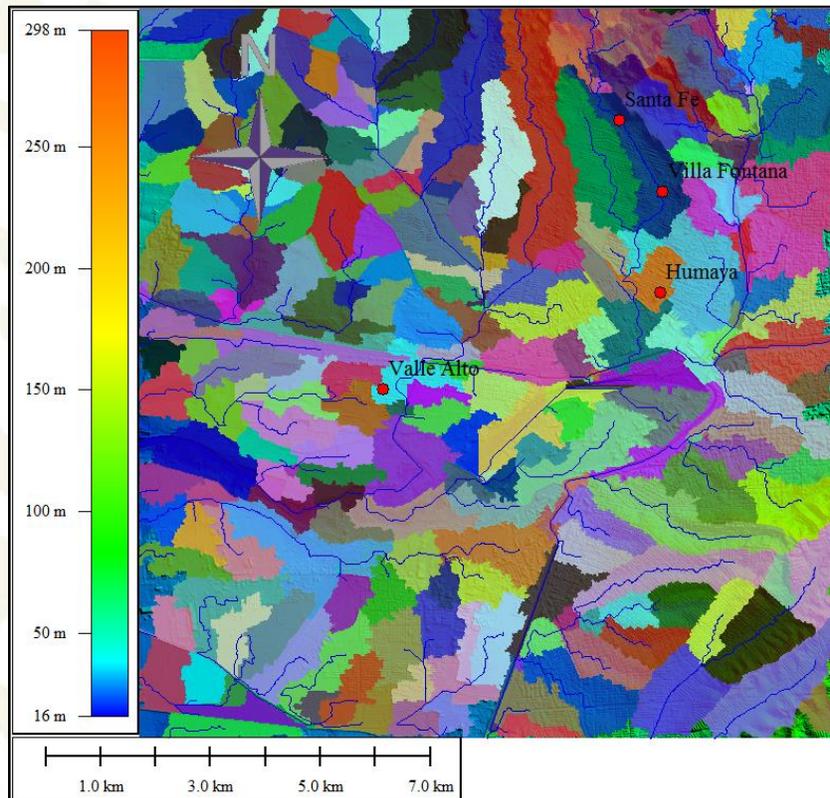


Figura 22. Áreas de aportación y escurrimientos obtenidos con datos LIDAR en la ciudad de Culiacán

Con base en la información anterior y los registros de las intensidades del evento de inundación se estimaron los escurrimientos generados en cada zona, con el fin de validar si son superiores a la capacidad hidráulica.

Zona inundable de Guamúchil, Sinaloa

El 26 de septiembre se realizó un recorrido por la ciudad de Guamúchil, la cual se encuentra aguas abajo de la presa Eustaquio Buelna, y cuyo vertedor controlado da origen al río Évora. Se visitaron las colonias Niños Héroes, Las Garzas, Cuauhtémoc, Angostura Insurgentes, Tultita, Primero de Mayo y Renato Vega, que se localizan en la margen del río Évora y de los arroyos Pedro Infante y Zopilote (figura 23). Adicionalmente, se inspeccionó la cortina de la presa durante el desfogue de ese día.



Figura 23. Ubicación de los sitios que presentaron problemas de inundación, ciudad de Guamúchil (Fuente: Google Earth, 2018)

El primer punto fue un bordo sobre el río Évora, localizado 1.5 km aguas abajo de los vertedores, el cual permite el paso del agua mediante tuberías. Sin embargo, durante el desfogue de $500 \text{ m}^3/\text{s}$, el 20 de septiembre, el agua superó la altura del bordo e inundó ambas márgenes hasta un aproximado de **400 m**, lo que provocó erosión en el mismo y en la carpeta asfáltica, como se observa en la figura 24.



Figura 24. Afectaciones en el bordo sobrepasado por el caudal del río Évora, ciudad de Guamúchil

Ese mismo día se visitó la obra de toma de la presa (figura 25), la cual conduce un gasto de $40 \text{ m}^3/\text{s}$, a través de un canal a cielo abierto con una sección trapezoidal, que no fue medido debido a que se conoce la capacidad del mismo; dicho canal tiene una longitud de 1.15 km antes de ser conducido de manera subterránea por la ciudad.



Figura 25. Sección y recorrido del canal de la obra de toma de la presa Eustaquio Buelna, ciudad de Guamúchil

Este canal cerrado, que atraviesa gran parte de la ciudad, cuenta con rejillas para incorporar y desalojar los escurrimientos pluviales (figura 26), y de acuerdo con las autoridades locales, éstas favorecen la mitigación de las inundaciones en la zona centro de la ciudad (figura 27). Finalmente, se realizó la descarga en el río Évora mediante un segundo bordo, en el que el agua se represa para infiltración y potabilización (figura 28). La conducción se llevó a cabo mediante tres tuberías de 1 m de diámetro, lo cual representa una capacidad de conducción en conjunto de 3 m³/s.



Figura 26. Rejillas pluviales y conducción mediante tres tuberías de 1 m de diámetro ubicadas en la zona baja de la ciudad de Guamúchil

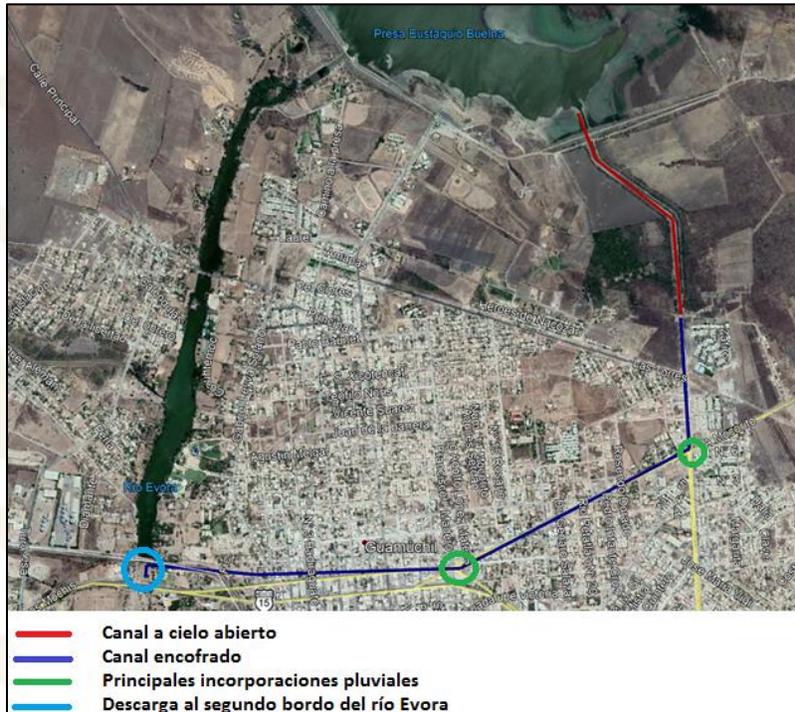


Figura 27. Recorrido del canal de la obra de toma de la presa Eustaquio Buelna, Guamúchil (Fuente: Google Earth, 2018)



Figura 28. Rejillas pluviales y descarga al río Évora, ciudad de Guamúchil

En el punto de descarga antes mencionado, existe un bordo que tiene la finalidad de represar agua para alimentar una planta potabilizadora y de infiltración. Sin embargo, este bordo no cuenta con descargas de agua, por lo que en el desfogue de la presa, éste sufrió daños considerables, ya que la altura que alcanzó el agua en las pilas del puente fue de 3.80 m (figura 29 y 30). Además, derribó bardas y afectó varios camiones de una empresa de alimentos. Este incremento del nivel de agua posiblemente obstaculizó la descarga del canal que atraviesa la ciudad de manera subterránea y evitó que se desalojara el agua pluvial de la misma.



Figura 29. Reparación del bordo y afectaciones por inundación debido al desfogue de la presa Eustaquio Buelna, ciudad de Guamúchil



Figura 30. Marcas de tirantes alcanzados en las pilas de puente vehicular que atraviesa el cauce del río Évora, Col. Agustina Ramírez, ciudad de Guamúchil

En las colonias Los Álamos, Las Garzas y Cuauhtémoc se registraron las mayores afectaciones con tirantes que alcanzaron 1 m (figura 31). Dichas colonias se encuentran en zonas bajas, sus escurrimientos pluviales se dirigen de forma superficial hacia la base de un arroyo que se origina en el dique El Aeropuerto (figura 32), y se incorporan mediante compuertas; éstas se encuentran en un nivel bajo del bordo del arroyo y presentan inundaciones frecuentes. Para atender lo anterior, se tiene una bomba para trasvasar el agua cuando las compuertas no lo permiten. En el evento del 19 y 20 de septiembre fueron necesarios dos equipos de bombeo para intentar desalojar el agua. Sin embargo, el arroyo se encontraba a su máxima capacidad, ya que el dique El Aeropuerto fue rebasado, a pesar de tener un sistema de sifones para drenarlo, una vez que el agua alcanza determinado nivel; esto favoreció las inundaciones en dichas colonias (figura 33 a 35). Hacia el dique desfogon los arroyos Zopilote y Pedro Infante, los cuales registraron desbordamientos en algunos puntos, sin afectación en la población.

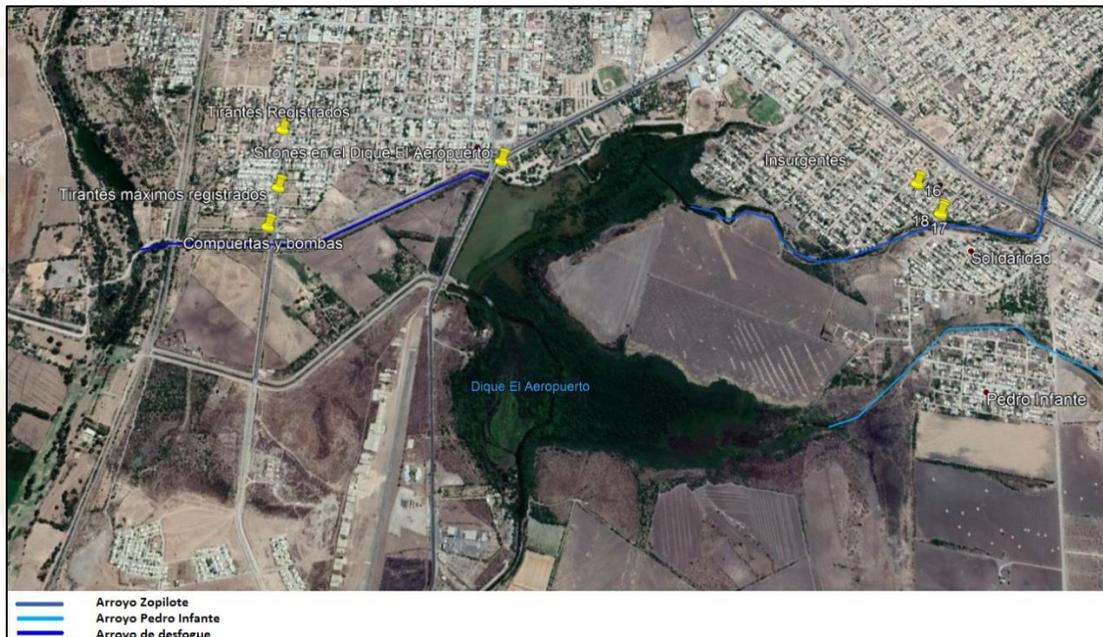


Figura 31. Localización del dique, arroyos y colonias afectadas por inundación en la ciudad de Guamúchil

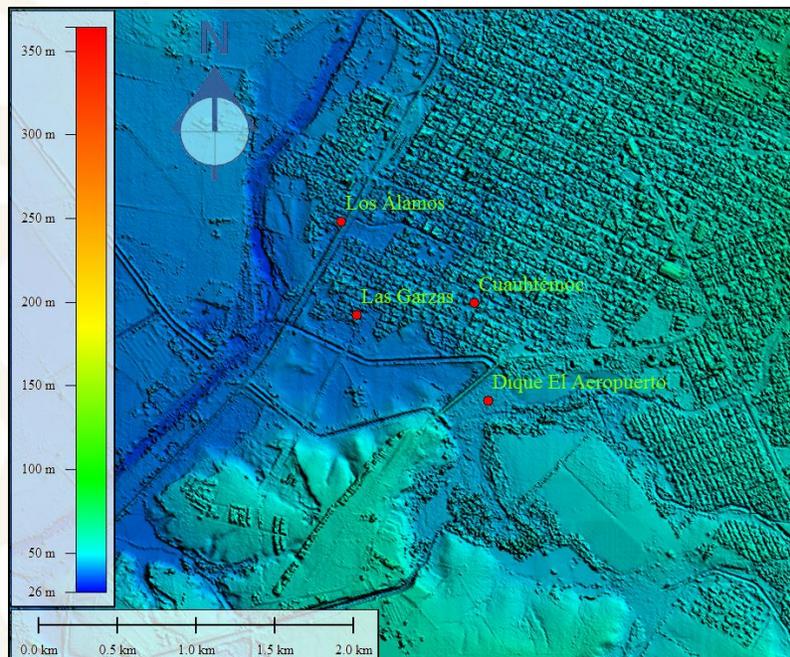


Figura 32. Ubicación de las colonias más afectadas por inundación que se encuentran aguas abajo del dique El Aeropuerto, ciudad de Guamúchil (Fuente: INEGI, 2011)



Figura 33. Colonias afectadas y tirantes de agua visibles en la colonia Cuauhtémoc, ciudad de Guamúchil



Figura 34. Compuertas y bombas para conducir escurrimientos superficiales de la colonia Las Garzas hacia el dren dique Aeropuerto, ciudad de Guamúchil



Figura 35. Sifones del dique Aeropuerto, que fue rebasado durante la inundación del 19 de septiembre, ciudad de Guamúchil

Finalmente, el 26 de septiembre, se accedió a la cortina de la presa Eustaquio Buelna, con el propósito de registrar un nuevo desfogue de la presa, que inició aproximadamente a las 14:00 h. La información de la operación de las compuertas se recibió de las oficinas centrales en la Ciudad de México, ya que las autoridades locales desconocían de ésta. Los datos proporcionados por los operadores de la presa fue una descarga controlada de 80 m³/s en los vertedores y 30 m³/s en el canal de la obra de toma (figura 36).

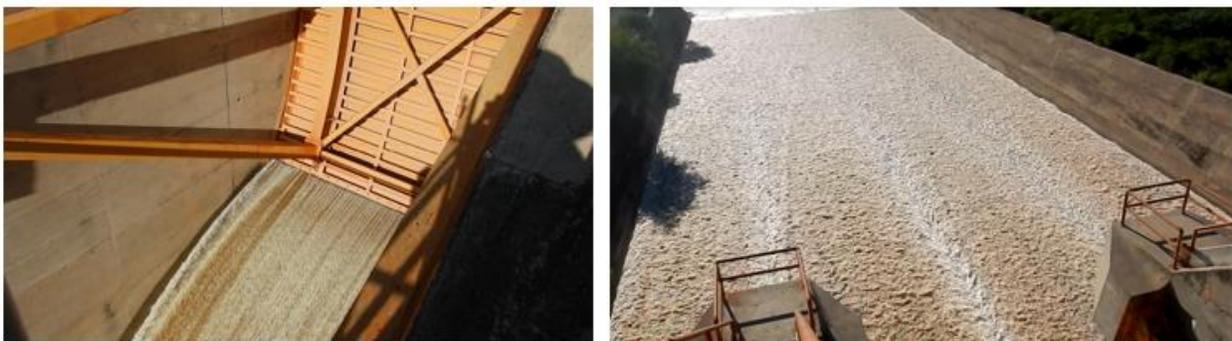


Figura 36. Descarga por vertedor de la presa Eustaquio Buelna, 26 de septiembre de 2018

Zona inundable de Ahome, Sinaloa

El 27 de septiembre se realizó una visita a las colonias de la zona centro de Los Mochis, Sinaloa, en las cuales se presentaron problemas de inundación (figura 37). También, se

revisaron los canales y drenes que atraviesan la ciudad; para ello se tomaron algunas mediciones, que posteriormente se obtuvieron en formato *Shapefile*, de los diferentes módulos de riego del municipio, por lo que se cuenta con información de gasto, pendiente, longitud, etc., que facilita un análisis de las inundaciones con mayor detalle.

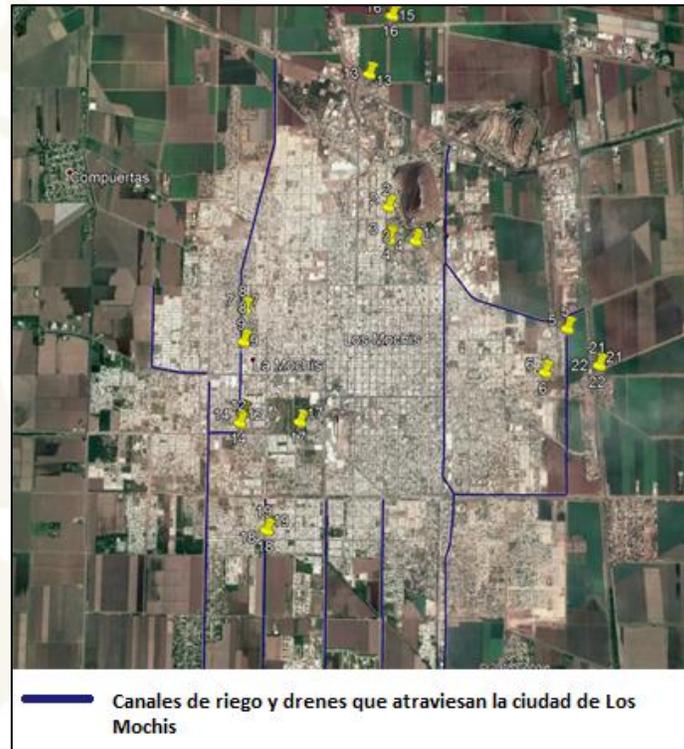


Figura 37. Ubicación de los sitios inundables en Los Mochis (Fuente: Google Earth, 2018)

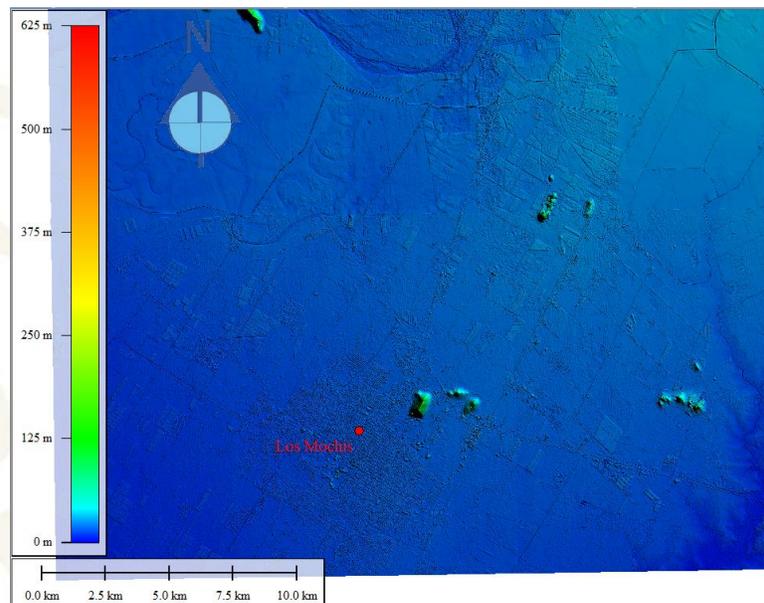


Figura 38. Representación topográfica de Los Mochis con LIDAR. Se muestra que no hay diferencias considerables en las pendientes del terreno, es decir, es una zona plana. No se identifica una zona baja hacia donde se dirijan los escurrimientos (Fuente: INEGI, 2011)

En la figura 38 se observa que la zona urbanizada de Los Mochis se localiza en una planicie con poca pendiente, lo que favorece la presencia de inundaciones generadas por precipitaciones extraordinarias. Así mismo, los canales que atraviesan la ciudad, como el dren Juárez, transportan agua de cuencas que se encuentran aguas arriba hacia la ciudad; y provocan la saturación de las descargas pluviales y sanitarias que la población realiza sobre el mismo. Dicha situación ocasionó que las autoridades retomaran la formulación de proyectos para desviar este dren fuera de la ciudad, pero hasta el momento carece de implementación, ya que fueron propuestos desde hace varios años sin haberse concluido porque se encuentran en cartera de espera.

Los drenes y canales conducen los escurrimientos a la bahía Ohuira; al respecto las autoridades locales indicaron que se genera un tapón hidráulico que impide las descargas, debido al crecimiento de mangle en la bahía (figura 39 a figura 42).

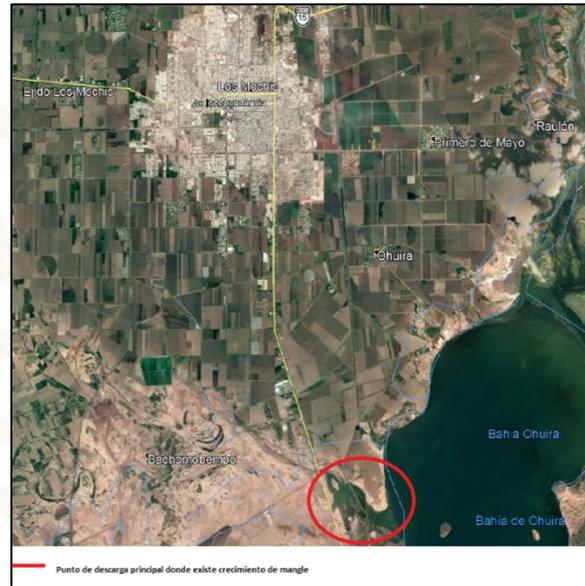


Figura 39. Ubicación de la descarga con problemas de crecimiento de mangle en la bahía de Chuirá, ciudad de Los Mochis (Fuente: Google Earth, 2018)



Figura 40. Colonias Residencial Deportiva y La Serena Residencial afectadas por inundaciones. La altura del agua todavía es de 0.30 m, después de ocho días de haber ocurrido la depresión tropical, ciudad de Los Mochis



Figura 41. La colonia Residencial Aurora se encuentra por debajo del nivel del bordo del canal, lo que representa un peligro en caso de que el canal se desborde en ciudad de Los Mochis



Figura 42. Afectaciones en puentes que cruzan los canales de la ciudad de Los Mochis

El 28 de septiembre se llevó a cabo una visita a los canales del Módulo de Riego Santa Rosa (figura 43), los cuales registraron afectaciones en puentes y deslaves en las márgenes. Sin embargo, no todos los canales se dirigen a la ciudad, ya que una parte desemboca en un estero donde se generó una inundación importante, cerca de las empresas localizadas en las afueras de la ciudad.



Figura 43. Estero y afectaciones en los canales de riego del Módulo Santa Rosa, ciudad de Los Mochis

Por lo anterior, la mayoría de estos canales tienen un control en los flujos de conducción, así como compuertas para desviar los escurrimientos hacia zonas amplias inundables en caso de un evento extraordinario, por lo que no todos influyen en la conducción de agua hacia la ciudad de Los Mochis.

CONCLUSIONES

Las tres ciudades afectadas por inundación se localizan en zonas bajas del terreno natural. En el caso de Culiacán y Guamúchil están en las márgenes de ríos importantes, además de que hacia ellas se realizan las descargas pluviales de la ciudad, una vez que el tirante del río supera el nivel de éstas. El agua pluvial de la zona urbana no puede descargar hacia los mismos, ya que se genera un tapón hidráulico y un remanso de agua, lo que ocasiona anegamientos mediante la propia red de drenaje.

Un aspecto importante es que existen colonias completas muy cercanas a las márgenes de los ríos, las cuales pueden considerarse como zonas federales, que no deben tener construcciones. Este es un factor predominante, ya que puede incrementar el riesgo de inundación cuando ocurren crecidas en los ríos.

Por otra parte, se observó que la basura y el arrastre de escombros es una causa significativa de las inundaciones al obstruir el flujo del agua.

En el caso del dren pluvial de la colonia Santa Fe, la presencia de precipitaciones intensas generadas por la depresión tropical sobrepasó la capacidad de diseño, ya que no se tienen aportaciones considerables aparte de las pluviales. Es probable la influencia del nivel de descarga que se presentó hacia el río Culiacán, el cual se origina en la presa Adolfo López Mateos, en el municipio de Badiraguato. Por ello, se tiene que revisar si ocurrieron desfuegos durante las fechas previas y durante la inundación.

La ciudad de Guamúchil está rodeada por arroyos y cuerpos de agua, la principal causa de la inundación fue el desfuego de la presa Eustaquio Buelna, tanto por vertedor como por obra de toma. Los niveles alcanzados en los arroyos y ríos evitaron que se desalojaran los escurrimientos pluviales de las zonas afectadas y ocasionaron desbordamientos, que afectaron a la población asentada muy cerca de sus márgenes.

En el caso de Los Mochis, se tienen drenes y canales que atraviesan la ciudad favorecieron el ingreso de agua pluvial a la misma, en lugar de desalojarla, ya que algunos de éstos tienen aportaciones considerables de los campos de cultivo localizados al norte de la población; en particular, el dren Juárez es el de mayor capacidad registrada. De acuerdo con las autoridades locales, se requiere de proyectos para desviarlos fuera de la ciudad y eliminar parte del mangle que obstaculiza su descarga en la bahía Ohuira.

Considerando que la infraestructura de los drenes carece de diseño ante eventos extremos, la precipitación registrada entre el 19 y 21 de septiembre, debe tomarse en cuenta para una adecuación de la misma, ya que la máxima acumulada en 24 horas superó el periodo de retorno de 2000 años.

RECOMENDACIONES

- Calcular escenarios de inundación en las zonas urbanas identificadas con problemas de inundación, ya que se cuenta con información LIDAR, registros de tirantes alcanzados y zonas afectadas durante las inundaciones antes descritas. Con ello se podrá actualizar el atlas de riesgos de Sinaloa, que deberá incluir la infraestructura hidráulica existente, así como los bordos u obstrucciones sobre los ríos que no se habían considerado.
- Corroborar el periodo de retorno de 2000 años para la precipitación de 359.5 mm, con base en un análisis hidrológico para la zona de Ahome.
- Actualizar los mapas de peligro por inundación de la presa Eustaquio Buelna, ya que falta incluir la presencia de los bordos existentes y obstrucciones que se tienen en el río Évora, en vista de que las manchas de inundación obtenidas pueden cambiar.
- Contar con una mayor coordinación entre los operadores de las presas y Protección Civil, con la finalidad de reducir pérdidas materiales y humanas por inundaciones ocasionadas por el desfogue de las mismas.
- En el caso de Los Mochis, se debe revisar la viabilidad de los proyectos que se han propuesto, tanto para desviar el dren Juárez del centro de la ciudad, como para optimizar la descarga de los drenes en la bahía Ohuira, con el objeto de evitar desastres similares en el futuro.
- Revisar, y en su caso modificar, el plan de desarrollo urbano de Los Mochis, ya que algunas colonias se localizan debajo del nivel de las márgenes de los drenes, algunos de los cuales conducen descargas sanitarias que pueden afectar a la población en caso de nuevas inundaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CENAPRED, 2018. Catálogo de inundaciones en México, Subdirección de Riesgos por Inundación.

CENAPRED, 2013. Visualizador de Escenarios de Lluvia, Subdirección de Riesgos por Inundación, Centro Nacional de Prevención de Desastres.

CONAGUA, 2018a. Datos de precipitación diaria para algunas estaciones automáticas y convencionales. Archivo interno de la Subdirección General Técnica, Comisión Nacional del Agua, septiembre de 2018.

CONAGUA, 2018b. Datos de almacenamientos de las principales presas de México. Archivo interno de la Subdirección General Técnica, Comisión Nacional del Agua, septiembre de 2018.

DOF, 2018. Declaratoria de desastre natural por la presencia de lluvia severa e inundación fluvial y pluvial ocurridas los días 19 y 20 de septiembre de 2018 en 11 municipios del estado de Sinaloa. Publicado en el Diario Oficial de la Federación, el 27 de septiembre de 2018.

HCANALES, 2013. Programa par análisis de infraestructura hidráulica. Instituto Tecnológico de Costa Rica, HCANALES, versión 3.1.

INEGI, 2011. Modelos Digitales de Elevación (MDE) tipo LIDAR para la ciudad de Culiacán. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

NHC, 2018. Tropical Depression Nineteen-E, Advisory archive. Public advisories, National Hurricane Center, disponible en: <https://www.nhc.noaa.gov/archive/2018/NINETEEN-E.shtml>?, [fecha de consulta, el 31 de octubre de 2018].

SMN, 2018a. Aviso de ciclón tropical del océano Pacífico, 19 de septiembre de 2018, a las 10:15 h. Servicio Meteorológico Nacional.

SMN, 2018b. Aviso de ciclón tropical del océano Pacífico, 20 de septiembre de 2018, a las 18:15 h. Servicio Meteorológico Nacional.

AGRADECIMIENTOS

El CENAPRED agradece al personal de la Unidad Estatal de Protección Civil, en especial al Lic. Juan Francisco Vega Meza, por las facilidades recibidas, así como a la Unidad de Bomberos de Guamúchil, por el acompañamiento brindado durante el trabajo de campo y al titular de la Unidad Municipal de Protección Civil de Ahome, Sergio Liera Gil. Al personal responsable del módulo de riego *Santa Rosa* de Los Mochis por la información y asistencia proporcionada, así como al Ing. Cirio Moreno por permitir el acceso a la presa Eustaquio Buelna.