



COORDINACIÓN DE DESARROLLO PROFESIONAL E INSTITUCIONAL

SUBCOORDINACIÓN DE POSGRADO

T E S I S

DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA PARA PREVENCIÓN DE INUNDACIONES EN LA ZONA DE YAUTEPEC, MORELOS

que para obtener el grado de

Maestro en Ciencias y Tecnología del Agua

presenta

Ing. Rodolfo de Jesús Peñaloza García

Director de tesis: Dr. Rodrigo Roblero Hidalgo





Con fundamento en los artículos 21 y 27 de la Ley Federal del Derecho de Autor y como titular de los derechos moral y patrimoniales de la obra titulada “Diseño de un sistema de alerta temprana para prevención de inundaciones en la zona de Jiutepec, Morelos.”, otorgo de manera gratuita y permanente al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, autorización para que fijen la obra en cualquier medio, incluido el electrónico, y la divulguen entre su personal, estudiantes o terceras personas, sin que pueda percibir por tal divulgación una contraprestación.

Rodolfo de Jesús Peñaloza García

Jiutepec, Morelos a 05 de noviembre de 2021





MAESTRÍA EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA DEL AGUA

Ante el Jurado integrado por:

- Presidente: Dr. Víctor Manuel Arroyo Correa
Secretario: Dr. Héctor Alonso Ballinas González
Vocal 1: Dr. Rodrigo Roblero Hidalgo
Vocal 2: M.I. José Manuel Rodríguez Varela
Vocal 3: Dr. Roel Simuta Champo

Tutor de tesis

Dr. Rodrigo Roblero Hidalgo

Jiutepec, Morelos, México, noviembre 2021
Instituto Mexicano de Tecnología de Agua





Agradecimientos

Me gustaría agradecer en estas líneas la ayuda que muchas personas y colegas me han prestado durante el proceso de investigación y redacción de este trabajo.

A mi padre el Sr. Manuel Peñaloza González y a mi madre la Sra. Roció García Romero que me han ayudado y apoyado en todo mi proceso de formación profesional.

A mis hermanos el Arq. Juan Manuel Peñaloza González y mi hermana Abril Yamileth Peñaloza García.

A mi director de tesis el Dr. Rodrigo Roblero Hidalgo por haberme orientado en todos los momentos que necesité sus consejos.

A los miembros del comité por sus comentarios y observaciones hechas durante el proceso de realización de la tesis.

A mis compañeros Daniel y Alfonso por su apoyo incondicional en todo momento.

A mi novia Miriam Sáenz Morales por su cariño y afecto. Gracias a todos por confiar en mí.





Durante este camino me he encontrado con todo tipo de dificultades. Y si pude vencer todos los obstáculos que me encontrado, es porque mi familia estuvo conmigo en todo momento. Mi recorrido académico ha sido complicado, pero no imposible. Este trayecto no solo ha sido de crecimiento personal e intelectual, sino que supuso un antes y un después en mi vida como ser humano.

En memoria de mi querida abuela Natalia Romero Galeana, hasta donde tu esencia se encuentre te dedico mi éxito y te mando un fuerte abrazo.



RESUMEN

Debido al crecimiento poblacional en márgenes del río y grandes escurrimientos generados por la excesiva urbanización, dan facilidades para que se presenten inundaciones. Las pérdidas económicas y peligro inminente hacen necesario realizar una propuesta de un sistema de alerta temprana contra inundaciones (SATI) que tiene como propósito mitigar los daños que ocasionan estos desastres meteorológicos extremos.

Para entender las afectaciones generadas durante las inundaciones en el municipio Yautepec, se realizó una búsqueda histórica de todas las inundaciones que se tiene registro en este municipio se determinó 3 fechas para análisis y que servirán como base para proponer el sistema de alerta temprana contra inundaciones. Estas fechas son el 4 de julio del 2003, el 17 de agosto del 2010 y el 25 de agosto del 2010.

El sistema propuesto estará conformado por dos áreas, la primera que es operativa será la encargada de realizar la obtención de datos preliminares por medio de dependencias como CONAGUA, INEGI, SMN, etc. La primera área será la encargada de realizar el estudio hidrológico se planea utilizar un modelo bidimensional de lluvia-escurrimiento (HEC-HMS) que nos permita obtener un hidrograma de salida a la zona donde se construirá el modelo hidráulico, el cual se utilizará el modelo hidráulico (IBER). Ya obtenidas las modelaciones y calibradas, se obtendrán los mapas de peligro, así como sus envolventes de inundación. La segunda área del SATI es la preventiva, sería la encargada de estar directamente en campo realizando monitoreo de umbrales de nivel de caudal. Así como de acciones antes y después de una inundación.

Se pretende que el SATI emita un semáforo de alerta de 4 colores: verde, amarillo, naranja y rojo. Representando un grado de peligrosidad diferente para cada uno. También se propone ubicar alarmas en las ayudantías de cada localidad afectada. Se plantea utilizar un sistema de cámaras remotas ubicadas estratégicamente, para visualizar en tiempo real las crecientes, y para documentar el proceso de crecidas del cauce hasta llegar a la inundación. De igual forma se utilizaría para verificar que no se encuentren personas en peligro al momento de una inundación. Se instalarán reglas graduadas para determinar los umbrales de alerta para el nivel del caudal dentro del río, el cual serán revisados por las autoridades y la población encargada del SATI.

Se propone en esta investigación la estructuración del SATI con el objetivo de proponer una medida no estructural para mitigar el peligro por inundaciones y apoyar a las personas que viven cercas de zonas de riesgo, el SATI permitirá tiempo para resguardar objetos, documentos o cosas de valor, que en una inundación no pronosticada es imposible salvar, lo cual genera pérdidas económicas considerables, para los habitantes en la ciudad de Yautepec y las colonias afectadas.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. HIPÓTESIS	2
3. OBJETIVOS.....	3
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
4. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
5. MARCO TEÓRICO	9
5.1 ANTECEDENTES.....	10
5.1.1 Inundación	10
5.1.2 Clasificación de inundaciones por el tiempo de respuesta de la cuenca.....	11
5.1.3 Causas y consecuencias de las inundaciones	12
5.1.4 Medidas para la protección de personas y bienes en emergencia	13
5.1.5 Inundaciones en el mundo	13
5.1.6 Inundaciones en México	13
5.1.7 Inundaciones en el municipio de Yautepec, Morelos.....	14
5.1.8 Factores primordiales en una inundación	16
5.1.9 Pronóstico de inundaciones.....	16
5.1.10 Propuesta de eventos por inundación en el municipio de Yautepec	17
5.1.11 Medidas de mitigación contra inundaciones.....	18
5.1.12 Mapa de peligro	21
5.1.13 Criterios de peligro usados en diversos países.....	21
5.2 SISTEMA	25
5.2.1 Conceptualización de la operación de un sistema.....	25
5.3 MODELACIÓN MATEMÁTICA	26
5.3.1 Importancia de la modelación	26
5.4 MODELACIÓN EN CUENCAS HIDROLÓGICAS.....	27
5.5 MODELOS HIDROLÓGICOS	27
5.6 MODELOS HIDRÁULICOS	28

5.7 SELECCIÓN DEL MODELO.....	30
5.7.1 Modelo hidrológico HEC-HMS V4.8.....	31
5.7.2 Modelo hidráulico IBER V2.5.2.....	37
5.8 AJUSTE DE CALIBRACIÓN	41
5.9 COEFICIENTES DE CORRELACIÓN	43
5.10 TEST DE NORMALIDAD	45
5.11 SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE INUNDACIONES EN EL MUNDO.....	46
5.12 SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA CONTRA INUNDACIONES EN MÉXICO	48
6. MATERIALES Y MÉTODOS	49
6.1 MATERIALES.....	50
6.1.1 Documental	50
6.1.2 Cartografía	51
6.1.3 Fotografías satelitales	51
6.1.4 Información meteorológica	51
6.1.5 Información hidrométrica	52
6.1.6 Equipo.....	52
6.1.7 Software	53
6.1.8 Análisis meteorológico	53
6.1.9 Análisis hidrométrico	54
6.1.10 Análisis hidrometeorológico.....	55
6.1.11 Red de radares meteorológicos	56
6.2 MÉTODOS.....	57
6.2.1 Estructura y organización del SATI.....	60
6.2.2 Área operativa.....	64
6.2.3 Área preventiva.....	64
6.2.4 Metodología de construcción del SATI	65
6.2.5 Caracterización de la zona de estudio	66
7. SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA CONTRA INUNDACIONES	72
7.1 COMPONENTES DEL ÁREA OPERATIVA.....	73
7.1.1 Modelación hidrológica.....	75
7.1.2 Calibración y validación del modelo hidrológico	85

7.1.3 Modelación hidráulica	85
7.1.4 Calibración del modelo hidráulico	91
7.4 COMPONENTES DEL ÁREA PREVENTIVA	101
7.4.1 Mantenimiento preventivo y correctivo	101
7.4.2 Divulgación de información trascendental.....	101
7.4.3 Umbrales de alerta.....	102
8. RESULTADOS.....	105
8.1 PROPUESTA DE INSTRUMENTACIÓN	106
8.2 ALBERGUES DE EMERGENCIA Y RUTAS DE EVACUACIÓN	110
8.3 COSTO TOTAL DEL PROYECTO	112
8.4 COSTO-BENEFICIO	113
9. LIMITACIONES Y RECOMENDACIONES.....	116
9.1 LIMITACIONES	116
9.2 RECOMENDACIONES	116
10. CONCLUSIONES.....	118
11. GLOSARIO.....	119
12. SIGLAS Y ACRÓNIMOS.....	122
13. BIBLIOGRAFÍA.....	123
14. ANEXOS.....	130
14.1 INUNDACIONES EN EL MUNDO	130
14.2 INUNDACIONES EN MÉXICO.....	133
14.3 FUNCIONES DE ÁREA OPERATIVA Y PREVENTIVA DEL SATI.....	144
14.4 MODELOS HIDROLÓGICOS VIGENTES.....	146
14.5 RESULTADOS DE MODELACIÓN HIDROLÓGICA	148
14.5 MAPAS	150

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Porcentaje de afectación (SEDESOL, 2011).	15
Ilustración 2. Afectados anualmente (CONAGUA, SEDESOL, CENAPRED, 2020).....	16
Ilustración 3. Nivel de peligro para inundaciones OFEE (Alcocer et all, 2016).	22
Ilustración 4. Niveles de peligro que relacionan tirante del agua (m) y velocidad (m/s). Adaptada de FEMA (2009).	22
Ilustración 5. Niveles de peligro aplicados en la ciudad de Dórrigo, Australia (NSW, 2005).	23
Ilustración 6. Ciclo hidrológico (IAC 2019).	27
Ilustración 7. Ciclo hidrológico (Pinterest, 2020).	31
Ilustración 8. Distribución de SATH en México (CENAPRED 2019).....	49
Ilustración 9. Distribución de lluvia diaria de estaciones climatológicas convencionales (CONAGUA, 2020).	54
Ilustración 10. Distribución anual de estaciones hidrométricas convencionales (CONAGUA, 2019).....	55
Ilustración 11. Comparativa de datos de precipitación y gastos del evento 17 de agosto del 2010.	55
Ilustración 12. Comparativa de datos de precipitación y gastos del evento 25 de agosto del 2010.	56
Ilustración 13. Comparativa de datos de precipitación y gastos del evento 04 de julio del 2003.....	56
Ilustración 14. Radares en México (CICLOTROP, 2021).	57
Ilustración 15. Metodología general para el establecimiento del sistema de alerta temprana contra inundaciones.....	59
Ilustración 16. Distribución de las cuencas en México (INEGI,2019)	67
Ilustración 17. Cuenca Rio Yautepec (INEGI, 2019).	67
Ilustración 18. Delimitación de área de estudio (INEGI, 2018)	68
Ilustración 19. Ortofoto de la zona de estudio (INEGI, 2020).	68
Ilustración 20. DEM a cada 15 metros (INEGI, 2020).....	69
Ilustración 21. Numero de curva, Creación propia con datos de INEGI.....	75
Ilustración 22. Tabla de distribución de precipitación diaria de la EMA IMTA (SMN, 2019).	77
Ilustración 23. Distribución de precipitación para el evento 25/08/2010, creación propia con datos de SMN.	77
Ilustración 24. hidrograma del evento 17 de julio del 2003.	78
Ilustración 25. hidrograma del evento 17 de agosto del 2010.....	78
Ilustración 26. hidrograma del evento 25 de agosto del 2010.....	79
Ilustración 27. Definición de cauce principal (INEGI, 2019).	80
Ilustración 28. Geometría de la cuenca.	81
Ilustración 29. Configuración de la serie de datos de precipitación por estación meteorológica convencional.	82
Ilustración 30. Asignación del nombre a la corrida.	83

Ilustración 31. Corrida del evento 25/08/2010.	83
Ilustración 32. Resultados obtenidos de la primera corrida del evento 25/08/2010.	84
Ilustración 33. Comparación de los hidrogramas modelados vs el hidrograma observado en la estación Yautepec.	84
Ilustración 34. Área de modelación hidráulica y modelación hidrológica.	85
Ilustración 35. Diagrama de modelación hidráulica en IBER.	86
Ilustración 36. Geometría de la malla.	87
Ilustración 37. Condiciones de contorno de la malla.	87
Ilustración 38. Condiciones de contorno de entrada y de salida.	88
Ilustración 39. Rugosidad de la malla.	88
Ilustración 40. Datos del problema a analizar.	89
Ilustración 41. Corrida de la simulación hidráulica.	89
Ilustración 42. Resultados obtenidos de la modelación hidráulica.	90
Ilustración 43. Mapa de peligro del evento 25 de agosto del 2010.	90
Ilustración 44. Umbrales caudal-nivel dentro del cauce del río.	104
Ilustración 45. Umbral de caudal- nivel en las calles.	104
Ilustración 46. Distribución de numero de muestras con respecto a intervalos de precipitación.	105
Ilustración 47. Testigos de alturas de inundación.	91
Ilustración 48. Puente peatonal, col. Buena Vista.	93
Ilustración 49. Perfil topográfico del cauce del rio Yautepec.	94
Ilustración 50. Comparación de perfiles observado y modelado para la sección del puente peatonal.	97
Ilustración 51. División del cauce.	98
Ilustración 52. Plan de ubicación de EMA´s y EHA´s.	107
Ilustración 53. Ubicación de reglas para medir nivel de agua dentro de los cauces.	108
Ilustración 54. Ubicación de sistema de caramas de vigilancia.	109
Ilustración 55. Ubicación de sistema de alarmas.	110
Ilustración 56. Ubicación de propuesta de albergues.	111
Ilustración 57. Rutas de evacuación.	112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de inundaciones (Vargas <i>et al</i> 2017).	10
Tabla 2. Causas que generan inundación (CENAPRED, 2004).....	12
Tabla 3. Las causas, efectos e impactos de la inundación (ERN-CAPRA, 2012).....	12
Tabla 4. Inundaciones históricas en el municipio de Yautepec, Morelos.....	14
Tabla 5. Factores que ocasionan daños en caso de inundación (Quijano, 2012).	16
Tabla 6. Medidas de mitigación contra inundaciones, elaboración propia con base en Salas (1999).	19
Tabla 7. Tipos de obras como medidas de mitigación contra inundaciones (Salas, 1999).....	19
Tabla 8. Criterios establecidos para la generación del mapa de peligro por inundación (IMTA, 2015).	23
Tabla 9. Criterios de peligrosidad (ACA, 2018).	24
Tabla 10. Clasificación de los modelos hidrológicos. Fuente: Adaptado de Singh (1988).	28
Tabla 11. Modelos hidráulicos vigentes.....	29
Tabla 12. Métodos de pérdida, transformación y flujo base.	33
Tabla 13. Condiciones de frontera abiertas implementadas (IBER, 2015).	40
Tabla 14. Valores referenciales del criterio de Nash-Sutcliffe.	42
Tabla 15. Valores de parámetro Pearson.	43
Tabla 16. Valores de parámetro Kendall.....	44
Tabla 17. Valores de parámetro Spearman.....	45
Tabla 18. Modalidades de operación de un SAHT (UNESCO, 2000)	47
Tabla 19. SATH en el mundo.	47
Tabla 20. Antecedentes de inundaciones en el municipio de Yautepec, Morelos.	50
Tabla 21. Estaciones dentro de la cuenca de estudio.....	51
Tabla 22. Estaciones hidrométricas dentro del área de estudio (CONAGUA 2020).	52
Tabla 23. Softwares en el estudio (creación propia).....	53
Tabla 24. Años operando cada estación climatológica convencional (SMN, 2020).....	53
Tabla 25. Años operando cada estación hidrométrica convencional (CONAGUA, 2019).	54
Tabla 26. Ubicación de red de radares (SMN, 2020).	57
Tabla 27. Planes y programas para contingencias por inundaciones.....	60
Tabla 28. Manuales y guías para respuesta en desastres hidrometeorológicos.	61
Tabla 29. Caracterización de la cuenca Yautepec.....	70
Tabla 30. Tipos de suelos dentro del área de estudio (INEGI, 2018).	70
Tabla 31. Uso de suelo y vegetación dentro del área de estudio (CONABIO, 2018).....	71
Tabla 32. Estaciones operando y no operando en la zona de estudio.	71
Tabla 33. Tabla de CN.	75
Tabla 34. Tiempo de retraso para el evento 25/08/2010.	79
Tabla 35. Especificación de control.....	82
Tabla 36. Afectaciones por las inundaciones del 25 de agosto del 2010 (Excelsior, 2010).	91
Tabla 37. Umbrales de alerta para caudal-nivel.....	102

Tabla 38. Umbrales de alerta de precipitación.....	105
Tabla 39. Resultados de modelación hidrológica.	85
Tabla 40. Ubicación de puntos de calibración (25/08/10).	92
Tabla 41. Ajuste de bondad para datos obtenidos por testigos (25/08/10).	94
Tabla 42. Ajuste de bondad para datos obtenidos por testigos (17/08/10).	95
Tabla 43. Ajuste de bondad para datos obtenidos por testigos (04/07/03).	96
Tabla 44. Comparación de datos para calibración en puente peatonal (25/08/10).	98
Tabla 45. Comparación de datos para calibración en puente peatonal (04/07/03).....	99
Tabla 46. Comparación de datos para calibración en puente peatonal (17/08/10).....	99
Tabla 47. Resumen de test de correlación.	100
Tabla 48. Resumen de test de normalidad.	100
Tabla 49. Estimación del error porcentual para el ajuste de bondad.	101
Tabla 50. Lugares donde se ubicarían las EMA´s y EHA´s.....	107
Tabla 51. Lugares donde ubicarían las reglas para medición de niveles de agua dentro del cauce.	108
Tabla 52. Albergues de emergencia propuestos.	110
Tabla 53. Calles que se necesitan evacuar en caso de inundación.....	111
Tabla 54. Longitudes de rutas de evacuación.	112
Tabla 55. Costo total de la implantación del SATI.....	113
Tabla 56. porcentaje de viviendas afectadas (INEGI, 2020).....	114
Tabla 57. Análisis de rentabilidad para 5 años.....	114
Tabla 58. Análisis de rentabilidad (VAN, TIR, B/C).	115
Tabla 59. Indicadores para VAN, TIR y B/C.	115
Tabla 60. Metodología del área operativa del SATI.	144
Tabla 61. Metodología del área preventiva del SATI.	145
Tabla 62. Modelos hidrológicos vigente, Vargas-Castañeda et al. (2015).....	146

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Medidas de mitigación contra inundaciones, elaboración propia con base en Salas (1999).	14
Figura 2. Esquema de conceptualización de un sistema (Kauffman, 2006).	18
Figura 3. Diagrama del sistema de un modelo matemático (Brito, 2011).	19
Figura 4. Clasificación de los modelos hidrológicos. Fuente: Adaptado de Singh (1988).	21
Figura 5. Esquemmatización de Hec-Hms (Manual Hec-Hms, 2020).....	24

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de alerta temprana contra inundaciones son el conjunto de características, instrumentación y vías que permiten de forma adecuada y oportuna la toma de decisiones con anticipación suficiente, para que la comunidad tome sus precauciones necesarias y poder así recibir la inundación sin correr peligro (CENAPRED, 2014).

Los sistemas de alerta temprana permiten definir el comportamiento del caudal de un río aplicando información recogida de una base de datos histórica, así como también los datos en tiempo real. Como parte del sistema de alerta se desprenden políticas, estrategias, instrumentación y acciones particulares referidas a la identificación y monitoreo de zonas peligrosas. El sistema de alerta temprana debe de ser visualizado más allá de solo un instrumento de medición, debe ser concebido como un sistema de información diseñado para facilitar la toma de decisiones de manera que acceda a zonas vulnerables y que permita así mitigar daños y pérdidas potenciales que puedan derivarse en ciertas amenazas. Este tipo de sistemas son aplicables para eventos naturales y en aquellos provocados por la actividad humana o en ambos. Actualmente México cuenta con algunos sistemas de alerta hidrometeorológica distribuidos en algunas partes del país, pero no son suficientes para abarcar todo el territorio mexicano por tal motivo se da la labor de proponer un sistema de alerta temprana contra inundaciones en la zona centro del municipio de Yautepec, Morelos. A causa de las inundaciones generadas en las últimas 3 décadas, las cuales dejaron pérdidas económicas considerables. Exponiéndose en peligro inminente la vida humana cada vez que existe un desbordamiento del río Yautepec. En su mayoría de veces estos eventos suelen pasar en horas nocturnas por tal motivo la gente es sorprendida cuando el cauce del río ya se encuentra desbordando sin dar tiempo a evacuar las zonas más vulnerables. Por tal motivo es muy importante contar con un sistema de alerta contra inundaciones en esta zona. Para poder realizar el proyecto de investigación fue necesario analizar 3 eventos hidrológicos extremos históricos donde hubo inundaciones significativas los cuales son: 4 de julio del 2003, 17 de agosto del 2010 y 25 de agosto del 2010. Siendo este último evento el más peligroso de las ultimas 2 décadas. Provocando fuertes inundaciones en las colonias: San Juan, Cuauhtémoc, Buena Vista, Santiago, Rancho Nuevo, 13 de septiembre, Estrada Cajigal y Col. Centro.

La estrategia del sistema de alerta temprana contra inundaciones para el municipio de Yautepec, es monitorear los niveles en el cauce y monitorear la precipitación en la cuenca. Para determinar cuando los escurrimientos dentro del río se encuentren en el umbral medio y se vea una tendencia a siguiente nivel que corresponde al alto, será el momento en emitir un alerta, la cual dará inicio a los protocolos de evacuación y atención al desastre. Los niveles de alerta propuestos para este sistema estarán basados en un semáforo de 4 colores (verde, amarillo, naranja y rojo) siendo cada uno de estos colores un grado de peligrosidad para los habitantes y los cuales serán descritos dentro del documento. Cabe recalcar que el sistema de alerta temprana es un proceso invariable por lo que esta tenazmente en marcha y en continuo perfeccionamiento. El funcionamiento constante del sistema de alerta temprana contra inundaciones permitirá mejorarlo en la medida que los habitantes conozcan su funcionamiento y desarrollo del mismo.

2. HIPÓTESIS

Con base en la información existente y a la instrumentación instalada en la subcuenca del río Yautepec, es posible alertar con un tiempo mínimo de 207 minutos contra avenidas extraordinarias a los habitantes de las zonas identificadas con potencial de peligro por inundación en la zona centro del municipio de Yautepec.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Describir los componentes del Sistema de Alerta Temprana contra inundaciones (SATI) para previsión de inundaciones que permita anticipar la ocurrencia de desastres debidos a eventos hidrometeorológicos extremos en la cuenca del río Yautepec.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Delimitar y caracterizar la cuenca hidrológica.
- Realizar el análisis hidrometeorológico.
- Desarrollar un modelo hidrológico que permitan estimar los hidrogramas de las avenidas que se presenten en la cuenca del río Yautepec.
- Desarrollar un modelo hidráulico para definir áreas de posible inundación de acuerdo a los hidrogramas definidos, en su paso por la cuenca del río Yautepec.
- Elaborar un mapa de peligro en la zona urbana susceptible de daños por las avenidas.
- Describir el procedimiento para la operación del SATI.
- Realizar una propuesta de instrumentación.
- Obtener el costo-beneficio del establecimiento del SATI.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

En este capítulo se desarrolla la consulta de literatura referente al proyecto de investigación.

1. Sistemas de alerta temprana (S.A.T) para la reducción del riesgo de inundaciones súbitas y fenómenos atmosféricos en el área metropolitana de Barranquilla (Acosta, 2013)

Los fenómenos atmosféricos han incrementado su frecuencia e intensidad durante los últimos años debido a los efectos del cambio climático. La Región Caribe Colombiana ha sido una de las zonas más afectadas debido a inundaciones súbitas y fenómenos atmosféricos, aumentando el nivel del riesgo ya que es una zona vulnerable debido a factores económicos, sociales y ambientales. El programa de investigación en Gestión integral del riesgo y adaptación al cambio climático de la Corporación Universidad de la Costa ha desarrollado acciones estratégicas para la reducción del riesgo de las amenaza de inundaciones súbitas y fenómenos atmosféricos en el área Metropolitana de Barranquilla, la implementación de sistemas de monitoreo y sistemas integrales de alerta temprana, que permitan de manera oportuna a las autoridades y comunidad en general tomar decisiones para la prevención de desastres. Dichos proyectos están enmarcados dentro de políticas de sostenibilidad que los hace ser económicamente viable, ambientalmente responsables y socialmente justos (Acosta, 2013).

Se describe en el plan departamental de gestión del riesgo del departamento del atlántico, en el año 2011 se realizó un autodiagnóstico para analizar el avance del departamento del atlántico frente a los diferentes indicadores internaciones que son de interés mundial en gestión del riesgo, los cuales fueron definidos desde el marco de acción de Hyogo MAH 2005 – 2015. el marco de Hyogo contiene los siguiente objetivos específicos:

- Integrar la gestión del riesgo en las políticas y la planificación del desarrollo sostenible
- Fortalecer las capacidades institucionales para aumentar la resiliencia ante las amenazas
- Implementar programas de preparación, atención y recuperación de emergencias.

Según Acosta (2013) el objetivo para el 2015 es haber reducido de manera considerable las pérdidas a nivel de vidas humanas y bienes sociales, económicos y ambientales de las comunidades. Para lograr este objetivo se plantearon cinco acciones prioritarias que orientan a los Estados, organizaciones y otros actores para lograr la resiliencia de las comunidades vulnerables frente a los desastres.

- Lograr que la reducción del riesgo de desastres sea una prioridad.
- Conocer el riesgo y tomar medidas.
- Desarrollar una mayor comprensión y concientización.
- Reducir los factores fundamentales del riesgo.
- Fortalecer la preparación en desastres para una respuesta eficaz a todo nivel.

Acosta (2013) presenta dos proyectos que están siendo desarrollados por la facultad de Ingeniería:

- A. Diseño y desarrollo para un prototipo de Sistemas de Alertas Tempranas (SAT), basado en redes TIC para la aplicación en los arroyos de Barranquilla

El objetivo de este proyecto es diseñar y desarrollar un prototipo experimental de un Sistema de Alertas Tempranas (S.A.T) que permita entregar datos importantes en tiempo real a la ciudadanía sobre el nivel, caudal, y fuerza de empuje del arroyo "La Brigada", en la ciudad de Barranquilla e indicar su nivel de peligrosidad. Estos datos podrán ser visualizados en una plataforma web para que la ciudadanía tome las medidas preventivas frente a la amenaza de dicho arroyo.

Esta investigación se encuentra dividida en 5 fases:

1. Investigación Preliminar: Se dieron a conocer los antecedentes del proyecto y el estado actual de la problemática a resolver, así como de los medios tecnológicos utilizados para la solución de la misma.
2. Caracterización y definición de los requerimientos del sistema.
3. Diseño de un modelo de consumo de energía para el soporte del prototipo.
4. Diseño, construcción y validación del prototipo S.A.T
5. Seguimiento y documentación.

B. Sistema de Alerta Temprana para la detección de precipitación, fenómenos atmosféricos y determinación de zonas inundables en el área Metropolitana de Barranquilla.

Este proyecto está dividido en dos fases para su desarrollo; la primera fase comprende el diseño del sistema de alerta temprana donde en primera instancia se realizará un análisis minucioso para la selección del lugar más óptimo de instalación del radar meteorológico, teniendo en cuenta factores técnicos como bloqueo del haz, altura de la torre y su respectivo diseño, conexión a internet, permiso de funcionamiento entre otros; y factores sociales como vulnerabilidad de la población y seguridad.

La segunda fase del proyecto consiste en la calibración y validación de la información del radar; luego se procederá a modelar las zonas de estudio seleccionadas previamente en la primera fase para determinar si son inundables o no. Por último, se expondrá las zonas inundables dentro del área metropolitana de Barranquilla y la puesta en marcha del radar meteorológico, el cual proveerá información continua de los eventos meteorológicos dentro de su área de cobertura para realizar una gestión del riesgo oportuna.

II. Sistema automatizado de alerta temprana ante el peligro de inundaciones (Modesto et al, 2013)

Señala Modesto (2013) que las inundaciones son una de las catástrofes naturales que más afectan a Cuba. En el Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH) perteneciente a la Facultad de Ingeniería Civil del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae) se lleva a cabo el diseño de un sistema automatizado capaz de apoyar en la toma de decisiones ante la ocurrencia de inundaciones. Esto último les facilitará a las instancias responsables de la evacuación tomar medidas más certeras. La modelación de las inundaciones es un proceso complejo donde intervienen múltiples factores tanto naturales como sociales. En el artículo se realiza un análisis de los conceptos, herramientas, y metodologías que se consideran importantes en el estudio de las inundaciones, reflejando el estado actual en la solución del sistema que se propone.

III. *Análisis de costo-beneficio del sistema de alerta temprana de inundaciones en la cuenca del río Karnali de Nepal (Kumar et al, 2020)*

Según Kumar (2020) describe que Nepal es muy propenso a las inundaciones y ocupa el puesto 20 en todo el mundo en términos de población afectada por las inundaciones. Aunque se reconoce ampliamente que los sistemas de alerta temprana (SAT) tanto nacionales como comunitarios pueden reducir el impacto de las inundaciones, los estudios que cuantifican los costos-beneficios siguen siendo escasos. Este estudio analiza los costos y beneficios del sistema de alerta temprana en la cuenca del río Karnali inferior en Nepal a través de 453 encuestas de hogares, 30 discusiones de grupos focales y 40 entrevistas con informantes clave. Los resultados muestran que los hogares encontraron que el sistema de alerta temprana era beneficioso y confiable, lo que les permitió ahorrar bienes muebles, ganado y vehículos y costos de salud equivalentes a 117,027 dólares por hogar durante la inundación. La relación costo-beneficio está entre 24 y 73 dependiendo de los diferentes escenarios. El 98% de los encuestados estaría dispuesto a pagar una tarifa anual de 0,70 dólares durante cinco años si los comités comunitarios de desastres administraran el sistema de alerta temprana de inundaciones existente. Esto puede generar 694,426 dólares anualmente, lo que cubriría el costo anual de mantenimiento y operación del sistema. Cambia gradualmente los comportamientos de las comunidades con el tiempo a medida que comienzan a confiar en el sistema y los tiempos de entrega aumentan, lo que resulta en más capital social y una gama más amplia de acciones tempranas que reducen las pérdidas y daños evitables. Mejorar el tiempo de espera previsto en 1 h puede aumentar el ahorro actual en 1,83 veces. Los resultados del análisis de costo-beneficio pueden informar la formulación de políticas de los actores estatales y no estatales y contribuir a asegurar una mayor financiación.

IV. *Comunicación de pronósticos complejos: un análisis del enfoque del sistema de alerta temprana de inundaciones de Nepal (Brown et al, 2020)*

Brown (2020) analiza los sistemas de alerta temprana tienen el potencial de salvar vidas y mejorar la resiliencia. Sin embargo, persisten barreras y desafíos en la disseminación y comunicación de información de alerta temprana a los tomadores de decisiones institucionales, miembros de la comunidad y personas en riesgo, incluyendo acceso desigual, comprensión insuficiente e incapacidad para actuar sobre la información de alerta. Se llevó a cabo una investigación para analizar y comprender el sistema actual de alerta temprana de inundaciones en Nepal, considerando los datos y pronósticos disponibles, los flujos de información, la difusión de alertas tempranas y la toma de decisiones para la acción temprana. Los datos se recopilaron de entrevistas con informantes clave, cuestionarios a nivel comunitario y un taller nacional de partes interesadas y se analizaron cualitativamente. Se revisaron la disponibilidad y la utilización de pronósticos de inundaciones simples y complejas en Nepal, y su integración en la difusión, y las herramientas de apoyo a la toma de decisiones, considerando su impacto en la mejora de la acción temprana para aumentar la resiliencia de las comunidades vulnerables a las inundaciones. Los resultados sugieren que a medida que Nepal continúa avanzando en las capacidades de predicción hidrometeorológica, se necesitan esfuerzos simultáneamente para garantizar que estas predicciones se comuniquen y difundan de manera más eficaz.

V. *Identificación de los desafíos sociales en los sistemas de alerta temprana de inundaciones (Ousmane et al, 2020)*

Ousmane (2020) describe que los sistemas de alerta temprana de inundaciones se implementan en muchas partes del mundo, pero las alertas tempranas no siempre se traducen en una respuesta de emergencia de todas las personas en riesgo. Este artículo examina desafíos como la comunicación de advertencias y las capacidades de respuesta de la comunidad. La revisión de la literatura, los resultados de la encuesta mundial en línea y el conocimiento de la experiencia ayudaron a identificar problemas transversales como la falta de uso de enfoques participativos que involucren a las comunidades y abordar sus preocupaciones en las alertas, niveles insuficientes de preparación y respuesta, falta de conocimientos y prácticas entre los actores clave, inclusión social y de género insuficiente en todas las etapas, brechas en la comunicación y colaboración institucional y, finalmente, limitaciones técnicas y financieras. El documento también analiza la contribución de las organizaciones de la sociedad civil (OSC) para abordar los desafíos identificados y, finalmente, fortalecer el FEWS a nivel local. Se descubrió que las OSC actúan de manera positiva ante los desafíos a nivel local y contribuyen significativamente a abordarlos a través de soluciones personalizadas a las preocupaciones de la comunidad. Tales soluciones incluyen campañas de concientización para educar a las comunidades y funcionarios clave; mejora de la comunicación entre las comunidades vulnerables y las autoridades locales; transformar la respuesta comunitaria reactiva que dependía de los funcionarios del gobierno en una respuesta comunitaria auto preparada e informada sobre los riesgos; inclusión y diversidad de género en varias etapas, y campañas de promoción para desarrollar la resiliencia ante los desastres. Finalmente, se presentan recomendaciones basadas en políticas que pueden ayudar a erradicar los desafíos discutidos en este estudio.

VI. Una revisión de los avances en el sistema de alerta temprana de inundaciones repentinas de China (Shunfu-Zhang, 2018)

En este documento Shunfu-Zhang (2018) resume los principales sistemas de alerta temprana de inundaciones repentinas de América, Europa, Japón y Taiwán, China, y analiza sus ventajas y desventajas. También se presenta el último desarrollo en prevención de inundaciones repentinas. El sistema de prevención de inundaciones repentinas de China consta de tres etapas. A continuación, se presentan en detalle los métodos de advertencia y los logros de las dos primeras etapas. Sobre la base de la experiencia mundial de los sistemas de alerta temprana de inundaciones repentinas, la idea de investigación general de la tercera etapa se propone desde el punto de vista de los requisitos para la prevención de inundaciones repentinas y el progreso de la construcción de la próxima etapa en China. Los sistemas de alerta dinámica en tiempo real se pueden aplicar a la plataforma de alerta temprana en cuatro niveles (nivel central, nivel provincial, nivel municipal y nivel de condado). A través de esto, la humedad del suelo, el flujo máximo y el nivel del agua se pueden calcular en tiempo real utilizando modelos hidrológicos distribuidos, y luego se pueden calcular los índices de advertencia de inundaciones repentinas en función de los umbrales definidos de escorrentía y nivel del agua. Se puede aplicar un índice de advertencia compuesto (CWI) a las regiones donde la lluvia y el nivel del agua se miden con un equipo simple. De esta manera, los factores relacionados con las inundaciones repentinas, como la intensidad de la lluvia y las profundidades de lluvia antecedentes y acumulativas, pueden determinarse utilizando el método CWI. La metodología propuesta para la tercera etapa podría respaldar las medidas de prevención de inundaciones repentinas en el 13.º plan quinquenal para el desarrollo económico y social de la república popular de China (2016-2020). Los logros de la investigación servirán como guía para el

monitoreo y la alerta de crecidas repentinas, así como para la alerta de inundaciones en ríos medianos y pequeños.

VII. *Respuestas de la comunidad al sistema de alerta temprana de inundaciones: estudio de caso en Unión Kaijuri, Bangladesh (Akiyuki-Kawasaki et al 2015)*

La alerta temprana es un elemento clave de la reducción del riesgo de desastres. En las últimas décadas, se han producido importantes avances en la predicción estacional y de mediano plazo. Babel (2013) desarrolló un modelo experimental de predicción probabilística de inundaciones de rango medio (1 a 10 días) para Bangladesh. Este progreso brinda una gran oportunidad para mejorar las alertas de inundaciones y, por lo tanto, reducir la vulnerabilidad a los desastres. Este documento describe un sistema integrado de pronósticos de inundaciones a mediano plazo basado en las necesidades de los usuarios agrícolas para reducir los impactos de las inundaciones en la comunidad agrícola. Por ejemplo, los pronósticos de 1 a 10 días pueden proporcionar a los agricultores una variedad de opciones de decisión, como cambiar los patrones de cultivo o los tiempos de siembra. La metodología incluyó evaluaciones de riesgo y vulnerabilidad realizadas a través de consultas comunitarias. El estudio implicó el desarrollo de un mapa de riesgo de inundaciones y opciones de respuesta a los pronósticos probabilísticos de riesgo de inundaciones basados en las necesidades de alerta temprana de los agricultores. La comprensión del uso de pronósticos probabilísticos es todavía muy limitada, y los pronosticadores operativos a menudo se muestran escépticos acerca de la capacidad de los receptores de pronósticos para comprender el sistema de predicción por conjuntos. Este estudio muestra la capacidad de utilizar pronósticos probabilísticos con fines de toma de decisiones operativas. El requisito de tiempo de espera previsto, los impactos y las opciones de manejo para cultivos y ganado se identificaron mediante discusiones de grupos focales, entrevistas informales y encuestas. Los resultados incluyeron un mapeo del riesgo de inundaciones de acuerdo con la vulnerabilidad de las comunidades en el área de estudio y los impactos de alerta temprana durante y después de las inundaciones.

VIII. *Un sistema conceptual de alerta temprana de inundaciones repentinas para África, basado en enlaces de microondas terrestres y orientación sobre inundaciones repentinas (Hoedjes et al, 2014)*

Hoedjes (2014) describe un sistema conceptual de alerta temprana de crecidas repentinas para países en desarrollo. El sistema utiliza datos de intensidad de lluvia de enlaces de comunicación de microondas terrestres y el satélite geoestacionario Meteosat de segunda generación, es decir, dos sistemas que ya están instalados y en funcionamiento. Las alertas tempranas de crecidas repentinas se basan en una combinación del método de guía de crecidas repentinas y un modelo hidrológico. El sistema se mantendrá y operará a través de una asociación público-privada, que incluye un operador de telefonía móvil, un servicio meteorológico nacional y un servicio de socorro de emergencia. El operador de telefonía móvil actúa como proveedor de datos de entrada sin procesar y como difusor de alertas tempranas. El sistema de alerta temprana podría reducir significativamente el número de muertes debido a inundaciones repentinas, mejorar la eficiencia de los esfuerzos de reducción del riesgo de desastres y desempeñar un papel importante en el fortalecimiento de la resiliencia al cambio climático de los países en desarrollo de África. Este documento describe el sistema que se está desarrollando actualmente para Kenia.

IX. *Desarrollo de un sistema de alerta temprana de inundaciones en el río Garang Semarang utilizando tecnología de la información basada en SMS y Web (Windarto Joko, 2010)*

Windarto Joko (2010) analiza uno de los grandes ríos que fluyen en la ciudad de Semarang es el río Garang, con un área de cuenca de aproximadamente 203 km² y características: alta descarga de inundación e inundación repentina. La inundación repentina del 25 de enero de 1990 provocó la muerte de más de 45 personas y la pérdida de 8.500 millones de rupias. En esta investigación, se realizó un sistema de alerta temprana de inundaciones, se colocó un registrador automático de lluvia (ARR) en la parte superior del río Garang y un registrador automático de nivel de agua (AWLR) en el vertedero de Simongan. Para recibir datos de lluvia y nivel de agua, se colocó una computadora como servidor en la oficina del gobierno de Semarang. Esto funciona para enviar el estado de la inundación (preparado / precaución / cuidado) a los asistentes de inundaciones, las partes interesadas. Red neuronal artificial (ANN) utilizada para predecir el nivel del agua donde la entrada son las lluvias en el río arriba durante 1, 2, 3, 4 o 5 días antes y el nivel del agua en el río abajo durante 3 horas antes de la ocasión. El nivel del agua de salida aguas abajo durante las próximas 2 horas. Este sistema integrado con tecnología de la información que es SMS (Short Message Services) y Web, permite acceder a la alerta temprana de inundaciones en cualquier lugar siempre que la red de comunicación esté disponible. El resultado muestra el tiempo para enviar datos de lluvia y el sistema de telemetría del nivel del agua en menos de 10 minutos, mientras que el sistema de información se construyó para brindar información de alerta temprana de inundaciones en menos de 10 minutos. En consecuencia, se cumple en que el tiempo para recibir la información es menor que el tiempo en que ocurrió la inundación en 2 horas. El resultado de una predicción óptima durante el entrenamiento de la RNA es el modelo 4, 20 neuronas; Entrenamiento de velocidad 0.9, momento 0.3 cuyas precipitaciones de entrada son cuatro días antes de la ocasión y el nivel del agua son 3 horas antes de tener MSE 0.0046. Finalmente, los resultados de la encuesta a los asistentes de inundaciones y al personal del gobierno muestran que el 86% de los encuestados necesita absolutamente el sistema de alerta temprana de inundaciones.

5. *MARCO TEÓRICO*

Se realizó el análisis de trabajos relacionados con el proyecto a desarrollar, tales como artículos científicos, tesis, informes científicos y libros. Esto para distinguir de lo que se ha hecho que es lo que se necesita e identificar la metodología principal y las técnicas de investigación que han usado hasta el momento.

5.1 ANTECEDENTES

En este apartado se define lo que es inundación, la clasificación de inundaciones y sus causas y consecuencias. Se describen las medidas que se pueden utilizar para mitigar los daños por inundación. A igual que se hace una recapitulación de las inundaciones más importantes a nivel mundial, nacional y ocurridas en el municipio de Yautepec. Se presenta la descripción de mapa de peligro y los criterios de peligro utilizados en diversos países.

5.1.1 Inundación

Se define inundación como el cubrimiento temporal por agua de una tierra que normalmente no se encuentra cubierta. Por lo tanto, se incluyen las inundaciones producidas por ríos, torrentes, corrientes de agua efímeras mediterráneas e inundaciones marítimas en zonas costeras. (Escuder et al., 2010).

Las inundaciones son parte integral del ciclo hidrológico y pueden ser de manera súbita o lenta, y se encuentran siempre asociadas a destrucción y pérdidas, son consideradas como el fenómeno natural de mayor devastación y recurrencia, las cuales ocasionan daños a asentamientos humanos, pérdidas económicas o en el peor de los casos la muerte. Pero no todo es malo también las inundaciones benefician, porque recargan acuíferos, hacen los suelos fértiles, aumentan los nutrientes del suelo, reabastecen los cuerpos de agua y mantienen la biodiversidad de las planicies inundables. Una inundación puede ser de manera natural o provocada por el ser humano.

El origen de las inundaciones terrestres puede ser debido al desbordamiento de corrientes fluviales o bien por el encharcamiento de zonas planas o endorreicas sin vinculación con la red fluvial, tanto por acumulación de la precipitación sin que circule sobre la superficie terrestre (precipitación in situ, sobrealimentación de un lago) como de origen hidrogeológico asociado a la elevación de la superficie freática sobre la superficie del terreno.

En cuanto a las inundaciones litorales o costeras, las causas pueden relacionarse con aumentos del nivel del agua de mares y lagos durante tormentas, fenómenos ciclónicos atípicos (huracanes, tifones, tormentas tropicales, ciclones, tornados), fuertes variaciones mareales y barométricas, o como consecuencia de tsunamis. En ocasiones, estos fenómenos costeros se producen combinados, ayudados o acelerados por el hundimiento progresivo de las zonas costeras, bien de forma natural (subsistencia) o artificial (sobrepeso de construcciones, sobreexplotación de acuíferos, etc.).

Por último, muchas inundaciones en zonas litorales son una combinación o sucesión de orígenes terrestres o costeros, de forma que los ríos, con altos caudales no pueden desembocar en el mar con normalidad por encontrarse con altos niveles de temporales o mareas vivas en situación de pleamar.

Tabla 1. Tipos de inundaciones (Vargas *et al* 2017).

INUNDACIONES	NATURALES	TERRESTRES	Vinculadas a la red fluvial	Torrenciales	Crecientes súbitas
				Crecientes lentos	Aumento lento del nivel del agua

				Rotura de presas naturales	Lagos, represamientos naturales
				Obstrucción de cauces	Movimientos del terreno
			No vinculadas a la red fluvial	Endorreísmo	Precipitación in situ, aportes a lagos
				Hidrogeológicas	Surgencias, variaciones del nivel freático
		LITORALES	Mareales		
			Olas y ondas		
	INDUCIDAS	Gestión inadecuada de obras hidráulicas			Desembalses
ANTRÓPICAS	Roturas y fugas			Almacenamientos, conducciones	

5.1.2 Clasificación de inundaciones por el tiempo de respuesta de la cuenca

La respuesta hidrológica de una cuenca depende de sus características fisiográficas. Básicamente se han definido dos grupos: inundaciones lentas e inundaciones rápidas. Lo anterior significa que en cuencas cuya respuesta hidrológica es lenta se generan avenidas en un tiempo relativamente largo (del orden de varias horas o días); en ellas ocurren principalmente daños materiales. Mientras que cuando la inundación se forma en poco tiempo (desde unos cuantos minutos, hasta un par de horas) se llama inundación súbita, causando, principalmente, la pérdida de vidas humanas en zonas pobladas (CENAPRED, 2007).

Inundaciones lentas: Al ocurrir una precipitación capaz de saturar el terreno, esto es, cuando el suelo no puede seguir absorbiendo más agua de lluvia, el volumen remanente escurre por los ríos y arroyos o sobre el terreno. Conforme el escurrimiento avanza hacia la salida de la cuenca, se incrementa proporcionalmente con el área drenada, si el volumen que fluye por el cauce excede la capacidad de este, se presentan desbordamientos sobre sus márgenes y el agua desalojada puede permanecer horas o días sobre el terreno inundado.

Inundaciones súbitas: Las inundaciones súbitas son el resultado de lluvias repentinas e intensas que ocurren en áreas específicas. Pueden ocasionar que pequeñas corrientes se transformen, en cuestión de minutos, en violentos torrentes capaces de causar grandes daños. Las zonas urbanas son usualmente sitios donde se presenta este tipo de avenidas, como consecuencia de la “cubierta impermeable” formada artificialmente por los edificios y calles, así como por la deforestación. Debido a ello, el agua no puede infiltrarse y prácticamente todo el volumen precipitado se convierte en escurrimiento.

5.1.3 Causas y consecuencias de las inundaciones

El origen de las inundaciones se divide en naturales y por intervención humana o una combinación de ambas, en la *tabla 2* se analizan las causas que las provocan y una breve descripción.

Tabla 2. Causas que generan inundación (CENAPRED, 2007).

Tipo	Causa	Descripción
Actividad Humana	Mala planeación en urbanización	Se construyen viviendas cercas del margen del rio o cuerpos de agua
Actividad Humana	Deforestación	Tala masiva de bosques y selvas
Actividad Humana	Fallo de obras hidráulicas	Ruptura de presas o fallo en construcción de obras hidráulicas
Actividad Humana	Cambio climático	Contaminación descontrolada
Causa Natural	Exceso de precipitación	Lluvia en exceso provocada por ciclones, tormentas tropicales o huracanes
Causa Natural	Acumulación de sedimentos	Genera barreras de contención para el agua ocasionando desbordamiento en el margen del río
Causa Natural	Tsunamis	Tiene origen en el mar y es consecuencia de un terremoto en dicho cuerpo de agua
Causa Natural	Fusión de nieve en altas montañas	La nieve acumulada durante el invierno se funde normalmente durante la primavera, pero si hay fuertes oleados de calor este proceso se acelera, hasta el punto de poder hacer aumentar los niveles del mar o ríos y hacer que invadan la tierra

Creación propia con información de CENAPRED 2004.

Según CENAPRED las consecuencias de las inundaciones pueden dividirse en:

- **Económicas:** Cuando existe una inundación comúnmente no existe tiempo para resguardar objetos de valor lo que ocasiona que se ven afectados por la humedad provocando pérdidas económicas incalculables. Daño a la vivienda e infraestructura expuesta y vulnerable.
- **Ambientales:** Las inundaciones pueden causar un impacto directo a las tierras agrícolas, el suministro de alimentos de este origen se ve afectado. Por ejemplo, se desplazan para resguardarse de las inundaciones animales tales como roedores lo que provoca que se acerquen a viviendas y con esto poner el riesgo a los seres humanos.
- **Salud:** Las afectaciones a la salud por inundación se presentan cuando las fuentes de agua limpia se contaminan con materiales tóxicos, donde aumente él es riesgo de contraer enfermedades infecciosas.

Tabla 3. Las causas, efectos e impactos de la inundación (ERN-CAPRA, 2012)

Causa	Efecto	Impacto
-------	--------	---------

Precipitación intensa	Escorrentía rápida	<ul style="list-style-type: none"> • Localización de la inundación en áreas urbanas. • Sobrepaso de la capacidad hidráulica en el alcantarillado. <ul style="list-style-type: none"> • Inundaciones en las vías
	Bloque de tuberías, alcantarillados, etc.	
Tiempo prolongado de lluvia	Suelo saturado	La inundación en las planicies conlleva a: <ul style="list-style-type: none"> • Inundaciones en áreas extensas • Inundaciones en áreas urbanas vulnerables <ul style="list-style-type: none"> • Inundación de infraestructura. • Presurización de alcantarillados y drenajes urbanos
Precipitación intensa	Crecidas en los ríos y corrientes	

5.1.4 Medidas para la protección de personas y bienes en emergencia

Como señala CENAPRED (2016) las medidas de protección se dividen en:

- **Medidas de autoprotección personal:** son aquellas medidas sencillas que pueden ser llevadas a cabo por la propia población.
- **Confinamiento:** esta medida consiste en el refugio de la población en sus propios domicilios, recintos o habitáculos próximos en el momento de anunciarse la adopción de la medida.
- **Alejamiento y refugio:** consiste en el traslado de la población desde posiciones expuestas a lugares seguros, generalmente poco distantes, utilizando sus propios medios.
- **Evacuación:** consiste en el traslado de la población que se encuentra en la zona de mayor riesgo hacia zonas alejadas de la misma. Se trata de una medida definitiva, que se justifica únicamente si el peligro al que está expuesta la población es grande.

5.1.5 Inundaciones en el mundo

Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM), las inundaciones han causado millones de muertes a nivel global, indica que el 79% de los desastres naturales son debidos a fenómenos meteorológicos o hidrológicos extremos ocasionados por tormentas intensas y el desbordamiento de crecidas (ríos, arroyos, lagunas, etc.), esto causó el 55% de muertes y el 86% de las pérdidas económicas más importantes durante el periodo entre 1970 y 2020. Se realizó una investigación de inundaciones históricas alrededor del mundo (*anexo 13.1*).

5.1.6 Inundaciones en México

Debido a la orografía del país, México está situado cerca de una zona intertropical de convergencia y dentro de la influencia y trayectoria de los ciclones tropicales, provocando así que las inundaciones se produzcan cada año, impactando con serios problemas a todo el territorio mexicano, se ha estimado que 162 000 km² del territorio nacional son susceptibles de inundarse. En México han ocurrido, por efecto de desastres, alrededor de 10,000 muertes, de 1980 a 1999,

aproximadamente 500 cada año. Las pérdidas económicas calculadas alcanzan 9,600 millones de dólares, con un monto promedio anual cercano a los 500 millones de dólares (Bitrán, 2000).

Las inundaciones más importantes desde el año 2000 se presentan en el *anexo 13.2*, dando como resultado un monto aproximado de \$23,884.200 millones de pesos en pérdidas por desastres hidrometeorológicos en México.

5.1.7 Inundaciones en el municipio de Yautepec, Morelos

La topografía de la zona y la mala planificación urbana ha provocado que el municipio de Yautepec se encuentre entre los municipios del estado de Morelos con mayor afectación en temporadas de lluvias. El desbordamiento del río Yautepec genera que las colonias que se encuentran en el margen del río se encuentren en peligro constante. En la *tabla 4* se realiza una capitulación de los eventos de inundaciones más significativos ocurridos en este municipio. De igual manera se presenta una relación de las afectaciones ocasionadas en cada uno de los eventos que se tiene registro de los últimos 35 años en el municipio y la altura aproximada (m) a la que llegó en ciertos puntos del municipio.

Tabla 4. Inundaciones históricas en el municipio de Yautepec, Morelos.

Fecha	Año	Altura de inundación (M)	Afectaciones
25 de agosto	1985	1.65	La creciente del río subió a 1.50 m, provocando varias inundaciones en la zona urbana y pérdidas materiales.
01 de junio	1988	1.50	Daños considerables al tianguis Huerta Cárdenas y cuantiosas pérdidas económicas.
21 de agosto	1995	2.0	El puente peatonal que conectaba al tianguis Huerta Cárdenas con el mercado Centenario se derrumbó. Lugares como mercado Centenario, la plazuela de Leyva, la calle Zaragoza y la Morelos se convirtieron en ríos.
28 de septiembre	1998	2.0	Cinco desaparecidos y unas 900 familias ubicadas en albergues
04 de julio	2003	1.60	Desbordamiento del río Yautepec ocasionando pérdidas materiales y cientos de damnificados
17 de agosto	2010	1.0	Una creciente de 1.0 m provocó inundaciones en la zona urbana de Yautepec dejando pérdidas materiales.
25 de agosto	2010	2.40	Se registraron lluvias extraordinarias en la parte alta de la cuenca del río Yautepec, se presentó una creciente de 2.40 m en las partes más bajas y de 1.50 en las partes más altas provocando daños a la infraestructura hidráulica y pérdidas materiales en la zona urbana.

03 de octubre	2014	1.20	Desbordamiento del río en zona centro del municipio de Yautepec, con alturas de 1.20 metros
22 de julio	2016	1.0	Desbordamiento de la barranca de Apanquetzalco, además la lluvia provocó derrumbes sobre la carretera federal Cuernavaca- Cuautla a la altura del cañón de lobos
28 de octubre	2019	1.70	Inundaciones en casas y comercios de la colonia centro.

Creación propia con información de testigos.

Las inundaciones en el municipio de Yautepec ocupan el primer lugar en afectaciones hacia los habitantes de esta comunidad. Algunos otros fenómenos que azotan esta zona son, por ejemplo: Incendios forestales, sismos y fenómenos volcánicos. A continuación, se muestra una gráfica que representa los porcentajes de pérdidas económicas.

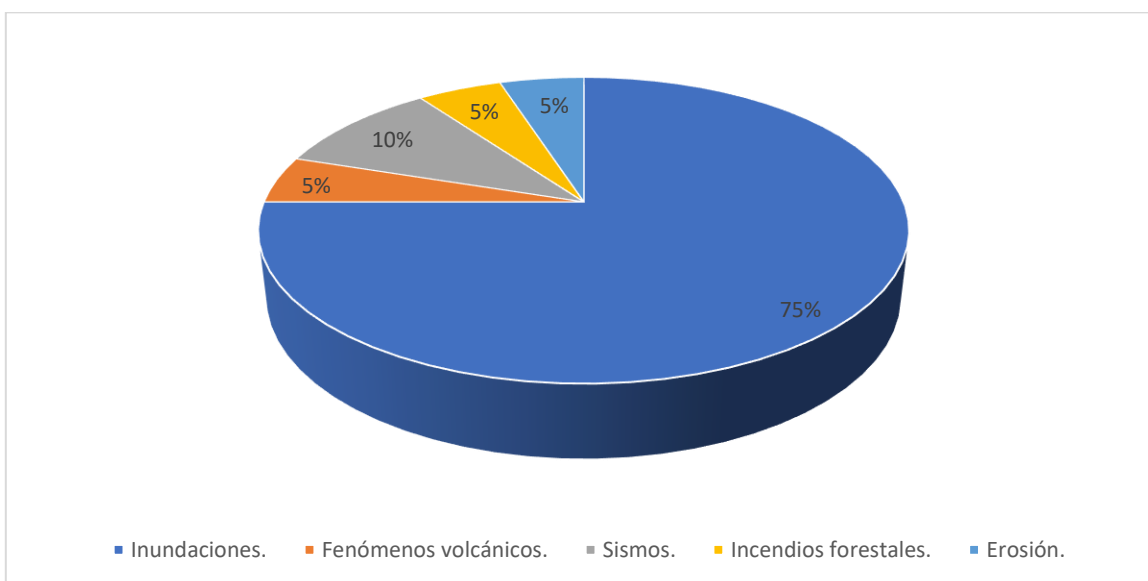


Ilustración 1. *Porcentaje de afectación (SEDESOL, 2011).*

Para determinar la gráfica se tomaron en cuenta los datos del año 2000 hasta el 2020. Determinando con esto que las inundaciones son los desastres que ocurren con mayor frecuencia en el municipio de Yautepec. Otra de las gráficas que nos permite evidenciar el alto impacto que tienen las inundaciones a dicho municipio es la de número de afectados por inundación por año.

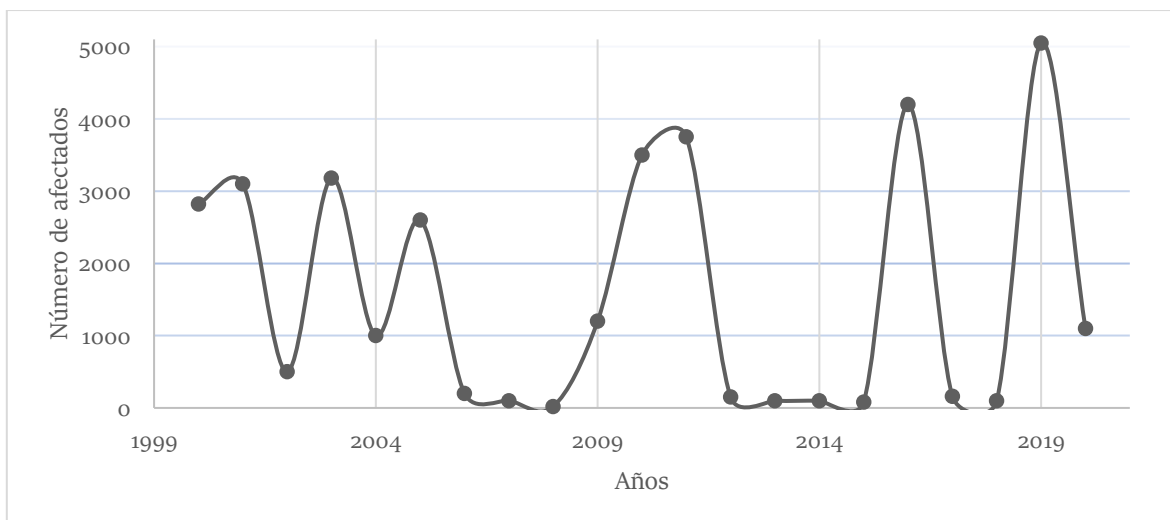


Ilustración 2. Afectados anualmente (CONAGUA, SEDESOL, CENAPRED, 2020).

5.1.8 Factores primordiales en una inundación

Según Quijano (2012) existen distintos tipos de factores de impacto que intervienen durante el proceso de inundación, comúnmente se determina dicho valor con el nivel máximo de inundación dentro de la zona urbana. A continuación, se describen algunos de los factores que se podrían considerar en un evento de inundación.

Tabla 5. Factores que ocasionan daños en caso de inundación (Quijano, 2012).

Factor	Descripción
Velocidad	La fuerza adicional crea el riesgo de colapso, arrastre de personas y reduce el tiempo de respuesta para poder evacuar
Duración	Una larga duración daña los materiales y causa problemas de salud (vectores, infecciones, enfermedades, etc.)
Sedimentos	Genera problemas a equipos mecánicos y genera problemas posteriores por la limpieza y olor
Frecuencia	Una alta frecuencia genera daños a estructuras y equipos
Materiales de construcción	Metales y ladrillos son más resistentes que otros materiales
Condiciones	Las condiciones y calidad de las construcciones pueden determinar la magnitud de los daños
Edad	Normalmente a mayor edad, los materiales estarán más deteriorados y propensos al daño
<i>Medidas de alerta</i>	<i>Buenos sistemas de alerta permiten tomar medidas y reducir el daño</i>

5.1.9 Pronóstico de inundaciones

Según la agencia medioambiental de Estados Unidos de Norte América anticiparse a las inundaciones antes de que ocurran permite tomar precauciones y advertir a las personas para que puedan estar preparadas de antemano para las condiciones de inundación. Por ejemplo, los

granjeros pueden sacar animales de áreas bajas y los servicios públicos pueden implementar provisiones de emergencia para redirigir los servicios si es necesario. Los servicios de emergencia también pueden tomar medidas para tener suficientes recursos disponibles con anticipación para responder a las emergencias a medida que ocurren. Las personas pueden evacuar las áreas que se inundarán.

Para hacer los pronósticos de inundaciones más precisos para las vías fluviales, es mejor tener una serie de datos históricos largos que relacionen los caudales de los arroyos con los eventos de lluvia pasados medidos. Combinar esta información histórica con conocimiento en tiempo real sobre la capacidad volumétrica en las áreas de captación, como la capacidad de reserva en los embalses, los niveles de agua subterránea y el grado de saturación de los acuíferos del área, también es necesario para hacer la inundación más precisa y generar un mejor pronóstico (IAQ,2013).

De acuerdo con el artículo *sistema avanzado de predicción (2013)*, las estimaciones de radar de las precipitaciones y las técnicas generales de pronóstico del tiempo también son componentes importantes de un buen pronóstico de inundaciones. En áreas donde se dispone de datos de buena calidad, la intensidad y la altura de una inundación se pueden predecir con bastante buena precisión y mucho tiempo de espera. El resultado de un pronóstico de inundación es típicamente un nivel de agua máximo esperado y el tiempo probable de su llegada a lugares clave a lo largo de una vía fluvial, y también puede permitir el cálculo del período de retorno estadístico probable de una inundación. En muchos países desarrollados, las áreas urbanas en riesgo de inundaciones están protegidas contra una inundación de 100 años, es decir, una inundación que tiene una probabilidad de alrededor del 63% de ocurrir en cualquier período de tiempo de 100 años.

Según el Centro de Pronóstico del Río Noreste (RFC) del Servicio Meteorológico Nacional de EE. UU. (NWS) en Taunton, Massachusetts, una regla general para el pronóstico de inundaciones en áreas urbanas es que se necesitan al menos 25 mm de lluvia en aproximadamente una hora. Tiempo para iniciar un encharcamiento significativo de agua en superficies impermeables. Muchos RFC del NWS emiten rutinariamente orientación sobre inundaciones repentinas y orientación sobre cabeceras, que indican la cantidad general de lluvia que debería caer en un período corto de tiempo para causar inundaciones repentinas o inundaciones en cuencas de agua más grandes.

5.1.10 Propuesta de eventos por inundación en el municipio de Yautepec

Los eventos que se analizaron para este proyecto se eligieron con base en la información recabada de manera histórica. Tomando en cuenta el historial de datos de las estaciones climatológicas e hidrométricas, se llegó a la conclusión de tomar como fechas de análisis los eventos del 4 de julio del 2003, el 17 de agosto del 2010 y el 25 de agosto del 2010. A continuación, se describe y narra lo sucedido en cada uno de estos eventos antes mencionados.

A. 4 de julio del 2003

Relata el cronista German Alcántara Álvarez. *Llega el 2003 y el tiempo de lluvias con él, la gente está confiada, el río y la barranca los han desazolvado, parece que ya no habrá más inundaciones. Pero no es así, el 4 de julio del 2003, cuando el tiempo de lluvias está en su mero apogeo, vuelve a danos un nuevo susto. La barranca de Apanquetzalco se está derramando, pasa la media noche y las sirenas de las patrullas de la policía municipal empiezan a alertar a la población. Cuando esto sucede es porque los que viven hacia arriba ya les está entrando el agua a sus casas. Estas son las colonias del Zarco y Estrada Cajigal, estas son las colonias que primero se inundan, después sigue la Ignacio Zaragoza, por la parte baja, continúan la colonia Ignacio Manuel Altamirano y la parte baja de la colonia Rancho Nuevo. Si Viyautepec había sufrido varios pequeños deterioros como el derrumbe de una barda, ahora si se les había metido el agua más de la mitad del fraccionamiento y de ahí la distribuyó a varias calles que en inundaciones anteriores por lo menos las relata en este escrito se habían llenado de agua, como era el campo deportivo, la calle Emiliano Zapata, Virginia Fábregas, la del niño, y la Morelos partiendo de la zona de Zapata a Zaragoza (Crónica Morelense, 2006).*

B. 17 de agosto del 2010

El director de Protección Civil y Bomberos de Yautepec Octavio Rojas Montaña, informó que la tormenta registrada la noche de este lunes y los primeros minutos de este martes generó afectación en parte de la colonia Otilio Montaña y La Huizachera principalmente en Paseo Solidaridad y calle Víctor Manuel Guerrero. Como consecuencia de la gran cantidad de agua la canaleta que se ubica en la zona fue insuficiente y el agua del drenaje salió por alcantarillas y coladeras. La conocida Barranca Chica que cruza de Oacalco a Yautepec llegó al 99 por ciento de su capacidad durante la madrugada (El Sol de Cuernavaca, 2010).

C. 25 de agosto del 2010

Las fuertes lluvias que cayeron esta madrugada sobre gran parte del estado provocaron el crecimiento y desbordamiento del río Yautepec, afectando a siete colonias, cuatro barrios y el mercado municipal, ubicado en el centro de Yautepec. Las colonias afectadas son: Jacarandas, Cuauhtémoc, Felipe Neri, Estrada Cajigal, Flores Magón, 13 de septiembre y Centro; barrios: San Juan, Santiago, Buena Vista y Rancho Nuevo. En entrevista, el director de Protección Civil estatal, Basilio Miranda Román, comentó que *“hubo una crecida del río Yautepec pasadas las dos de la madrugada con una altura de 10 metros que afectó principalmente el primer cuadro del municipio de Yautepec incluyendo el mercado municipal”* (MVS Noticias, 2010).

5.1.11 Medidas de mitigación contra inundaciones

Para llevar a cabo medidas de mitigación contra inundaciones y poder evitar daños es indispensable generar acciones de protección. Estas pueden ser de dos tipos medidas estructurales o medidas no estructurales (ver tabla 6).

Tabla 6. Medidas de mitigación contra inundaciones, elaboración propia con base en Salas (1999).

Medidas de Mitigación	No Estructurales	Indirectas
		<i>Institucionales</i>
	Estructurales	Obras de regularización
		Obras de rectificación
		Obras de protección

Para el presente trabajo utilizaremos una medida de mitigación no estructural institucional, encontrándose en este nivel el SATI que se pretende proponer para el amortiguamiento de daños ocasionados por inundaciones en el municipio de Yautepec.

A. Medidas estructurales

El objetivo de las medidas estructurales, es evitar o mitigar los daños provocados por una inundación, mediante la construcción de obras (*ver tabla 7*).

Tabla 7. Tipos de obras como medidas de mitigación contra inundaciones (Salas, 1999).

Tipo de Obra	Característica
Obra de regulación	Es una obra que intercepta directamente al flujo del cauce y lo mantiene controlado
Obra de rectificación	La función de esta es mantener la conducción del flujo de manera rápida y sin obstáculos que obstruyan el flujo, así como para conservar o incrementar su capacidad
Obra de protección	Se encargan de confinar el cauce del río, evitando la interacción del flujo con las zonas urbanas propensas a inundación

Creación propia con información de Salas, 1999.

De acuerdo con el IMTA (2011), menciona que las principales obras que se construyen para mitigar las inundaciones son:

- Bordos perimetrales.
- Bordos longitudinales.
- Muros longitudinales.
- Desvíos permanentes.
- Desvíos temporales.
- Corte de meandros rectificaciones.
- Presas de almacenamiento.
- Presas rompe-picos.
- Presas para retener azolves.
- Canalización o entubamiento de un cauce.

B. Medidas no estructurales

Son acciones complementarias para mitigar los efectos de inundaciones basadas en acciones de no obra, sino en acciones indirectas e institucionales.

- **Reforestación.** Es la actividad que consiste en repoblar mediante arboles zonas que en el pasado estaban forestadas, mediante especies adaptables.
- **Prácticas de conservación de suelo y agua.** Es un conjunto de prácticas aplicadas para promover el uso sustentable del suelo, tienen por objeto el control de la erosión, conservación de la humedad, control del escurrimiento superficial, riego, drenaje y el desarrollo de los recursos hidráulicos.

Las prácticas de reforestación, conservación de suelo y agua, se utilizan para revertir el proceso de degradación de las zonas altas de las cuencas y modifican los siguientes factores:

- Reducen la erosión hídrica y eólica.
- Aumentan la infiltración de la lluvia.
- Reducen la pérdida de humedad por evaporación.
- Mantienen la temperatura.
- Mejoran las condiciones de germinación.
- Mejoran la estabilidad estructural de los suelos.
- Estimulan la actividad biológica del suelo.
- Aumentan la porosidad.
- Reducen el enmalezamiento.
- Disminuyen el escurrimiento.

Acciones institucionales: Este tipo de medidas se basa en la planeación, organización, coordinación y ejecución de acciones que buscan disminuir los daños causados por las inundaciones. Pueden ser de carácter permanente o aplicable. Las principales acciones se relacionan con la conservación y el cuidado de las cuencas, la elaboración de mapas de riesgo y reordenamiento territorial, la vigilancia y alerta, la operación de la infraestructura hidráulica, los planes de protección civil, la difusión de boletines de alerta, evacuación de personas y la alerta hidrometeorológica en tiempo real (Salas, 1999).

Acciones permanentes: Se refiere básicamente al ordenamiento territorial, basado en la normatividad de uso de suelo, con lo que se posibilita la delimitación de las zonas inundables bajo diferentes escenarios, relacionando la magnitud del evento con el área afectada. El objetivo es que una vez que se ha identificado las zonas potencialmente inundables se definan los usos de suelo de acuerdo con el valor económico de los bienes.

Mapas de riesgo: Es la representación gráfica de los potenciales daños en un sitio (ciudad, localidad, vía de comunicación, etc.), generados por algún fenómeno natural o antropogénico (inundación, sismo, deslaves, explosión de material químico, etc.) que lo afecte (Salas, 1999).

Acciones de operación durante la temporada de lluvia. Ante la presencia de un fenómeno hidrometeorológico capaz de generar una inundación, se llevan a cabo medidas cuya finalidad es conocer su evolución durante sus diferentes fases (ocurrencia y cuantificación de la precipitación;

transformación en escurrimiento superficial; regulación a lo largo del cauce, desfasamiento en el tiempo y atenuación del gasto máximo; operación de la infraestructura hidráulica, etc.). Se pueden tener tres niveles de alerta de acuerdo con el tipo de monitoreo y el nivel de resolución espacial que se desee.

Primer nivel: Se hace uso de imágenes obtenidas con satélites meteorológicos con lo que se puede alertar con varios días de anticipación de un fenómeno meteorológico.

Segundo nivel: Se utilizan radares meteorológicos y los boletines del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), en este caso se alerta con varias horas de anticipación.

Tercer nivel: Basado en Sistemas de Alerta Hidrometeorológicas Tempranas (SAHT), diseñados para alertar la posibilidad de ocurrencia de inundaciones en una cuenca. En este caso es posible dar aviso a la población con cierta anticipación, que puedan ser días, horas e incluso minutos, que puede significar la mitigación de los daños que se puedan producir. (CENAPRED, 2020).

5.1.12 Mapa de peligro

Según Medina (2019) los mapas de peligro son una representación gráfica de un área territorial que define zonas expuestas a diferentes niveles o intensidades de un determinado peligro natural u originados por el por el hombre, si el territorio se encuentra expuesto a diversos tipos de fenómenos naturales, se evalúa el nivel de peligro de cada uno de ellos en las diferentes zonas y se sobrepone sus efectos, obteniendo un mapa de peligro general. Esto nos sirve para identificar alguna zona de territorio donde un peligro natural se manifiesta con mayor o menor intensidad.

5.1.13 Criterios de peligro usados en diversos países

De acuerdo con Alcocer-Yamanaka *et, al.*, (2016) se plantean 5 metodologías para evaluar el peligro en un evento de inundación.

A. Criterio del gobierno de Francia (OFEE por sus siglas en francés)

Este desarrollo un criterio que parte de 3 niveles alto, medio y bajo. El cual se define al nivel alto cuando la población está en peligro dentro y fuera de las viviendas; en el nivel medio, la población está en peligro fuera de las viviendas y las edificaciones pueden sufrir daños; para el nivel bajo, las edificaciones pueden sufrir daños leves, y la inundación o el arrastre de sedimentos pueden llegar a afectar el interior de las edificaciones.

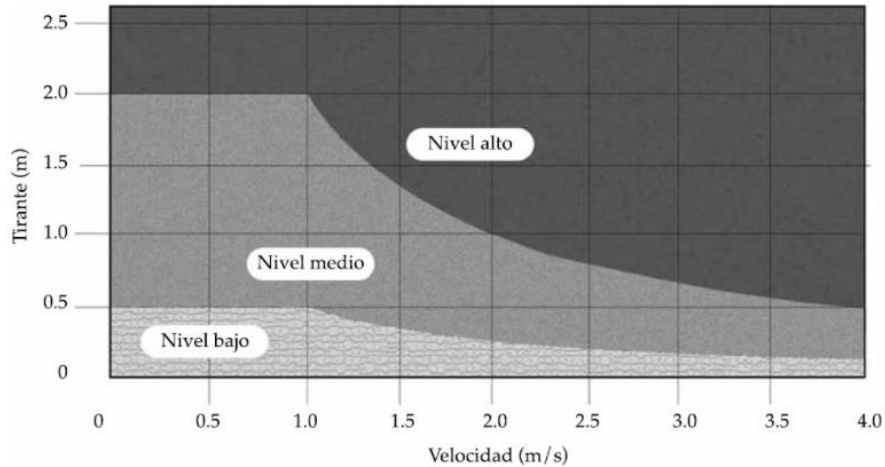


Ilustración 3. Nivel de peligro para inundaciones OFEE (Alcocer et al, 2016).

B. Criterio de la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias de los Estados Unidos

Esta metodología se basa en una relación del tirante máximo h (m) con la velocidad máxima del agua v (m/s). Con base en estas relaciones establece tres rangos de peligro: zona de nivel bajo, amenaza moderada y alto nivel de amenaza. Para la zona de alto nivel de amenaza, la vida de las personas puede estar en peligro y las edificaciones pueden tener fallas estructurales. En la zona de precaución (moderada) se tienen daños a la integridad de las personas y afectaciones en las edificaciones (Alcocer-Yamanaka et al, 2016)

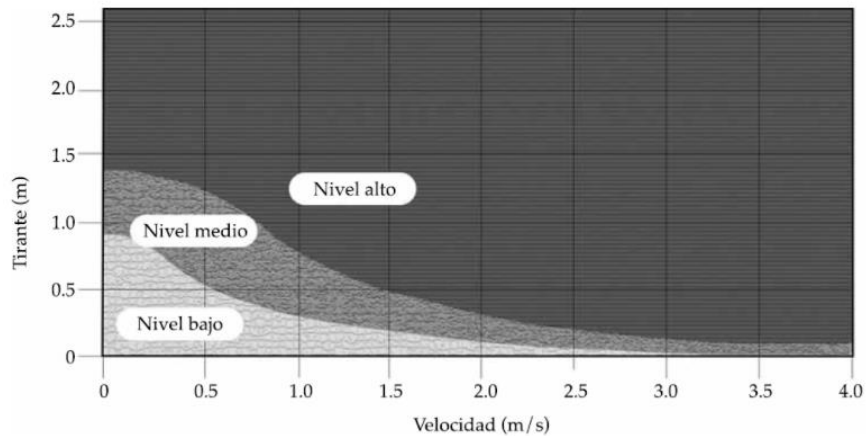


Ilustración 4. Niveles de peligro que relacionan tirante del agua (m) y velocidad (m/s). Adaptada de FEMA (2009).

C. Criterio del Gobierno de Gales del Sur

Este criterio se basa en la profundidad del agua con respecto a la velocidad. En el nivel alto se especifica que la evacuación por vehículos es difícil; además, los adultos tienen problemas para cruzar las calles con seguridad y existe un potencial daño estructural a las construcciones; la zona de transición depende de las condiciones del lugar; en el nivel bajo se establece que, en caso necesario, los vehículos pueden evacuar a las personas y sus posesiones, y los adultos tendrían inconvenientes para cruzar las avenidas con seguridad (Alcocer-Yamanaka et al, 2016).

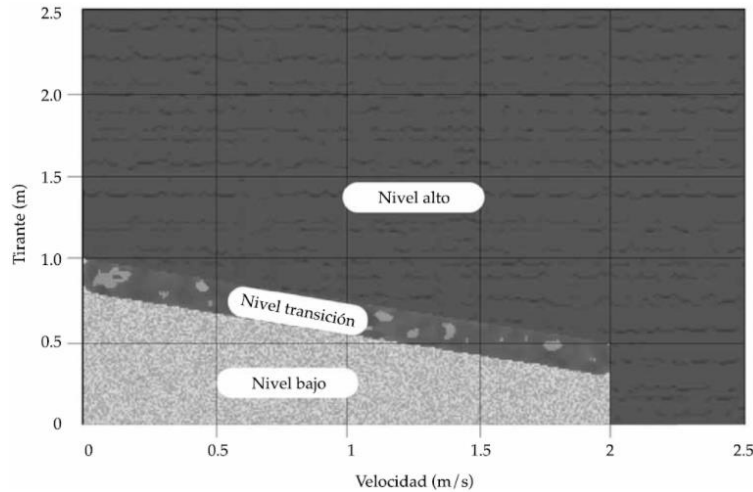


Ilustración 5. Niveles de peligro aplicados en la ciudad de Dórrigo, Australia (NSW, 2005).

D. Criterio propuesto por el IMTA

Los mapas de peligro propuestos por el IMTA están fundados en investigaciones de Alcocer *et al.* (2012), que definen como base para el manejo de las aguas pluviales cuatro componentes: el primero corresponde a la identificación de la problemática de las inundaciones, que puede derivarse de diversos factores; el segundo, a los análisis hidrológicos e hidrográficos en el que se identifican las lluvias que ocasionan inundaciones y la generación de lluvias de diseño, así como la identificación de los usos de suelo, cuencas y microcuencas. El tercero, a la utilización de diversas herramientas de cálculo, que permiten la construcción del modelo de simulación de microcuencas, colectores y drenes pluviales, y la construcción del modelo de escurrimiento en calles (Alcocer-Yamanaka *et al.*, 2016). Generalizando lo descrito por Alcocer-Yamanaka *et al.* (2012), los mapas de peligro se obtienen a través de tres aspectos principales, que brindarán la información elemental para la construcción del modelo numérico de escurrimientos superficiales. El primero se basa en analizar la precipitación, con el fin de establecer el comportamiento espacial y temporal de la lluvia (lluvia de proyecto). El segundo toma en cuenta la infraestructura urbana de la región de estudio (configuración del terreno). Por último, el tercer aspecto se refiere a la delimitación de subcuencas y microcuencas de estudios, considerando los parámetros geomorfológicos (área, perímetro, ancho, longitud del cauce principal, etc.)

Tabla 8. Criterios establecidos para la generación del mapa de peligro por inundación (IMTA, 2015).

Nivel de peligro	Altura (m)	Deslizamiento (m ³ /s ²)
Nulo	$h < 0.3$	$v^2h < 0.3$
Bajo	$0.3 \geq h < 0.5$	$0.3 \geq v^2h < 0.5$
Medio	$0.5 \geq h < 1.5$	$0.5 \geq v^2h < 1.23$
Alto	$h \geq 1.5$	$v^2h \geq 1.23$

E. Criterio de la norma de la Agencia Catalana del Agua (ACA)

La peligrosidad relacionada con una inundación se determina teniendo en cuenta determinados criterios de la gravedad de las características del flujo en relación a la seguridad de las personas y los bienes materiales. Esta gravedad está directamente relacionada con la capacidad de empuje o arrastre que muestra el flujo, la cual se puede definir por el tirante y la velocidad que presenta el agua en la zona inundada. En función de estos dos parámetros tirante y velocidad, se determina la gravedad de la inundación que se está estudiando. A mayor tirante y velocidad la gravedad aumenta. En este sentido la Agencia Catalana del Agua discrimina la gravedad de una posible inundación utilizando los criterios que se describen en la *tabla 9* y cuyos rangos de aplicación se pueden observar en la *figura 1*. Los criterios de clasificación de la gravedad no difieren de los utilizados habitualmente, a excepción del rango más alto el cual se ha subdividido en tres con la finalidad de evaluar de forma más apropiada los daños y las incertidumbres en el cálculo de los posibles efectos que puede ocasionar una inundación (ACA, 2018).

Tabla 9. Criterios de peligrosidad (ACA, 2018).

Gravedad	Descripción	Rango	Factor de peligro
Extrema	Zona donde las condiciones hidráulicas presentan un calado superior a 4 metros, una velocidad mayor que 6 m/s o el producto de ambas superior a 2 m ² /s	$t > 4\text{m}$ $v > 6 \text{ m/s}$ $t*v > 2\text{m}^2/\text{s}$	6.0
Muy alta	Zona donde las condiciones hidráulicas presentan un calado entre 2 y 4 metros, una velocidad entre 3,5 y 6 m/s o el producto de ambas superior a 1 m ² /s	$2 < t < 4\text{m}$ $3,5 < v < 6 \text{ m/s}$ $1 < t*v < 2\text{m}^2/\text{s}$	4.0
Alta	Zona donde las condiciones hidráulicas presentan un calado entre 1 y 2 metros, una velocidad entre 1 y 3,5 m/s o el producto de ambas superior a 0,5 m ² /s	$1 < t < 2\text{m}$ $1 < v < 3,5 \text{ m/s}$ $0,5 < t*v < 1\text{m}^2/\text{s}$	2.0
Moderada	Zona donde las condiciones hidráulicas presentan un calado superior a 0,4 metros, una velocidad mayor a 0,4 m/s y el producto de ambas superior a 0,08 m ² /s	$0,4 < t < 1\text{m}$ $0,4 < v < 1 \text{ m/s}$ $0,08 < t*v < 0,5\text{m}^2/\text{s}$	1.0
Baja	Zona donde las condiciones hidráulicas presentan un calado inferior a 0,4 metros, una velocidad menor a 0,4 m/s y el producto de ambas menor que 0,08 m ² /s	$t \leq 0,4\text{m}$ $v \leq 0,4 \text{ m/s}$ $t*v \leq 0,08\text{m}^2/\text{s}$	0.5

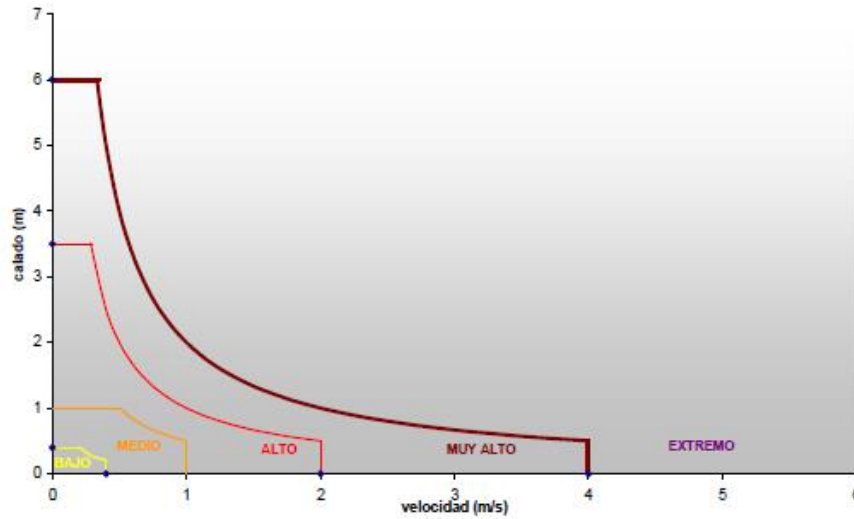


Figura 1. Factor de Gravedad para el cálculo de la peligrosidad (ACA, 2018).

5.2 SISTEMA

Según Alonso (2016) un sistema es un conjunto de elementos que suman esfuerzos colaborando de manera coordinada y con una constante interacción para alcanzar objetivos en común, e claramente identificable por una frontera que lo delimita y se encuentra operando en un ambiente o entorno con el cual pueden guardar una estrecha relación; cada uno de estos elementos pueden a su vez, ser un sistema de menor complejidad o tanto llamado subsistema, y por el contrario cada uno de esos sistemas pueden ser un elemento de un sistema más grande.

El proceso de transformación de un insumo (problemática) en un producto (acciones planificadas) requiere de la creación de una metodología organizada en tres grandes subsistemas:

- Formulación del problema.
- Identificación y diseño de soluciones.
- Control de resultados.

5.2.1 Conceptualización de la operación de un sistema

Un sistema se alimenta de datos de entrada, un apartado de procesamiento y un producto final. Los sistemas son objeto de estudio de la Teoría de Sistemas, una disciplina que los aborda sean cuales sean desde una perspectiva múltiple, interdisciplinaria. Según ella cualquier sistema es reconocible dados sus límites y partes interrelacionadas e interdependientes.

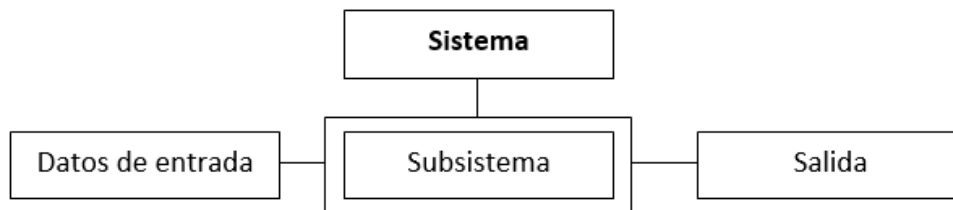


Figura 2. Esquema de conceptualización de un sistema (Kauffman, 2006).

5.3 MODELACIÓN MATEMÁTICA

De acuerdo con Brito (2011) la modelación matemática es un intento de representar alguna parte del mundo real en términos matemáticos. Es natural que los modelos matemáticos sean modelos de analogía incompleta, es decir, que reflejan solamente algunas propiedades del objeto modelado. A la vez, los modelos matemáticos se caracterizan por una suficiente generalidad, describiendo una clase completa de objetos o fenómenos. Por otra parte, la creación de modelos matemáticos no requiere significativos gastos materiales y la realización del propio proceso de modelación con ayuda de los modernos medios de cómputo permite efectuarla en un tiempo relativamente pequeño.

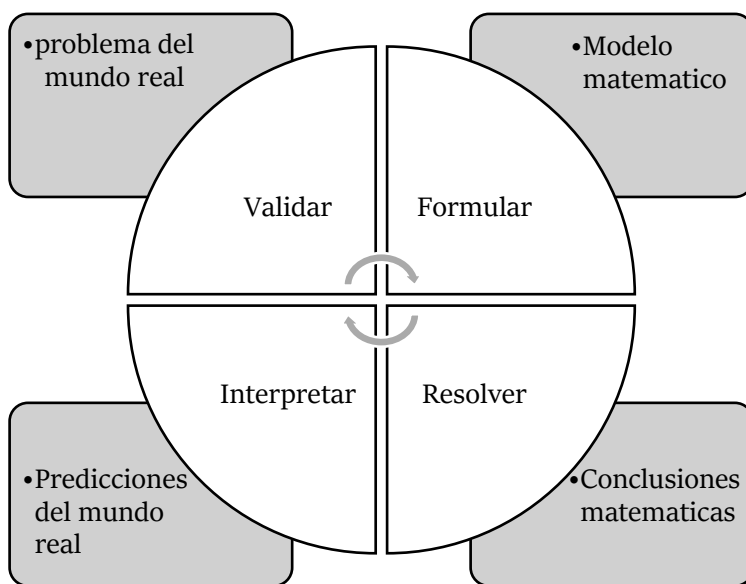


Figura 3. Diagrama del sistema de un modelo matemático (Brito, 2011).

5.3.1 Importancia de la modelación

El Modelo es una herramienta fundamental para representar las características esenciales del objeto que se investiga, ya que permite descubrir y estudiar nuevas relaciones o cualidades de ese objeto (Valle, 2009). Las modelaciones tienen distintos tipos de usos y funciones (Booch, 2012) de las que destacan las siguientes:

- Visualizar un sistema como deseamos que sea diseñado.
- Un modelo ayuda al equipo de trabajo a comunicar la visión del sistema que se está construyendo.
- Nos permite especificar la estructura y conducta del sistema.
- Un modelo permite documentar la estructura y conducta de un sistema antes de que sea codificado.
- Crea una plantilla que guía el proceso de construcción.
- Documenta las decisiones que hemos tomado.

- Los modelos son herramientas que apoyan al proyecto a largo plazo, ya que documentan las decisiones de diseño tomadas.

5.4 MODELACIÓN EN CUENCAS HIDROLÓGICAS

Como plantea el instituto interamericano de tecnología y ciencia del agua (2020) es una herramienta fundamental en la gestión sostenible de cuencas tanto urbanas como rurales (una cuenca es un territorio cuyas aguas fluyen todas a un mismo río, lago o mar). Por lo general, la modelación hidrológica involucra la identificación de subcuencas o unidades de respuesta hidrológica. Esto se hace con la ayuda de los sistemas de información geográfica. Típicamente, las fases del ciclo hidrológico (ver ilustración 6) se caracterizan para cada una de estas unidades y con ello se generan los datos de entrada de modelos dinámicos de simulación. Estos se utilizan para simular la respuesta de los procesos hidrológicos a cambios en las condiciones ambientales, por ejemplo, el incremento de la precipitación y la escorrentía, junto con la disminución de la infiltración a causa del crecimiento urbano. Los resultados típicamente se utilizan en la planeación y manejo de las obras hidráulicas, así como en el diseño de protocolos de protección civil (IAC, 2021).

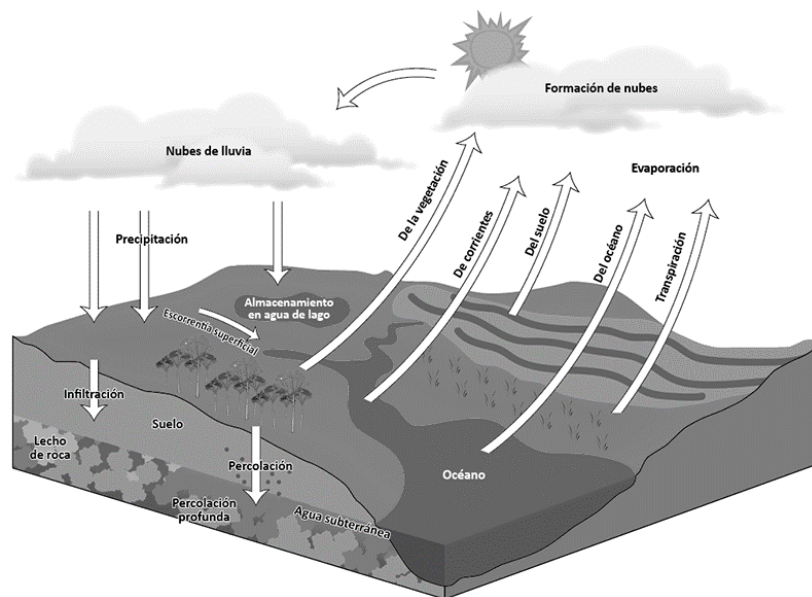


Ilustración 6. Ciclo hidrológico (IAC 2019).

5.5 MODELOS HIDROLÓGICOS

Las bases para comprender el ciclo hidrológico son los procesos e interrelaciones tanto superficiales y subterráneas. Los métodos y técnicas de medición de caudales y precipitaciones han evolucionado en el tiempo, también es cierto que otras componentes del ciclo hidrológico no han corrido la misma suerte pues se presentan bajo el suelo. La infiltración, la percolación profunda, el flujo subsuperficial, el flujo subterráneo, entre otros, son procesos que se miden usualmente de manera indirecta o remota, lo que conlleva a una fuerte incertidumbre respecto al funcionamiento del ciclo hidrológico. Bajo este marco, los modelos hidrológicos se presentan como

una necesidad y una herramienta para conocer mejor el funcionamiento y el comportamiento de las diferentes componentes del ciclo hidrológico (Cabrera, 2020).

Tabla 10. Clasificación de los modelos hidrológicos. Fuente: Adaptado de Singh (1988).

Modelo Hidrológico	Simbólico	No matemático					
		Matemático	Empírico	Lineal	Variable en el tiempo	Agregado	Determinístico
			Conceptual	No lineal	No variable en el tiempo	Semi	
						Distribuido	Estocástico
			Teórico	Distribuido			
		Material	Laboratorio				
			Análogo				

La salida de los modelos hidrológicos varía - dependiendo de las metas y objetivos del modelo. Algunos modelos se utilizan para predecir los totales mensuales de escorrentía, mientras que otros están diseñados para ver a las tormentas individuales. El resultado más común es el hidrograma de escurrimiento (IDEAM, 2020).

Según Vargas-Castañeda *et al*, (2015) los modelos lluvia escurrimiento que más se han aplicado son el SWAT y el HEC-HMS. Aunque su utilidad es para fines diferentes se puede decir, en general, que el SWAT modela a escala de tiempo diaria para el número de años que elijan los modeladores, y el HEC-HMS, generalmente se aplican en México por evento meteorológico extremo. Algo que ha hecho que estos modelos, puestos en software, sean ampliamente usados, es que son gratuitos y se pueden encontrar fácilmente foros de usuarios compartiendo y resolviendo sus dudas. También, actualizaciones a dicho software, son puestas a disposición de manera inmediata a su liberación.

5.6 MODELOS HIDRÁULICOS

Un modelo hidráulico es la construcción virtual de una red de distribución de agua, que permite reproducir y prever el comportamiento de la misma, para poder realizar pruebas y definir soluciones (EPSA, 2018).

Los modelos hidráulicos son importantes para comprender los patrones de flujo en sistemas acuáticos. Por ejemplo, un modelo hidrológico puede generar hidrogramas, pero es el modelo hidráulico el que le ayudará a calcular niveles de agua y velocidades en cualquier sección transversal sobre el río modelado. En análisis de inundaciones, los modelos hidráulicos permiten

trazar las profundidades del agua y las velocidades de tal manera que podrá evaluar los posibles daños y perjuicios. Diseñadores y operadores de infraestructura para la gestión del agua pueden usar modelos hidráulicos para evaluar el diseño bajo diferentes escenarios de funcionamiento y definir estrategias operacionales. En las zonas costeras y de estuarios, modelos hidráulicos pueden ayudar a entender los efectos de la marea en las velocidades de flujo y el transporte de sedimentos. Para proyectos relacionados con la calidad del agua, los modelos hidráulicos generan los datos necesarios para describir el transporte de las sustancias con el agua. Modelos hidráulicos juegan un papel importante en el suministro de información para la planificación, diseño, implementación y operación de los sistemas de alerta tempranas y sistemas de control en tiempo real (CERSA, 2020).

Según CERSA (2020) las aplicaciones de los modelos hidráulicos son:

- Análisis de inundaciones y diseño de estructuras de control.
- Evaluaciones de caudales mínimos y sequías.
- Optimización de la operación de estructuras hidráulicas (ej. embalses, compuertas, bombas).
- Análisis de ruptura de la presa.
- Transporte de sedimentos en ríos, canales, humedales, estuarios, zonas costeras, puertos y otros cuerpos de agua (en combinación con modelos de transporte de sedimentos).
- Estudios de morfología (en combinación con modelos de transporte de sedimentos).
- Estudios de intrusión salina (en combinación con modelos de calidad del agua).
- Estudios de calidad del agua y la ecología (en combinación con modelos de calidad del agua).
- Evaluación de impactos de vertimientos en corrientes superficiales.
- Diseño de sistemas de alerta tempranas para inundaciones y eventos de contaminación.
- Control en tiempo real de los sistemas de agua.
- Análisis de escenarios para la gestión de recursos hídricos.

Existen varios modelos hidráulicos vigentes en la *tabla 11* se describen algunos de ellos.

Tabla 11. Modelos hidráulicos vigentes.

Modelo	Componentes	Acceso
IBER	Modelo bidimensional para análisis de cauces	Público
Hec-Ras	Modelo unidimensional y bidimensional para flujo en ríos, transporte de sedimentos y calidad del agua	Público

Two-Dimensional Alluvial River and Floodplain Model (MIKE21 CHD & CST)	Modelo bidimensional para cauces	Privado
Two-Dimensional Floodplain Model (MIKE21 HD)	Modelo bidimensional para cauces	Privado
MOUSE - Urban Drainage and sewer model	Modelo utilizado en el análisis de drenaje urbano y alcantarillado	Privado
Full Equations Model (FEQ)	Modelo unidimensional para flujo en canales y estructuras	Público
Illinois Hydrodynamic Watershed Model III (IHW-III)	Modelo bidimensional basado en eventos	Público

El empleo de un modelo hidráulico implica establecer un programa definido de investigación experimental sobre todas las variables que intervienen, en forma particular o grupal. Lo anterior para poder verificar en su caso la validez de las soluciones analíticas de un problema dado, o entender las leyes de relación entre las diferentes variables (Vergara, 1993).

5.7 SELECCIÓN DEL MODELO

En el presente capítulo se presenta los criterios que se utilizaron para la selección de los modelos a utilizar en el proyecto de investigación.

A. Modelo hidrológico

El modelo hidrológico se seleccionó basándose en el análisis reportado por Ibáñez (2015), el cual consistió en analizar varios modelos hidrológicos de la siguiente manera:

- Aquellos que estén disponibles de manera gratuita y con foros abiertos de usuarios compartiendo sus dudas.
- Aquellos con fortaleza teórica-práctica.
- En los que estén disponibles los datos para alimentar y calibrar el modelo.

El resultado fue que los modelos lluvia-escorrentamiento mayormente utilizados en México son swat y hec-hms. Por tal motivo se selecciona el hec-hms como modelo propuesto para el SATI.

B. Modelo hidráulico

El modelo hidráulico bidimensional se seleccionó con base en:

- Su practicidad.
- El rendimiento del modelo.
- El costo.
- La adaptación a la zona de estudio.
- El producto final.

Para lo cual se seleccionó IBER como software aplicable dentro del SATI

5.7.1 Modelo hidrológico HEC-HMS V4.8

El modelo HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System) es un modelo lluvia-escorrentía, desarrollado por el Hydrologic Engineering Center HEC del U.S. Army Corps of Engineers USACE, que está diseñado para simular el hidrograma de escurrimiento que se produce en un determinado punto de la red fluvial como consecuencia de un episodio de lluvia. (Hani, 2018).

El HEC-HMS utiliza diagramas unitarios y el enfoque hidrológico que utiliza para deducir el volumen de escurrimiento que se tendrá a la salida de la cuenca, considerando los elementos del ciclo hidrológico (ver ilustración 7).

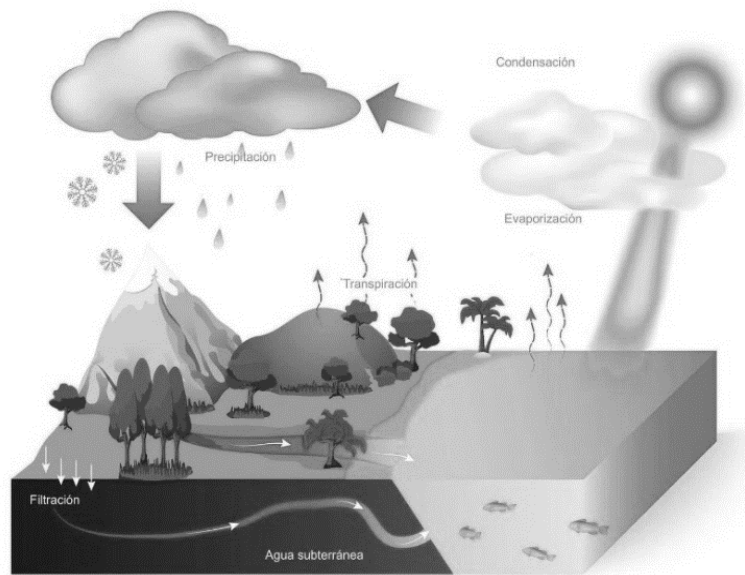


Ilustración 7. Ciclo hidrológico (Pinterest, 2020).

Las diversas fases de trabajo del programa pueden resumir como se muestra en la *figura 3*.

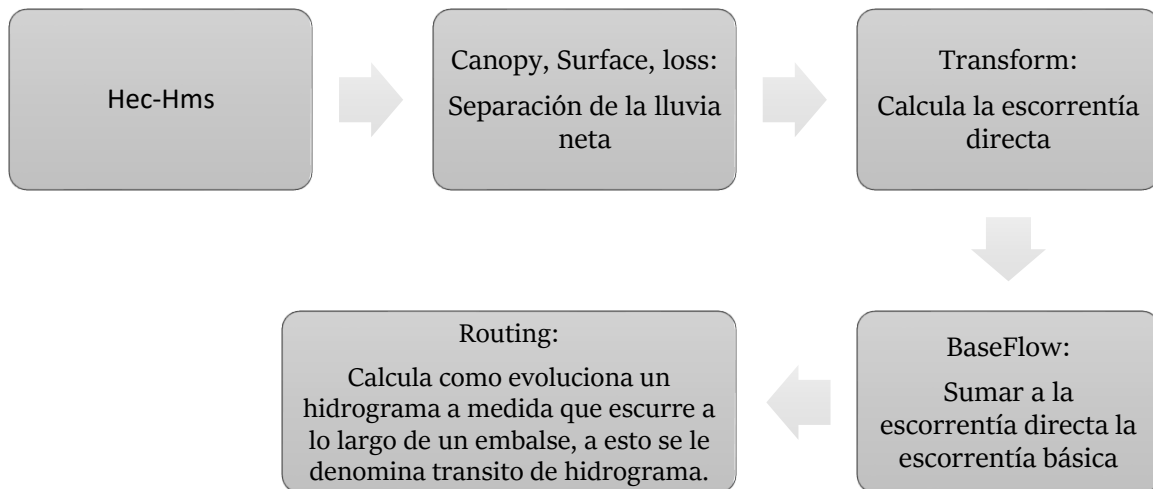


Figura 3. Esquematación para el tránsito de hidrograma de Hec-Hms (Manual Hec-Hms, 2020).

A. Componentes del modelo

Dentro del Proyecto se guardan todo tipo de datos de la cuenca o subcuencas que se encuentre analizando. Por ejemplo, precipitaciones, flujos base, números de curva, tiempos de retraso, etc. Los componentes básicos de un Proyecto son los siguientes:

Modelo de Cuenca (Basin Model). Anunciamos al programa que se analizaran las cuencas necesarias del proyecto a realizar.

Modelo meteorológico (Meteorological Model). Utiliza datos de precipitaciones (ver tabla 12), evapotranspiración, etc. y los asigna a las diversas subcuencas que se estén analizando.

Especificaciones de control (Control Specifications). Se le indica al programa cuando debe empezar a realizar los cálculos con su intervalo de tiempo.

Para crear el proyecto tenemos disponibles los siguientes elementos.

- **Cuenca (Basin).** Es la cuenca general del proyecto.
- **Subcuenca (subbasin).** Son subcuencas que se generaron en base a la cuenca general.
- **Cauces (reach).** Es el elemento para identificar el cauce o arroyo principal.
- **Confluencias (junction)** Es el caudal proveniente de uno o más elementos.
- **Almacenamiento (reservoir).** Modela la detención y atenuación de un hidrograma.
- **Tomas (diversion)** Es un elemento que considera el caudal derivado.
- **Fuentes (sources)** Este elemento introduce un caudal externo en la cuenca.
- **Salida (sink)** El elemento salida representa el caudal de salida de la cuenca.

En la siguiente tabla se describen los métodos de pérdida, transformación, precipitación y flujo base que contiene el hec-hms actualmente en su versión 4.8 (ver tabla 12).

Tabla 12. *Métodos de pérdida, transformación y flujo base.*

Pérdida	Transformación	Flujo base	Precipitación
Déficit y constante	Hidrograma unitario de Clark	Recesión limitada	Tormenta de frecuencia
Pérdida exponencial	Onda cinemática	Constante mensual	Calibración por peso
Verde y ampt	Modclark	Deposito lineal	Precipitación cuadriculada
Constante de déficit cuadrículado	Hidrograma unitario de Snyder	Boussinesq no lineal	Inverso a la distancia
Número de curva SCS en cuadrícula	Hidrograma unitario SCS	Recesión	Tormenta SCS
Humedad del suelo reticulado	S-Graph especificada por el usuario		Tormenta HMR 52
Inicial y constante	Hidrograma especificado por el usuario		Tormenta hipotética
Capas de verde y ampt			Hietograma específico
Número de curva SCS			Tormenta de proyecto estandar
Smith parlange			
Contabilidad de la humedad del suelo			

Creación propia con información del manual de hec-hms.

Para la investigación realizada se aplicaron los métodos siguientes: para el método de pérdida se trabajó el método de número de curva (SCS), para el método de transformación se utilizó el método de hidrograma unitario (SCS), para el método de precipitación se utilizó el método de hietograma específico. No se utilizó ningún método de flujo base para este proyecto.

B. Método del número de curva

Número de Curva (CN) es el nombre de un método para calcular las abstracciones, dada la precipitación de un evento de tormenta. Este método fue desarrollado en 1972 por el entonces Servicio de conservación de suelo (1972), hoy Servicio de Conservación de Recursos Naturales, de Estados Unidos. Dada una tormenta, es posible obtener la escorrentía directa al descontarle a aquella las abstracciones producidas, particularmente, por infiltración. Dicho descuento depende de tres factores: (a) la textura del suelo, (b) el uso de suelo y la cobertura, y (c) la condición

antecedente de humedad en el suelo. El valor del CN (adimensional), que entra directamente en el cómputo de la precipitación efectiva, depende de los tres factores mencionados. Los dos primeros son factores estáticos o de variación lenta. El tercero tiene una dinámica más pronunciada ya que depende de la humedad de suelo antecedente, es decir, la condición existente previamente al inicio de la tormenta a analizar. El producto desarrollado cuantifica el CN considerando la condición antecedente de humedad a través del llamado Índice de Precipitación Antecedente (API), publicado también en el geocatálogo (CONAE, 1999). CN varía en el rango teórico entre 0 y 100 (no es un porcentaje), si bien es difícil que sea menor que 20 y que alcance valores de 100 (suelo totalmente impermeable).

Para el desarrollo del número de curva toma como función las siguientes variables:

- La precipitación antecedente.
- El uso de suelo y vegetación.
- La cobertura del suelo.
- Edafología.
- Hidrología.

La metodología para obtener el número de curva (CN) surgió de la observación de infiltración en distintos tipos de suelos y texturas, lo cual permitió obtener una serie de curvas que fueron estandarizadas a partir de un número adimensional de curva que varía de 1 a 100, según sea el grado de escurrimiento directo. Así un número de curva 100 nos indica que todo lo que precipita escurre y un número de curva de 1 indica que todo lo que precipita se infiltra.

Para determinar el CN se inicia con el planteamiento de la ecuación de conservación de la masa:

$$P = P_e + I_a + F_a \quad \text{Ec. 1.}$$

En donde P es la precipitación total que cae en la unidad hidrológica, P_e es la precipitación que se convierte en escorrentía directa, I_a es la abstracción de lluvia inicial y F_a es la cantidad de lluvia infiltrada.

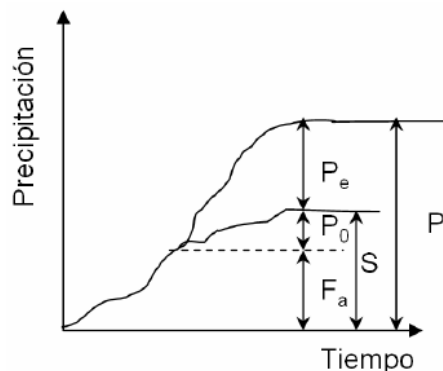


Figura 4. Esquema del modelo conceptual del número de Curva (USDA SCS).

Para realizar la determinación de cuanto es lo que escurre y lo que infiltra es necesario aplicar la siguiente formula:

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a} \quad \text{Ec. 2.}$$

Para poder establecer la proporcionalidad de la infiltración en base a la capacidad potencial de infiltración del suelo, de igual manera el exceso a la cantidad de agua capaz de producir escurrimiento. Se obtiene este último quitando la abstracción inicial del suelo a analizar.

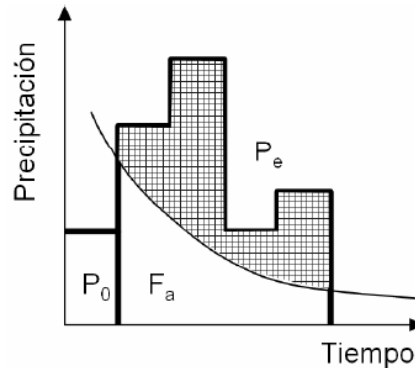


Figura 5. Variables del método del curva número de SCS.

Se combinan las dos fórmulas anteriores para poder eliminar F_a quedando la siguiente fórmula:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad \text{Ec. 3.}$$

Los estudios realizados en campo han dado como resultado que en una infiltración inicial existe un promedio de 20% de la capacidad potencial de infiltración. Por lo cual obtenemos un análisis en la siguiente expresión:

$$I_a = 0.2S \quad \text{Ec. 4.}$$

De esta manera la ecuación anterior no depende de I_a pero si de S (retención potencial máxima), dado que encontrar el número de curva se vuelve complicado la SCS decidió transformarlo en porcentajes sobre la máxima y la mínima capacidad de infiltración. A continuación, se presenta el nomograma (ver figura 6) que describe las curvas de relación de precipitación que conformar el modelo de CN.

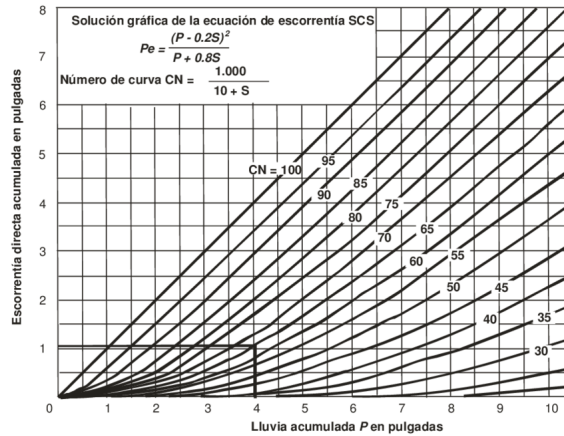


Figura 6. Solución gráfica de la ecuación de escorrentía del SCS (Ven Te, 1984).

La relación entre CN y S se expresa de la siguiente manera:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad \text{Ec. 5.}$$

Las condiciones de humedad antecedentes determinan un ajuste en el suelo para condiciones húmedas o secas según sea el caso.

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)} \quad \text{Ec. 6.}$$

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)} \quad \text{Ec. 7.}$$

Donde:

- CN (I): Condiciones de terreno seco.
- CN (II): Condiciones de terreno normal.
- CN (III): Condiciones de terreno húmedo.

C. Hidrograma unitario

Este método es uno de lo más utilizado en hidrología, para la determinación del caudal producido por una precipitación, en una determinada cuenca hidrográfica. Según Aparicio (1987) El Método del hidrograma unitario fue desarrollado originalmente por Sherman (1932) está basado en la siguiente hipótesis:

- a) Tiempo base constante. Para una cuenca dada la duración total de escurrimiento directo o tiempo base es la misma para todas las tormentas con la misma duración de lluvia efectiva, independientemente del volumen total escurrido. Todo hidrograma unitario está ligado a una duración de la lluvia en exceso.
- b) Linealidad o proporcionalidad. Las ordenadas de todos los hidrogramas de escurrimiento directo con el mismo tiempo base son directamente proporcionales al volumen total de escurrimiento directo, es decir, al volumen total de lluvia efectiva. Como consecuencia, las ordenadas de dichos hidrogramas son proporcionales entre sí.

- c) Superposición de causas y efectos. El hidrograma que resulta de un período de lluvia dado puede superponerse a hidrogramas resultantes de períodos lluviosos precedentes.

Un hidrograma unitario es un hidrograma ($Q = f(t)$) resultante de un escurrimiento correspondiente a un volumen unitario (1 cm, mm, pulgada, etc. de lluvia por la cuenca) proveniente de una lluvia con una determinada duración y determinadas características de distribución en la cuenca hidrográfica. Se admite que los hidrogramas de otras lluvias de duración y distribución semejantes presentarán el mismo tiempo base, y con ordenadas de caudales proporcionales al volumen de fluido. Se puede construir un hidrograma unitario a partir de los datos de precipitación y de caudales referentes a una lluvia de intensidad razonablemente uniforme y sin implicaciones resultantes de lluvias anteriores o posteriores (Linsley, 2019).

5.7.2 Modelo hidráulico IBER V2.5.2

En un trabajo reciente sobre la descripción del software Iber Benayas (2019) describe que es un modelo matemático bidimensional para la simulación de flujos en ríos y estuarios, promovido por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX en el marco de un Convenio de Colaboración suscrito entre el CEDEX y la Dirección General del Agua, y desarrollado en colaboración con el Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente (GEAMA), el Grupo FLUMEN (de la Universidad Politécnica de Catalunya y de la Universidad de Barcelona) y el Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE).

Según Benayas (2019) el programa Iber es un modelo numérico que sirve para resolver problemas de ingeniería hidráulica y dinámica fluvial como:

- Simulación del flujo en lámina libre en cauces naturales.
- Evaluación de zonas inundables.
- Cálculo de las zonas de flujo preferente.
- Cálculo hidráulico de encauzamientos.
- Cálculo hidráulico de redes de canales en lámina libre.
- Cálculo de corrientes de marea en estuarios.
- Estabilidad de los sedimentos del lecho.
- Procesos de erosión y sedimentación por transporte de material granular.
- Diseño de encauzamientos y obras de protección.
- Restauración de ríos.
- Planes de emergencia en roturas de presa.
- Optimización y diseño de obras hidráulicas (bocatomas, partidores, etc.).
- Dinámica fluvial, estudio de ríos.
- Evaluación y la gestión del riesgo de inundación.
- Flujo en estuarios o desembocaduras.
- Drenaje urbano, flujo en calles, captaciones y derivaciones.
- Diseño de puentes, dimensionamiento hidráulico, por mencionar.

Iber es un modelo bidimensional que ofrece grandes ventajas respecto a los cálculos con modelos unidimensionales, ya sean en régimen variable o en régimen permanente, dando una mayor estabilidad y convergencia que los anteriores. Además de esto, los modelos bidimensionales son

capaces de simular con mayor ajuste a la realidad todas aquellas situaciones en que el flujo no es exclusivamente unidireccional, ampliándose por tanto enormemente su campo de utilización.

El modelo en su módulo hidrodinámico resuelve las ecuaciones del flujo en lámina libre para aguas poco profundas (ecuaciones de St. Venant 2D). Además de esto, tanto en el módulo hidrodinámico como en el de turbulencia y el de sedimentos, se resuelven las ecuaciones en forma integral por el método de volúmenes finitos en una malla no-estructurada, con todas las ventajas que ello conlleva. Con todas estas características se convierte hoy en día en un potente software libre de modelización hidráulica, siendo además continuamente mejorado y actualizado, permitiendo realizar todos aquellos cálculos que en una dimensión no se realizan correctamente, y dando estabilidad numérica al régimen variable (Manual de Iber,2018).

A. Modulo hidrodinámico

De acuerdo en los descrito por Vázquez-Rendon (2014) el tipo de flujo que estamos interesados en estudiar son los de agua poco profunda, es decir, aquellos en los que las medidas horizontales son mucho mayores que las verticales. En este conjunto de fluidos se ubican los ríos en planicies, presas o lagunas. Algunas de las hipótesis más importantes consideradas para la deducción del modelo de Saint-Venant son las siguientes:

- La pendiente del fondo es pequeña.
- El movimiento principal de partículas ocurre en planos horizontales.
- Las fuerzas de masa que actúan son la gravedad en dirección vertical y la fuerza de Coriolis en el plano horizontal.
- La curvatura de las líneas de corriente es pequeña, por lo que la distribución de la presión se considera hidrostática.

En el módulo hidrodinámico se resuelven las ecuaciones de Saint Venant 2D de conservación de masa y de momento en dos direcciones:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0, \quad \text{Ec. 8.}$$

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(hu^2 + \frac{1}{2}gh^2 \right) + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = Cvh + \frac{t_{sx}}{\rho} + gh(S_{0x} - S_{fx}) + S_{t1} ,$$

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \left(hu^2 + \frac{1}{2}gh^2 \right) = -Cuh + \frac{t_{sy}}{\rho} + gh(S_{0y} - S_{fy}) + S_{t2} \quad \text{Ec. 9.}$$

Donde:

h = Profundidad del fluido.

uv = Son los componentes del vector (velocidad en las direcciones X y Y).

g = Gravedad.

C = Coriolis.

t_{sx} y t_{sy} = Están asociados al efecto del viento en la superficie del fluido.

Los términos $S_{0x} = -\partial z / \partial x$ y $S_{0y} = -\partial z / \partial y$ miden la pendiente del terreno en las direcciones X y Y respectivamente.

Las expresiones:

$$S_{t1} = \frac{\partial}{\partial x} \left(2v_t h \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(v_t h \left[\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right] \right)$$

$$S_{t2} = \frac{\partial}{\partial x} \left(v_t h \left[\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right] \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(2v_t h \frac{\partial u}{\partial x} \right) \quad \text{Ec. 10.}$$

Representan los efectos turbulentos del flujo, siendo v_t la viscosidad turbulenta. La forma vectorial del modelo de Saint-Venant simplifica mucho la notación para el tratamiento numérico, dando la siguiente ecuación:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial F_1}{\partial x} + \frac{\partial F_2}{\partial y} = G \quad \text{Ec. 11.}$$

Donde:

$$U = \begin{pmatrix} h \\ hu \\ hv \end{pmatrix}, F_1 = \begin{pmatrix} hu \\ hu^2 + \frac{1}{2}gh^2 \\ huv \end{pmatrix}, F_2 = \begin{pmatrix} hv \\ huv \\ hu^2 + \frac{1}{2}gh^2 \end{pmatrix} \quad \text{Ec. 12.}$$

Solución de modelo de Saint-Venant vía volúmenes finitos

$$G = \begin{pmatrix} Cvh + \frac{t_{sx}}{\rho} gh(S_{0x} - S_{fx}) + S_{t1} \\ -Cuh + \frac{t_{sy}}{\rho} gh(S_{0y} - S_{fy}) + S_{t2} \end{pmatrix} \quad \text{Ec. 13.}$$

Son necesarias condiciones iniciales y de contorno para la resolución del sistema de Saint-Venant, aunque en situaciones generales no existe solución analíticas del problema, recurrimos a usar métodos numéricos.

A. Malla

La malla del cálculo es un elemento fundamental para conseguir buenos resultados. IBER contiene varias maneras de crear estas mallas y en función de las características del proyecto, un tipo de malla será mejor que otro. Las mallas están conformadas por triángulos, la geometría con la que trabaja IBER para generar la malla de cálculo se basa en tres entidades básicas que son: Puntos, líneas y superficies. La combinación de estos elementos es suficiente para definir una geometría que permita crear cualquier modelo bidimensional discretizando en un conjunto de superficies planas.

B. Condiciones de contorno

En un problema bidimensional es necesario distinguir entre dos tipos de contornos, abiertos o cerrados. También llamados contornos de tipo de pared, no permitiendo el paso del fluido a través de ellas. Se asignan las condiciones de contorno para la entrada del modelo donde se cargan los hidrogramas unitarios. De la misma manera cuenta con condiciones de salida (ver *tabla 13*).

Tabla 13. Condiciones de frontera abiertas implementadas (IBER, 2015).

Frontera	Caudal	Régimen	Condición impuesta
Entrada	Caudal total	Subcrítico/Crítico	Caudal total en dirección normal a la frontera
		Supercrítico	Caudal total en dirección normal a la frontera y velocidad media
	Caudal específico	Subcrítico/Crítico	Caudal específico en dirección normal a la frontera
		Supercrítico	Caudal específico en dirección normal a la frontera y al tirante
			Caudal específico en dirección normal a la frontera y a la cota del agua
Salida	Subcrítico		Tirante
			Cota del agua
			Vertedor (cota y coeficiente de descarga)
			Curva de gasto
	Supercrítico/Crítico	No es necesario imponer condición alguna	

C. Rugosidad

Se asigna a través de un coeficiente de rugosidad de Manning, y debe de ser asignado a toda la superficie de la geometría de la malla. Este coeficiente puede ir variando en distintas áreas de la malla. Es un índice el cual determina la resistencia de un flujo al discurrir sobre un canal o cauce. IBER permite asignar la rugosidad al modelo de dos formas distintas: Manual y automática. IBER contiene una base de datos con usos del suelo y su correspondiente valor de Manning.

D. Asignación de uso de suelo

La asignación de un área de uso de suelo y vegetación se realiza de manera automática mediante un archivo ASCII (.txt) o de manera manual, seleccionando áreas con los valores predeterminado que ya tiene Iber. De igual manera estos valores se pueden modificar a comodidad del usuario.

E. Datos del problema

Para poder realizar la modelación IBER solicita los instantes iniciales del cálculo, el tiempo máximo de simulación y los intervalos de tiempo que irán en crecimiento conforme avance el cálculo.

5.8 AJUSTE DE CALIBRACIÓN

El coeficiente de calibración determinara la presión de la modelación con respecto a los valores reales observados que fueron obtenidos en campo, para realizar la calibración se determinaron 3 coeficientes de error: Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE), Raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE) y R-cuadrada (R^2).

A. Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE)

La eficiencia de Nash-Sutcliffe se calcula como uno menos la razón de la varianza del error de la serie de tiempo modelada dividida por la varianza de la serie de tiempo observada. En la situación de un modelo perfecto con una varianza del error de estimación igual a cero, la Eficiencia de Nash-Sutcliffe resultante es igual a 1 ($NSE = 1$). Por el contrario, un modelo que produce una varianza de error de estimación igual a la varianza de la serie de tiempo observada da como resultado una Eficiencia de Nash-Sutcliffe de 0 ($NSE = 0$). En realidad, $NSE = 0$ indica que el modelo tiene la misma habilidad predictiva que la media de la serie de tiempo en términos de la suma del error al cuadrado. En el caso de una serie de tiempo modelada con una varianza del error de estimación que es significativamente mayor que la varianza de las observaciones, la NSE se vuelve negativa. Una eficiencia menor que cero ($NSE < 0$) ocurre cuando la media observada es un mejor predictor que el modelo. Los valores de la NSE más cercanos a 1, sugieren un modelo con más habilidad predictiva. Varios autores han sugerido la aplicación subjetiva de diferentes valores de NSE como umbrales de suficiencia. Para la aplicación de NSE en procedimientos de la eficiencia de Nash-Sutcliffe es equivalente al coeficiente de determinación (R^2), por lo que varía entre 0 y 1. Sutcliffe, (1970)

La fórmula para calcular NSE se define como:

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_{mean})^2} \right] \quad Ec. 14.$$

Donde:

NSE= El Índice de Eficiencia de Nash-Sutcliffe.

Y_{iobs} = Es la observación del componente evaluado.

Y_{isim} = Es el valor simulado para el constituyente evaluado.

Y_{mean} = Es la media de los datos observados para el constituyente que se evalúa.

n = Es el número total de observaciones.

i = Número de observación.

Los valores referenciales para el Nash-Sutcliffe son (ver tabla 14):

Tabla 14. Valores referenciales del criterio de Nash-Sutcliffe.

E	Ajuste
<0.2	Insuficiente
0.2-0.4	Satisfactorio
0.4-0.6	Bueno
0.6-0.8	Muy bueno
>0.8	Excelente

A. Raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE)

El error cuadrático medio (RMSE) mide la cantidad de error que hay entre dos conjuntos de datos. En otras palabras, compara un valor predicho y un valor observado o conocido. También se lo conoce como Raíz de la Desviación Cuadrática Media y es una de las estadísticas más utilizadas en SIG.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{sim} - Q_i)^2}{n}} \quad \text{Ec. 15.}$$

Donde:

Q_{sim} = Valor predicho.

Q_i = Valor observado.

n = Tamaño de la muestra.

La RMSE es siempre no negativa, y un valor de 0 (casi nunca alcanzado en la práctica) indicaría un ajuste perfecto a los datos. En general, una RMSE más baja es mejor que una más alta. Sin embargo, las comparaciones entre diferentes tipos de datos no serían válidas porque la medida depende de la escala de los números utilizados.

B. R-Cuadrado

El R-cuadrado es una medida estadística de qué tan cerca están los datos de la línea de regresión ajustada. También se conoce como coeficiente de determinación, o coeficiente de determinación múltiple si se trata de regresión múltiple. Es importante saber que el resultado del coeficiente de determinación oscila entre 0 y 1. Cuanto más cerca de 1 se sitúe su valor, mayor será el ajuste del modelo a la variable que estamos intentando explicar. De forma inversa, cuanto más cerca de cero, menos ajustado estará el modelo y, por tanto, menos fiable será.

$$R^2 = \frac{\sigma^2_{XY}}{\sigma^2_X \sigma^2_Y} \quad \text{Ec. 16.}$$

Donde:

σ_{XY} = Es la covarianza de (X, Y)

σ^2_X = Es la varianza de la variable X

σ^2_Y = Es la varianza de la variable Y

5.9 COEFICIENTES DE CORRELACIÓN

El coeficiente de correlación es la medida específica que cuantifica la intensidad de la relación lineal entre dos variables en un análisis de correlación. Para dos variables, la fórmula compara la distancia de cada dato puntual respecto a la media de la variable y utiliza esta comparación para decirnos hasta qué punto la relación entre las variables se ajusta a una línea imaginaria trazada entre los datos. A esto nos referimos cuando decimos que la correlación examina las relaciones lineales y analiza. La correlación sólo se refiere a las dos variables dadas y no aporta información sobre las relaciones más allá de los datos bivariados. Esta prueba no puede detectar valores atípicos en los datos (y por tanto estos sesgan los resultados) y tampoco puede detectar correctamente las relaciones curvilíneas (Butler, 1985).

A. Coeficiente de Karl Pearson

El coeficiente de correlación de Pearson es una prueba que mide la relación estadística entre dos variables continuas. Si la asociación entre los elementos no es lineal, entonces el coeficiente no se encuentra representado adecuadamente. Se puede tomar un rango de valores de +1 a -1. Un valor de cero indica que no hay asociación entre las dos variables. Un valor mayor que cero indica una asociación positiva. Es decir, a medida que aumenta el valor de una variable, también lo hace el valor de la otra. Un valor menor que cero indica una asociación negativa; es decir, a medida que aumenta el valor de una variable, el valor de la otra disminuye (Garzón 2013).

Para llevar a cabo la correlación de Pearson es necesario cumplir lo siguiente:

- La escala de medida debe ser una escala de intervalo o relación.
- Las variables deben estar distribuida de forma aproximada.
- La asociación debe ser lineal.
- No debe haber valores atípicos en los datos.

La fórmula del coeficiente de correlación de Pearson es la siguiente:

$$r_{xy} = \frac{\sum z_x z_y}{N} \quad \text{Ec. 17.}$$

Donde:

x = Es igual a la variable número uno.

y = Pertenece a la variable número dos.

z_x = Es la desviación estándar de la variable uno.

z_y = Es la desviación estándar de la variable dos.

N = Es número de datos.

Los parámetros de Pearson son los siguientes:

Tabla 15. Valores de parámetro Pearson.

Valor	Significado
0	Correlación nula

0,01 a 0,19	Correlación positiva muy baja
0,2 a 0,39	Correlación positiva baja
0,4 a 0,69	Correlación positiva moderada
0,7 a 0,89	Correlación positiva alta
0,9 a 0,99	Correlación positiva muy alta
1	Correlación positiva grande y perfecta

A. Coeficiente de Kendall

Concordancia de Kendall (W), ofrece el valor que posibilita decidir el nivel de concordancia entre los expertos. El valor de W oscila entre cero y uno. El valor de uno significa una concordancia de acuerdos total y el valor de cero un desacuerdo total. La tendencia a uno es lo deseado pudiéndose realizar nuevas rondas si en la primera no es alcanzada significación en la concordancia (Nelsen, 2001).

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12}K^2(N^3 - N) - K \sum Li} \quad \text{Ec. 18.}$$

Donde:

w = coeficiente de concordancia de Kendall.

S = suma de los cuadrados de las diferencias observadas con respecto a un promedio.

N = Tamaño de la muestra en función del número de triplete, tetraplete, quintuplete, etc.

K = número de variables incluidas.

Li = sumatoria de las ligas o empates entre los rangos.

Los parámetros del coeficiente de Kendall son los siguientes:

Tabla 16. Valores de parámetro Kendall.

Valor	Significado
0	Correlación nula
0,01 a 0,19	Correlación positiva muy baja
0,2 a 0,39	Correlación positiva baja
0,4 a 0,69	Correlación positiva moderada
0,7 a 0,89	Correlación positiva alta
0,9 a 0,99	Correlación positiva muy alta

1	Correlación positiva
---	----------------------

B. Coeficiente de Spearman

El coeficiente de correlación de Spearman es una medida no paramétrica de la correlación de rango (dependencia estadística del ranking entre dos variables). Se utiliza principalmente para el análisis de datos. Mide la fuerza y la dirección de la asociación entre dos variables clasificadas. Pero antes de hablar de la correlación de Spearman, es importante entender la correlación de Pearson, la cual es una medida estadística de la fuerza de una relación lineal entre datos emparejados (Barreto, 2011).

$$rR = 1 - \frac{6\sum_i d_i^2}{n(n^2-1)} \quad \text{Ec. 19.}$$

n= número de puntos de datos de las dos variables.

d= diferencia de rango del elemento “n”.

rR = Medida de correlación.

Los parámetros del coeficiente de Spearman (ver tabla 17):

Tabla 17. Valores de parámetro Spearman.

Valor	Significado
Perfecta	R = 1
Excelente	R = 0.9 < = < R = 1
Buena	R = 0.8 < = < R = 0.9
Regular	R = 0.5 < = < R = 0.8
Mala	R = < 0.5

5.10 TEST DE NORMALIDAD

Las pruebas de normalidad se utilizan para determinar si un conjunto de datos está bien modelado por una distribución normal y para calcular la probabilidad de que una variable aleatoria subyacente al conjunto de datos se distribuya normalmente

1. Shapiro-Wilk

se usa para contrastar la normalidad de un conjunto de datos. Se plantea como hipótesis nula que una muestra x_1, \dots, x_n proviene de una población normalmente distribuida. Fue publicado en 1965 por Samuel Shapiro y Martin Wilk. Se considera uno de los test más potentes para el contraste de normalidad (Wilk, 1965).

El estadístico del test es:

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{Ec. 20.}$$

La hipótesis nula se rechazará si W es demasiado pequeño. El valor de W oscila entre cero y uno.

2. Cramer-Von Mises

Se emplea para juzgar la bondad de una función de distribución acumulada F^* comparada con una función de distribución empírica F_n , o para comparar dos distribuciones empíricas. También se utiliza como parte de otros algoritmos, tal como la estimación de la distancia mínima (Ruyngaert, 1980), Se define como:

$$w^2 \int_{-\infty}^{\infty} [F_n(x) - F^*(x)]^2 dF^*(x) \quad \text{Ec. 21.}$$

3. Chi-Cuadrado de Pearson

Es otra distribución de gran importancia en estadística, que fue descubierta por helmet (1876), pero cayó en el olvido hasta que en 1900 fue descubierta de nuevo por pearson. Se considera una prueba no paramétrica que mide la discrepancia entre una distribución observada y otra teórica (bondad de ajuste), indicando en qué medida las diferencias existentes entre ambas, de haberlas, se deben al azar en el contraste de hipótesis. También se utiliza para probar la independencia de dos variables entre sí, mediante la presentación de los datos en tablas de contingencia (Lehmann, 1964), la fórmula que da el estadístico es la siguiente:

$$\chi^2 = \sum \frac{(\text{Observada}_i - \text{Teórica}_i)^2}{\text{Teórica}_i} \quad \text{Ec. 22.}$$

Cuanto mayor sea el valor de chi cuadrado, menos verosímil es que la hipótesis nula (que asume la igualdad entre ambas distribuciones) sea correcta. De la misma forma, cuanto más se aproxima a cero el valor de chi-cuadrado, más ajustadas están ambas distribuciones.

5.11 SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE INUNDACIONES EN EL MUNDO

La Asamblea General de las Naciones Unidas ha promovido siempre los esfuerzos para integrar la alerta temprana como un componente esencial de la reducción de desastres por inundaciones. La importancia crucial de la alerta temprana fue validada nuevamente por el Equipo de Tareas Interinstitucional de la EIRD, que identificó la alerta temprana como un área prioritaria para su trabajo y creó un grupo de trabajo sobre alerta temprana desde 2000. Los Sistemas de Alerta Temprana contra inundaciones (SATI) es una herramienta valiosa que permite salvar vidas y proteger los bienes, especialmente de las personas más vulnerables y puede ser utilizada para diferentes eventos como inundaciones, sismos, volcanes, etc. El estudio busca identificar, clasificar y describir los principales tipos de SATI ante inundaciones de la región América Latina. Se realizó un análisis comparativo de los cuatro componentes en los 21 casos de SATI a fin de poder conocer

el peso o inclusión de ellos, en el diseño e implementación de los SATI. Se observa que el mayor peso se da en el componente de monitoreo y alerta (95%), así como en el de difusión y comunicación (90%) evidenciando una tendencia global en el peso y orientación que se le viene dando a la tecnología y la inclusión de las redes sociales (UNESCO-CEPRENAC, 2014).

De acuerdo a la modalidad de operación de la UNESCO (2000) se han desarrollado 3 modalidades de operación que se describen en la siguiente (ver tabla 18).

Tabla 18. Modalidades de operación de un SATI (UNESCO, 2000)

Tipo	Característica
SATI modelo comunitario	Se caracteriza por una participación activa de la población en el monitoreo local haciendo uso de instrumentos artesanales (limnímetros reglas hidrométricas y sensores) para monitorear el nivel del río. Este es el modelo al que se ha dado mayor énfasis en fomentar la capacidad de respuesta de la población. Las ventajas de este modelo son que implica una participación activa de la población; la tecnología utilizada suele ser de menor costo, pero su implementación va a depender del tipo de inundación; y la tendencia es a un menor uso de esta modalidad
SATI centralizado o instrumental	Se caracteriza porque emplean o dependen del monitoreo automatizado o convencional, la tendencia es a un mayor uso de esta modalidad, se requiere un fuerte compromiso de las autoridades por sus elevados costos, el alto componente tecnológico demanda un buen nivel de capacitación de los operadores, pero el riesgo es la rotación de este personal; además con esta modalidad suele existir poca participación de la población en riesgo y una dependencia de insumos y tecnología externa
SATI mixto	Se caracteriza porque emplean instrumental automatizado y monitoreo local por medio de limnímetros-reglas hidrométricas o sensores. Pero su implementación va a depender del tipo de inundación

Diferentes tipos de sistemas de alerta temprana contra inundaciones se encuentran distribuidas alrededor de diversos países a continuación se describen algunas de las más importantes que hasta la actualidad siguen operando (ver tabla 19).

Tabla 19. SATH en el mundo (Roblero, 2018).

País	Descripción
Centro América	Sistema de Guía de Crecidas Repentinias para Centro América, basado principalmente en datos satelitales
China	El sistema está diseñado para proporcionar una plataforma operativa para la predicción inmediata de fenómenos meteorológicos de convección violenta, incorporando datos de la nueva generación de radares Doppler de China, de estaciones meteorológicas automáticas (EMAs), satélite y salidas de modelos numéricos
Argentina	Sistemas de alerta temprana y medidas de prevención, Santa Fe, Argentina, el sistema de monitoreo se basa en estaciones meteorológicas suburbanas propias,

	imágenes satelitales SMN e imágenes de satélite GOES alta resolución y niveles en el río Salado
Colombia	Implementación de SAT en el Municipio de Santa María” a iniciativa de la unidad de gestión de riesgos de desastres y del consejo departamental del Huila, el monitoreo se realiza mediante revisión directa y comunicación con radios portátiles a una base del municipio
Nicaragua	Sistema de Alerta Temprana ante inundaciones en la subcuenca del río Estelí, cuenca alta del río Coco, Nicaragua, se recolecta información de lluvia y niveles del río a una base central para emitir los pronósticos
Perú	Sistema de alerta temprana ante amenazas fluvio-glaciares en la cuenca del río Chucchun, Perú, el sistema funciona en base a mecanismos y procedimientos de detección temprana de fenómenos naturales
Panamá	Inventario y caracterización de los Sistemas de Alerta Temprana Panamá. Existe a nivel nacional dos SAT ante inundaciones, el SAT Mixto de (Río Chagres Lago Alajuela) operado por la ACP y comunidades de Guayabalito y Santa Rosa; y el SAT Centralizado de Río Cabra operado por ETESA. Además, se concluye que existen cuatro (4) sistemas de monitoreo y observación (Bayano, San Miguelito, Tsunami, Volcán Barú); seis (6) sistemas de comunicación (Río Changuinola, Sixaola, Varadero, Quebró, Chucunaque, y Mamoní); tres (3) sistemas de monitoreo y comunicación (río Pacora, Río Indio y río Chiriquí Viejo)

A. Conceptos importantes sobre un sistema de alerta temprana para inundaciones

De acuerdo con la Oficina de Desarrollo Sostenible de la Organización de los Estados Americanos (OEA) un sistema de alerta temprana contra inundaciones está conformado por un amplio número de conceptos que complementan el manejo y funcionamiento del sistema. A continuación, se describen algunos aspectos primordiales:

- Red hidrometeorológica.
- Pronóstico meteorológico.
- Monitoreo continuo de las condiciones hidrológicas y meteorológicas.
- Tipos de pronóstico adecuados para cada área y evento.
- Análisis hidrológicos: umbrales de alerta, tiempos de tránsito, correlación de niveles y comportamiento de cuencas.
- Análisis de riesgo y vulnerabilidad: Áreas de inundación, Procedimientos de Operación, protocolos y procedimientos de comunicación y emergencia
- Procedimientos para protocolos de emergencia.
- Mapas de peligro.

5.12 SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA CONTRA INUNDACIONES EN MÉXICO

En el caso de México, cada año llegan al país un promedio de 30 huracanes, de los cuales, cuatro a cinco penetran y causan graves daños, así como traen grandes beneficios, en cuando al movimiento del agua en las regiones del país. Por otro lado, las lluvias intensas y las consecuentes inundaciones y deslaves se presentan también de forma independiente de la temporada de ciclones

y son resultado de las tormentas generadas en la época de lluvias. Los daños de estos fenómenos hidrometeorológicos representan en promedio 4,500 millones de pesos anuales (Baró-Suárez et al., 2005). Actualmente México posee 8 sistemas de alerta contra eventos hidrometeorológicos, las cuales se encuentran distribuidas en: Nuevo León, Tabasco, Tijuana, Veracruz, Chiapas, Guerrero, Edo. De México y Baja California Norte (ver ilustración 8).



Ilustración 8. Distribución de SATH en México (CENAPRED 2019).

6. MATERIALES Y MÉTODOS

En este apartado se describen los materiales y métodos a utilizar, se realizó la propuesta para elaborar un SATI basado en información de precipitación diaria, se configuró el modelo hidrológico e hidráulico para la subcuenca del río Yautepec, con el fin de determinar los hidrogramas que se presentan por el fenómeno precipitación escurrimiento y con ello determinar los hidrogramas que se transitan con un modelo hidráulico en el municipio de Yautepec, Morelos, logrando con ello identificar las zonas de alto peligro de inundación.

6.1 MATERIALES

En este capítulo se presentan los materiales que se utilizaron para realizar el proyecto de investigación, los cuales constan de una revisión documental acerca de los estudios previamente realizados en la zona donde se propondrá el SATI. Se generó el SIG (sistema de información geográfica) con base a: Modelos digitales de elevaciones, red hidrológica, uso de suelo y vegetación y edafología. Se obtuvieron fotos satelitales de alta resolución y se analizó la red de radares meteorológicos que operan dentro de la república mexicana. Se realizó el estudio y análisis de las estaciones climatológicas convencionales y estaciones hidrométricas que se encuentran dentro de la zona de estudio, con información de estas dos clases de estaciones se generó el análisis hidrometeorológico para verificar su respuesta en los 3 eventos que se analizaron. También se mostraron los software que se utilizaron, así como el equipo de cómputo con el que se trabajó.

6.1.1 Documental

Se realizó una revisión de trabajos relacionados al análisis de riesgos por inundaciones en el municipio (ver *tabla 20*) sus resultados y metodología.

Tabla 20. Antecedentes de inundaciones en el municipio de Yautepec, Morelos.

Nombre del trabajo	Tipo de trabajo	Año	Lo presenta	Lugar de consulta
Atlas de riesgos naturales de Yautepec, Morelos	Atlas	2011	SEDESOL	www.sedesel.com.mx
"Análisis de riesgo por inundaciones como consecuencia del desbordamiento del río Yautepec"	Tesis	2009	Ing. Ángel Emmanuel Zúñiga Tovar	Repositorio UNAM
"Plan de gestión integrada de los recursos hídricos en la cuenca del río Yautepec"	Tesis	2015	Ing. Rocío Consuelo Rodríguez Salazar	Repositorio UNAM
"Sistema de alerta preventiva ante la ocurrencia de inundaciones causadas por desbordamiento de canales en zonas urbanas"	Artículo	2020	Rodríguez-Varela et. al 2020	Repositorio IMTA

6.1.2 Cartografía

Para poder realizar los mapas bases, se realizó una búsqueda de información cartográfica digital. Esta actividad consistió en investigar, recopilar y analizar la disponibilidad de información dentro del área de estudio. De acuerdo a la información identificada se logró hacer uso de la información topográfica, edafológica, usos de suelos y vegetación e hidrológica. En particular a escalas 1:50,000, de acuerdo a la nomenclatura de INEGI. El número de cartas que abarca la zona de estudio son: E14A59C3, E14A59C4, E14B51A3 Y E14B5A4 (INEGI 2020).

6.1.3 Fotografías satelitales

Se obtuvieron las fotografías de alta resolución satelital mediante el Google Earth Pro, utilizándolas solamente como referencia. Las fotografías utilizadas corresponden al año 2020 y se encuentran disponibles de manera gratuita.

6.1.4 Información meteorológica

De acuerdo con la ubicación de la zona de estudio, inicialmente se ubicaron 9 estaciones meteorológicas convencionales con influencia sobre la zona de estudio para lo cual se realizó un inventario (ver *tabla 21*), las cuales se estudiaron y analizaron las bases de datos que corresponden a las estaciones meteorológicas presentadas. La información que se utilizó para este proyecto fueron los datos horarios.

Tabla 21. Estaciones dentro de la cuenca de estudio.

No. Estación	Nombre de la estación	Coordenadas		
		X	Y	Z
17001	Atlatlahuacan	18.937	-98.928	1,600
17012	Oaxtepec	18.906	-98.97	1,380
17013	Temilpa	18.706	-99.094	1,135
17018	Ticuman	18.759	-99.121	970
17024	Yautepec	18.854	-99.022	1,343
17049	Tepoztlán E-12	18.985	-99.1	1,716
17051	Totolapan E-10	18.987	-98.92	1,908
17066	El Vigía	19.01	-98.96	2,160
17082	Oacalco	18.922	-99.031	1,297

Creación propia con información de SMN 2011.

6.1.5 Información hidrométrica

Para el estudio de la hidrometría se realizó una búsqueda en la base de datos de la CONAGUA que culminó en la localización de 4 estaciones hidrométricas dentro de la zona de estudio (ver tabla 22). Y para lo cual se utilizaron los datos de los gastos instantáneos.

Tabla 22. Estaciones hidrométricas dentro del área de estudio (CONAGUA 2020).

No. Estación.	Nombre de la estación.	Coordenadas.		
		X	Y	Z
18193	Yautepec.	18.89	-99.05	1,223
18199	Oaxtepec.	18.96	-98.96	1,364
18197	Itzamatitlan.	18.90	-99.02	1,247
18175	Oacalco.	18.93	-99.08	1,241

Creación propia con información de SMN 20 14.

6.1.6 Equipo

En este apartado se describen los equipos externos que se utilizaron para realizar este proyecto como lo son:

A. Equipo de cómputo

El equipo a utilizar es una laptop que contiene las siguientes características:

- Marca: HP.
- Modelo: 14-AV0051a.
- Procesador: AMD A10- 8700P Radeon R6, Compute Cores 4C+6G 1.80 GHz.
- RAM: 16.00 GB. (ddr3l-1600).
- Disco duro: SSD 480 GB.
- Sistema operativo: Windows 10 Pro (64 bits).

B. GPS

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS), es una herramienta que ayuda a determinar la ubicación de cualquier punto en la tierra mediante coordenadas geográficas o UTM. Para esta investigación se utilizó un GPS manual de la marca GARMIN modelo 64s.

C. Distanciómetro

Un distanciómetro funciona con un rayo láser visible que se proyecta sobre la superficie que queremos medir. Esta herramienta, que suele contar con una pantalla, indica la distancia exacta

con un margen de error mínimo de 1 mm arriba o abajo. En este trabajo se utilizó un distanciómetro de la marca LEICA modelo Disto D510.

6.1.7 Software

Los softwares que se utilizaron en todo el proyecto se muestran en la *tabla 23*.

Tabla 23. Softwares en el estudio (creación propia).

Software	Se utilizó para:
Qgis 3.10.1	Plataforma del SIG
Hec-Hms V4.8.	Modelo hidrológico. Generar las subcuencas y obtención de hidrogramas
IBER v2.5.2	Modelo hidráulico. Generar envolventes y mapas de peligro
AutoCAD 2020	Dibujo de perfiles topográficos
CurveExpert	Interpolación de datos de precipitación
Microsoft Word	Redacción del proyecto
Microsoft Excel	Creación de gráficas y manejo de datos
Rcommander	Análisis de correlación normalidad de datos
ArcSwat	Delimitación de la cuenca

6.1.8 Análisis meteorológico

Se realizó el análisis meteorológico mediante el estudio de las estaciones meteorológicas convencionales que se encuentran dentro de la zona de estudio (*ver tabla 24*). Se analizaron los datos de los años efectivos.

Tabla 24. Años operando cada estación climatológica convencional (SMN, 2020).

Estación	Nombre	Organismo	Años Operando
17051	Totolapan E-10	SMN	40
17082	Oacalco	SMN	18
17066	El Vigía	SMN	36
17049	Tepoztlán E-12	SMN	36
17024	Yautepec	SMN	62

17012	Oaxtepec	SMN	47
17001	Atlatlahuacan	SMN	90
15103	San Pedro Nexapa	SMN	56
17039	San Juan Tlacotenco	SMN	41
17071	Progreso	SMN	34

A continuación, se realizó una gráfica para representar el comportamiento que obtuvo cada estación climatológica convencional, en los años que lleva operando cada una de éstas.

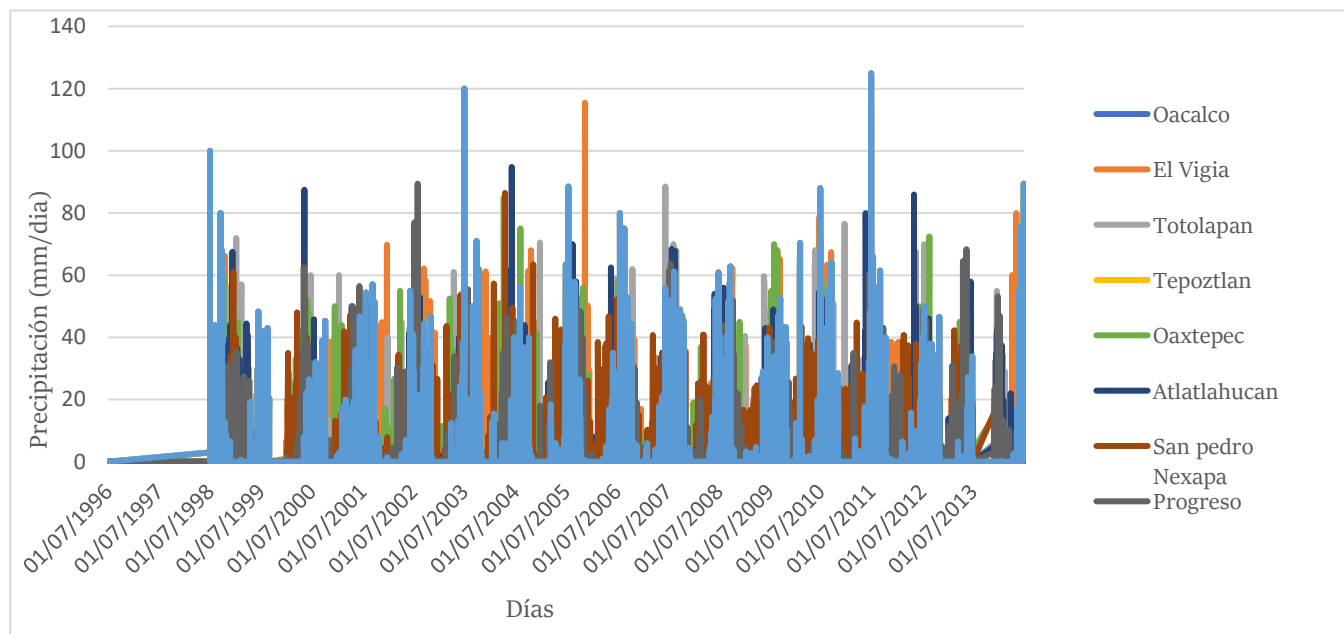


Ilustración 9. Distribución de lluvia diaria de estaciones climatológicas convencionales (CONAGUA, 2020).

6.1.9 Análisis hidrométrico

El análisis hidrométrico se llevó a cabo mediante el estudio de las estaciones hidrométricas que se encuentran dentro de la zona de estudio, se analizaron los datos de los años efectivos, tomando en cuenta solo los gastos instantáneos.

Tabla 25. Años operando cada estación hidrométrica convencional (CONAGUA, 2019).

Estación.	Nombre.	Organismo.	Años Operando.
18175	Oacalco	CONAGUA	66
18193	Yautepec	CONAGUA	64
18197	Itzamatitlán	CONAGUA	62
18199	Oaxtepec	CONAGUA	60
18200	Cocoyoc	CONAGUA	61

Al realizar el análisis de los datos de las estaciones hidrométricas convencionales se determinó que la estación Yautepec era la única que contaba con datos significativos para este proyecto, a continuación, se presenta una gráfica con el comportamiento de los registros de gastos reportados de cada una de las estaciones hidrométricas que se encuentran dentro de la zona de estudio.

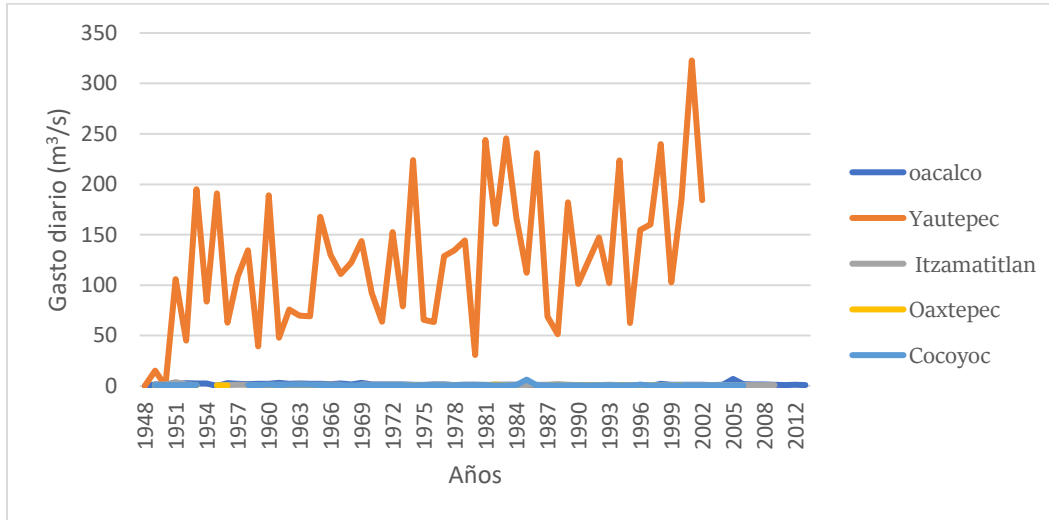


Ilustración 10. Distribución anual de estaciones hidrométricas convencionales (CONAGUA, 2019).

6.1.10 Análisis hidrometeorológico

Basándose en los análisis meteorológicos e hidrométricos, se realizó un cruce de información de dichas estaciones para visualizar el comportamiento de los eventos que se analizaran para este proyecto. El objetivo de este trabajo es analizar el comportamiento de las series de tiempo de los datos de precipitación de las estaciones meteorológicas ubicadas en las subcuencas para probar contra tendencias de los datos hidrométricos, obtenidos de las estaciones hidrométricas convencionales. A continuación, se presentan las gráficas de las comparaciones hechas:

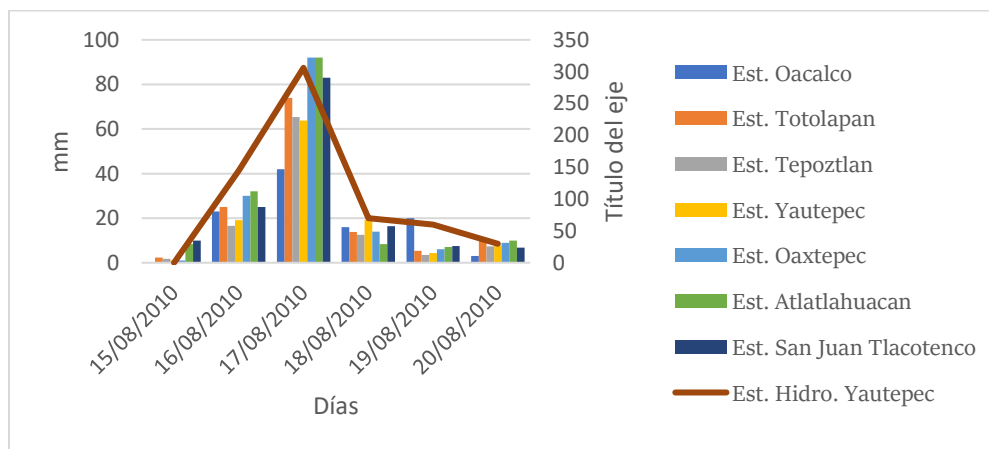


Ilustración 11. Comparativa de datos de precipitación y gastos del evento 17 de agosto del 2010.

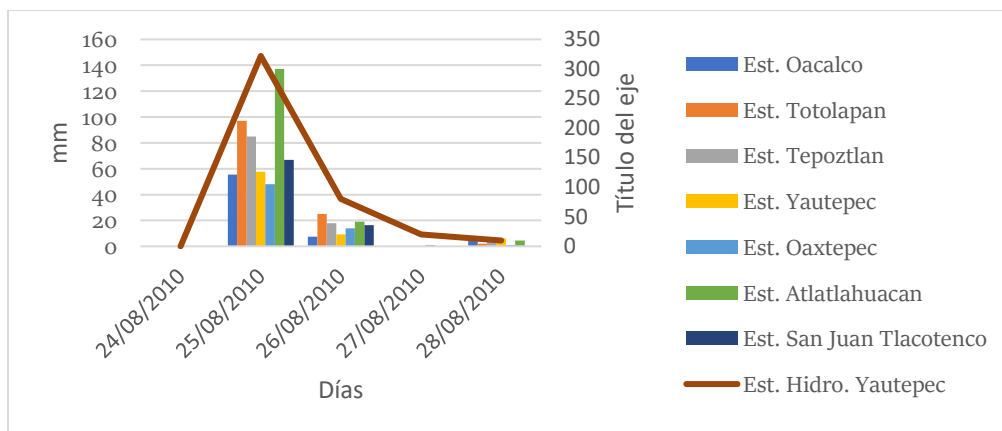


Ilustración 12. Comparativa de datos de precipitación y gastos del evento 25 de agosto del 2010.

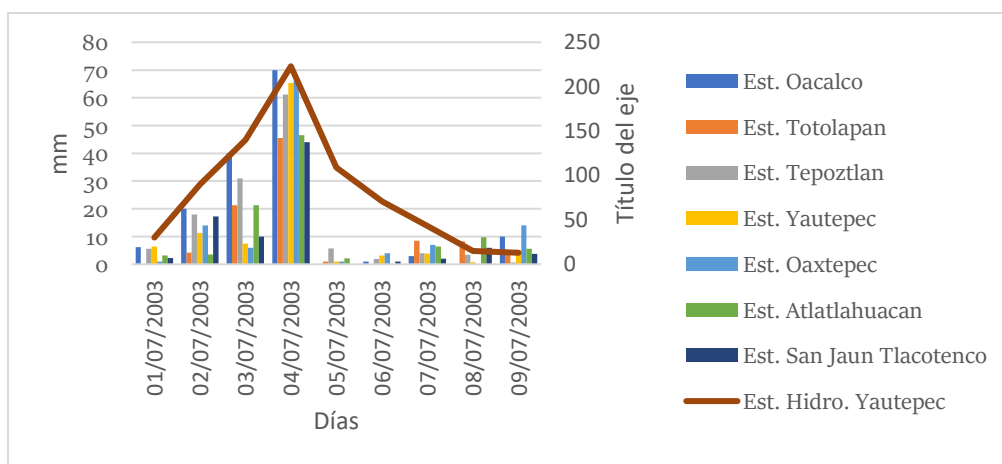


Ilustración 13. Comparativa de datos de precipitación y gastos del evento 04 de julio del 2003.

Como se aprecia en las gráficas se puede observar la respuesta de las estaciones hidrométricas en 3 eventos que se proponen a analizar.

6.1.11 Red de radares meteorológicos

La Red Nacional de Radares Meteorológicos está formada por 13 radares (*ver tabla 26*); todos están provistos con el sistema Doppler, lo que permite conocer la velocidad y la dirección del sistema nuboso. Actualmente, dos de los 13 radares, Sabancuy y El Mozotal, poseen la capacidad de doble polaridad, tecnología que permite obtener información de mejor resolución gráfica, disminuir la atenuación de la señal por problemas de potencia en fenómenos intensos y lograr datos más precisos del tipo de partículas, volumen y distribución espacial, con lo cual se pueda emitir un pronóstico más certero a corto plazo. La tecnología de Doble Polaridad contribuye mucho a estos fines. Con algoritmos computacionales implementados y probados de manera correcta, no solamente se genera una mejor estimación de precipitaciones con mayor precisión, sino también una diferenciación más clara entre los distintos tipos de precipitación (lluvia, llovizna, granizo, nieve, etc.) y señales no meteorológicas tales como aves, insectos, etc. A continuación, se presenta una lista de la ubicación de los radares que se encuentran operando dentro del territorio mexicano:

Tabla 26. Ubicación de red de radares (SMN, 2020).

Estado	Ciudad
Sonora	Cd. Obregón
Sinaloa	Guasave
El Palmito	Durango
Baja California Sur	Cabo San Lucas
Colima	Cuyutlán
Estado de México	Cerro Catedral
Veracruz	Alvarado
Guerrero	Acapulco
Oaxaca	Puerto Ángel
Campeche	Sabancuy
Quintana Roo	Cancún
Tamaulipas	Tampico
Chiapas	El Mozotal

Al revisar la cobertura de cada uno de los radares que se encuentran cerca del centro del país (ver *ilustración 14*) se determinó que el radar más cercano es el que se encuentra en el estado de México. Pero al revisar la cobertura de este mismo se pudo determinar que la cordillera de cerros que limitan el estado de Morelos y el Estado de México no permiten captar información en el estado de Morelos.

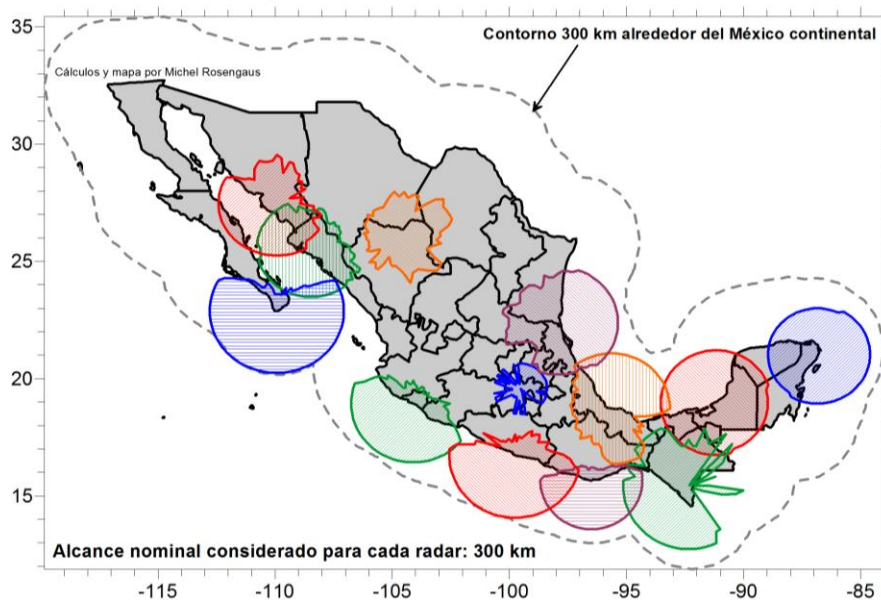


Ilustración 14. Radares en México (CICLOTROP, 2021).

Los radares circundantes al estado de Morelos serán utilizados como medio para detectar la evolución del sistema nuboso, y con ello determinar la intensidad de la precipitación, la altura, la densidad de las nubes y su desplazamiento.

6.2 MÉTODOS

EL desarrollo del trabajo para la propuesta del sistema de alerta temprana contra inundaciones (SATI), se conformará en las fases: operativa y preventiva. El área operativa consta de la obtención y análisis de datos los cuales son: topografía de la zona de estudio, datos meteorológicos, datos hidrométricos, edafología de la zona y uso de suelos y vegetación. Con esta información se generó un sistema de información geográfica (SIG) Se propone que al inicio de la operación del SATI se utilice información de bases de datos como INEGI, SMN y CONAGUA. Para este proyecto se propone que el SATI realice sus propios estudios preliminares como los son levantamientos topográficos de manera periódica, así como una nueva instrumentación propuesta. Esta área será la encargada de procesar toda la información preliminar y de realizar la modelación híbrida que se realizó en este proyecto, así como de calibrar y validar 3 eventos de inundaciones propuestas. Dicha modelación consta de dos tipos: la modelación hidrológica en el que se obtuvo los hidrogramas de salidas mediante en el software Hec-Hms y la modelación hidráulica en la cual se obtuvieron los mapas de peligro de la zona de estudio que se realizó en el software IBER. El área preventiva será la encargada del monitoreo de radares que se encuentran alrededor de la zona de estudio, así como del satélite GOES-8 que corresponde a un satélite meteorológico (5 bandas: una visible, tres infrarrojas y una de vapor de agua). Los simulacros y acciones preventivas ante inundación corresponderán a esta área, así como el mantenimiento de alarmas, albergues y rutas de evacuación.

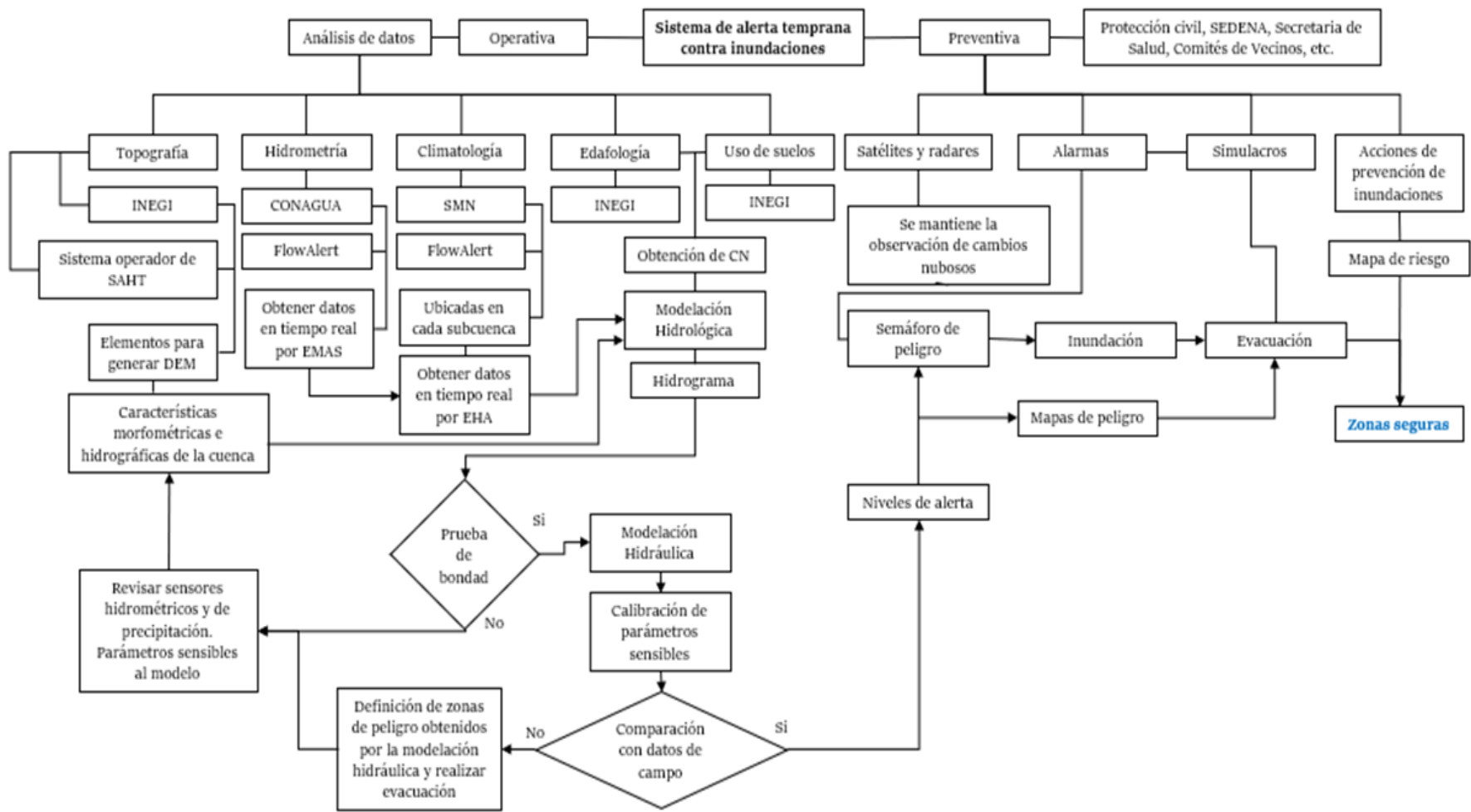


Ilustración 15 . Metodología general para el establecimiento del sistema de alerta temprana contra inundaciones.

6.2.1 Estructura y organización del SATI

El desarrollo del presente trabajo constituye la propuesta constructiva de un sistema de alerta temprana contra inundaciones para el municipio de Yautepec. El cual contará con dos áreas una operativa y la otra preventiva (*ver figura 7*). Protección Civil (PC) será el apoyo directo en la toma de decisiones, siendo este el encargado de llevar los procedimientos necesarios antes, durante y después de una inundación. Algunos de los actores que se encuentran involucrados en todo el proceso son los siguientes:

- SEMARNAT
- CONAGUA
- CINAPROC
- SECRETARIA DE SALUD
- GOBIERNO MUNICIPAL
- CEAGUA
- SEDENA
- IMSS
- CENAPRED

Algunas de estas instituciones ya cuentan con planes y programas para tomar acciones antes, durante y después de una inundación (*ver tabla 27*). También existen manuales que permiten enriquecer al sistema y hacerlo evolucionar (*ver tabla 28*).

Tabla 27. Planes y programas para contingencias por inundaciones.

Escala	Plan o programa	Organismo	Estado
Federal	Plan DN-3	SEDENA.	Vigente
Estatal	Plan de contingencia antes inundaciones.	CEAGUA.	Vigente
Federal	Plan institucional frente a emergencias y desastres	IMSS.	Vigente
Estatal	Plan de protección civil ante casos de emergencia, contingencia y desastres.	SINAPROC.	Vigente
Federal	Gestión integral de riesgos y atención a emergencias y desastres por eventos extremos	SEMARNAT	En preparación
Federal	Programa de prevención y mitigación del riesgo de desastre	CENAPRED	Vigente
Federal	Plan de reacción de comunicaciones en situaciones de emergencia	IFT	Vigente
Federal	Programa nacional contra contingencias hidráulicas (PRONACCH)	CONAGUA	Vigente

Municipal	Plan de desastres naturales (Se rigen del plan estatal ante desastres naturales)	Protección civil	Vigente
-----------	--	------------------	---------

Creación propia.

Tabla 28. Manuales y guías para respuesta en desastres hidrometeorológicos.

Escala	Nombre.	Organismo	Año de publicación
Federal	Manual de protección civil.	SSPC CNPC CMIC CENAPRE.	2021
Federal	Inundaciones	CENAPRED SSPC CNPC	2019
Federal	Manual de protección civil ante casos de emergencia, contingencias y desastres del STCONAPRA	Secretaria de Salud STCONAPRA	2017
Federal	Manual para el control de inundaciones	SEMARNAT CONAGUA	2011
Federal	Desastres. Guía de prevención	SEGOB CENAPRED SNPC	2007

Creación propia.

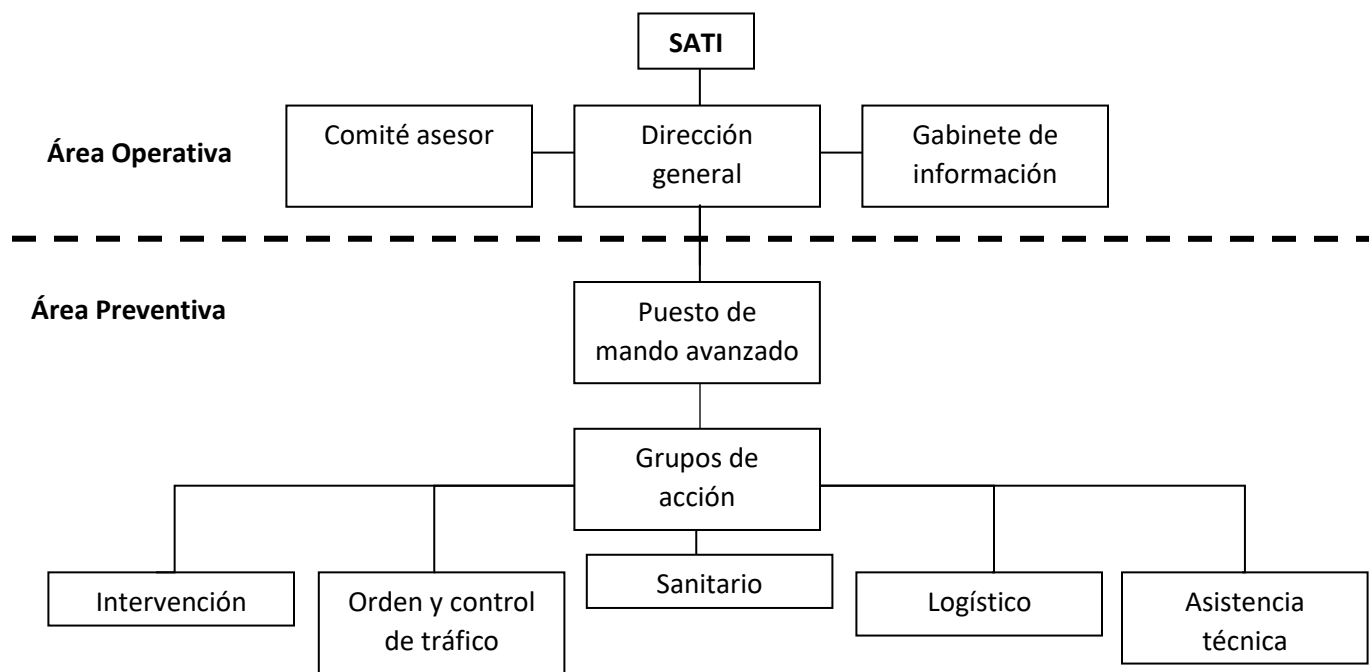


Figura 7. Diagrama de flujo del organigrama.

A. Dirección general.

Es el órgano que organiza y coordina todas las operaciones propias antes, durante y después de una contingencia de inundación. La infraestructura del Centro de Coordinación Operativa deberá ser la apropiada para que se ejerzan en el mismo las siguientes funciones:

- Servir como centro permanente de información y que permita valorar el estado constante de peligro y de emergencia por inundaciones para activar, si procede, los mecanismos de alerta.
- Servir como centro de recepción y emisión de alarmas y alertas y de gestión de todos los sistemas de información y bases de datos necesarios.
- Servir como instrumento de auxilio al director del Plan en el proceso de toma de decisiones y en el traslado y materialización de las órdenes, procediendo para ello al procesamiento de la información recibida con relación a la emergencia.

Las instalaciones del SATI se ubicarán en el municipio de Yautepec, y se encontrará integrada a Protección Civil.

B. Comité asesor.

El Comité Asesor apoya y aconseja al director general en los distintos aspectos relacionados con la emergencia. Además, el Comité Asesor, estará constituido, entre otros, por alguno de los que se citan seguidamente:

- Alcalde.
- Ayudantes de colonias y barrios.
- Policía municipal.
- Comités de vigilancia vecinales.
- Proximidad social.

Las funciones del comité asesor propuestas serán:

- Valorar la situación en cada momento y proponer al director general las actuaciones más adecuadas.
- Auxiliar en la dirección y coordinación de las actuaciones de los servicios intervinientes en la emergencia.
- Evaluar la situación de peligro.
- Aconsejar al director general sobre las medidas de protección que se consideren necesarias.

C. Puesto de mando avanzado.

El puesto de mando avanzado estará compuesto por su coordinador y por los coordinadores de los grupos de acción desplazados a la zona del desastre, por representantes de las colonias afectadas.

D. Coordinación interna de los grupos de acción.

Cada grupo de acción tendrá su propósito para determinar las operaciones a tomar en sus respectivos casos y momentos.

E. Intervención.

El grupo de intervención será el mando de mayor rango del cuerpo de bomberos del municipio de Yautepec, las funciones que desempeñaran son:

- Actuación directa sobre la causa del peligro. Combatir el siniestro salvando vidas y propiedades, y evitando las consecuencias sobre el entorno, dentro de los límites posibles.
- Hasta la llegada del grupo sanitario, tomará las medidas necesarias para la atención de los heridos.
- Controlar, reducir o neutralizar los efectos de la inundación: levantamiento de diques, eliminación de obstáculos u obstrucciones, etc.
- Reparación de urgencia de las vías de comunicación afectadas.

F. Orden y control de tráfico.

Estará constituido por miembros de la policía municipal y policía vial, y sus funciones serán:

- El control del tráfico: señalización y acordonamiento de la zona, cortes y desvíos (en caso necesario) y control de accesos.
- Velar por el orden público y la seguridad ciudadana en las zonas afectadas, especialmente en las zonas evacuadas si las hubiera.
- La protección de vidas y propiedades.
- Hasta la llegada del grupo sanitario, tomarán las medidas para la atención de heridos e identificación de víctimas.
- Colaborar a la difusión de los avisos a la población y asumir la responsabilidad en un primer momento.

G. Sanitario.

Este grupo estará constituido por personal de la secretaria de salud o IMSS y sus funciones son:

- Clasificación de las víctimas, asistencia sanitaria y evacuación a centros sanitarios.
- Atención sanitaria de urgencia de accidentados y heridos.
- Constituir el puesto de asistencia sanitaria y el centro de evacuación si procede.
- Colaborar con las autoridades judiciales y policiales competentes en la identificación de cadáveres, así como de otras víctimas y afectados.
- Suministro de medicinas a la población afectada.

H. Logística.

Este grupo estará constituido por personal de protección civil, así como personal del ayuntamiento, y que tendrán como funciones lo siguiente:

- Dar soporte a las labores de control de la emergencia, tanto desde el punto de vista de provisión de equipos y suministros necesarios, como desde el punto de vista de abastecimiento y transporte.
- Gestión y suministro de recursos de abastecimiento
- Atender a las zonas aisladas por las inundaciones, completando los sistemas de transmisiones existentes con el uso de unidades móviles u otros sistemas.
- Restablecimiento de los servicios básicos de la comunidad que hayan podido verse afectados.

I. Asistencia técnica.

Las funciones de esta área serán directamente el asesoramiento técnico directo desde las dependencias encargadas de emitir información que alimente a las bases de datos del SATI, algunas dependencias que tomaran acciones dentro del SATI son:

- CONAGUA
- CENAPRED
- CEAGUA
- SMN

6.2.2 Área operativa

Esta área será la encargada de recibir, revisar y aplicar la información preliminar obtenida la cual sería:

- **Datos topográficos.** Esta información se obtendría en un inicio por medio de modelos digitales de elevación. Aunque se recomienda que el mismo sistema operador sea el encargado de obtenerla en campo de manera periódica.
- **Datos hidrométricos.** Información obtenida de estaciones hidrométricas automáticas
- **Datos climatológicos.** Información obtenida de las estaciones climatológicas automáticas y convencionales.
- **Datos edafológicos.** Información obtenida de base de datos de INEGI.
- **Datos de uso de suelo y vegetación.** Base de datos de INEGI.

Para visualizar las funciones del área operativa observar la *tabla 60 (Anexo 13.3)*.

6.2.3 Área preventiva

Esta área será la encargada de dar el mantenimiento a la instrumentación, así como realizar todos los trabajos de campo que la parte operativa no pueda realizar en las instalaciones del SATI. Las funciones de esta área se pueden observar en la tabla 61 (ver anexo 13.3).

En base a la ley general de protección civil la parte preventiva del SATI deberá ordenar al municipio que todo inmueble público o privado, como unidades habitacionales, escuelas, hospitales, centros comerciales, centros de trabajo, etc., deben tener y operar su Programa Interno

de Protección Civil, para mitigar los riesgos previamente identificados y estar en condiciones de atender la eventualidad de alguna emergencia o desastre. Contempla también la integración de un Comité Interno de Protección Civil y brigadas que podrán ayudarnos en caso de una emergencia. Cuando se elabora el Programa Interno de Protección Civil es necesario contemplar tres subprogramas:

- **Prevención:** Son todas las acciones que se realizan antes de que ocurra una emergencia o desastre. La manera más sencilla de prevenir es identificar los riesgos a los que estamos expuestos, reducirlos y prepararnos para disminuir sus efectos. Si aplicamos medidas preventivas y sabemos qué hacer en caso de que ocurra un gran sismo, por ejemplo, reduciremos su impacto negativo sobre nosotros.
- **Auxilio o ayuda:** Son las actividades de ayuda a la población afectada por la presencia de una emergencia o desastre y deben ser oportunas y suficientes. Requieren contar con planes de emergencia, protocolos y conocer medidas de autoprotección ante distintos escenarios.
- **Recuperación:** Son las acciones que se realizan para restablecer los servicios y las actividades que se hayan visto afectados por la presencia de una emergencia o desastre, hasta retornar a la normalidad.

Dentro de la misma área preventiva debe organizar un plan de resguardo familiar en el caso de que falle el sistema de alarmas el cual constara de 5 pasos:

- Detecta y reducir riesgos.
- Diseña rutas de evacuación y definir un punto de reunión familiar
- Realiza simulacros.
- Tener documentos importantes a la mano.
- Estar pendientes a la temporada de lluvias.

6.2.4 Metodología de construcción del SATI

Para brindar una mejor conceptualización del SATI por parte del usuario en este capítulo se presenta la metodología que se utilizará para la construir el SATI y su funcionamiento

ETAPA 1

Se pretende que en esta etapa se realice la documentación necesaria como sustento para gestionar y construir el SATI. En esta fase se posiciona el presente proyecto de tesis, ya que en este mismo se realiza toda la investigación preliminar que permita obtener una recapitulación de antecedentes históricos de inundación. Así como también revisar toda la información de la cual se obtenga registro como: modelos digitales de elevación (las resoluciones de las que se tenga registro), estaciones hidrométricas, estaciones climatológicas, estaciones meteorológicas automáticas, edafología de la zona, uso de suelo y vegetación de la zona, etc. Toda la información recabada servirá para: tener una visión del fenómeno hidrológico e hidráulico al que nos enfrentamos, así como para generar información nueva que se utilizará para alimentar a los modelos matemáticos

que se presentarán y para obtener un resultado más apegados a la realidad. Se realizarán las propuestas necesarias de instrumentación y si es necesario algún tipo de medida de mitigación estructural. Se realizarán las modelaciones hidrológicas e hidráulicas con la información recabada y se generaran los mapas de peligro base que serán el principio para obtener un padrón de colonias propensas a inundarse y con esto poder alertar de manera oportuna a todos los habitantes que se encuentren propensas a este peligro.

ETAPA 2

En dicha etapa se propone se instale la instrumentación necesaria como: EHAs, EMAs, Cámaras de seguridad, red de alarmas de emergencia, reglas limnimétricas, equipo de cómputo especializado y se gestione con las autoridades necesarias un radar meteorológico. En este punto ya se debe de tener identificado el mapa general de peligro para el municipio de Yautepec. En este nivel del proceso se debe realizar los comités de vigilancia vecinal.

Se inicia el proceso de gestión del predio donde se instalará el centro de operaciones del SATI y el proyecto ejecutivo para su construcción. Se comienza el proceso de concientización por medio de conferencias y talleres hacia los habitantes que se encuentren dentro del mapa de peligro.

ETAPA 3

En esta etapa ya se debe de contar con toda la instrumentación instalada y las oficinas del centro de operaciones preparadas y listas para operar en su totalidad. Se inicia el proceso de contratación de personal para el manejo del SATI. Se deben de realizar simulacros de inundación para obtener los resultados óptimos esperado.

6.2.5 Caracterización de la zona de estudio

En este apartado se describe la zona de estudio donde se realizó el proyecto de investigación, se identificó la cuenca principal del río Balsas y la subcuenca río Yautepec. Se delimitó el área de estudio, se obtuvo la siguiente información preliminar: modelos digitales de elevaciones (DEM's), fotos satelitales de alta resolución, edafología y uso de suelo y vegetación. Se ubicaron y analizaron los datos existentes de las estaciones hidrométricas, estaciones meteorológicas convencionales y estaciones meteorológicas automáticas.

A. Zona de estudio

Para identificar y describir la zona donde se realizará el proyecto, se presentará de manera general, hasta llegar de forma puntual al área del proyecto. La metodología que se utilizó fue la siguiente:

a) Identificación de la cuenca.

Se identificó la cuenca hidrológica, la cual lleva como nombre Cuenca Balsas (*ver ilustración 16*) y tiene como clave RH18, con un área de 118.26 km² de superficie. Se encuentra al centro del país y abarca los estados de Morelos, Guerrero, Puebla, Estado de México, Michoacán y Tlaxcala. Por tanto, comprende el 6% del territorio mexicano.



Ilustración 16. Distribución de las cuencas en México (INEGI,2019)

b) Subcuenca río Yautepec.

La subcuenca Río Yautepec se encuentra dentro de los estados de Morelos, CDMX y Estado de México. Nace en los escurrimientos del volcán Popocatepetl en la cañada Nexpayantla, vertiente del Pico del Fraile, municipio de Atlautla y después de un largo recorrido, se une con el río Amacuzac, el río más grande de Morelos. Toda esta subcuenca abarca una extensión de 1.430 km².



Ilustración 17. Cuenca Río Yautepec (INEGI, 2019).

B. Delimitación del área de estudio

La delimitación de la subcuenca se realizó con base a la estación hidrométrica Yautepec. Para obtener un control de caudal en un punto observado y poder realizar las calibraciones de los modelos. Esta área de estudio tiene 989 km².



Ilustración 18. Delimitación de área de estudio (INEGI, 2018)

C. Fotos satelitales de alta resolución

Se utilizaron ortofotos LIDAR, e imágenes de alta resolución de Google Earth Pro. Esto para visualizar el crecimiento poblacional. Identificar el cauce del río y para referenciar la malla dentro del modelo hidráulico.



Ilustración 19. Ortofoto de la zona de estudio (INEGI, 2020).

D. Modelo digital de elevaciones

Para el estudio se utilizaron dos modelos digitales de elevación (DEM):

- Modelo digital de elevaciones resolución a cada 15 metros (2018)
- Modelo digital de elevaciones resolución a cada 5 metros (2019)

El modelo digital de elevaciones con resolución de 15 metros se utilizó para la delimitación de la cuenca en el estudio hidrológico y para la conformación del sistema de información geográfica (SIG). El modelo digital de elevaciones con resolución de 5 metros se utilizó para generar la malla del modelo hidráulico.

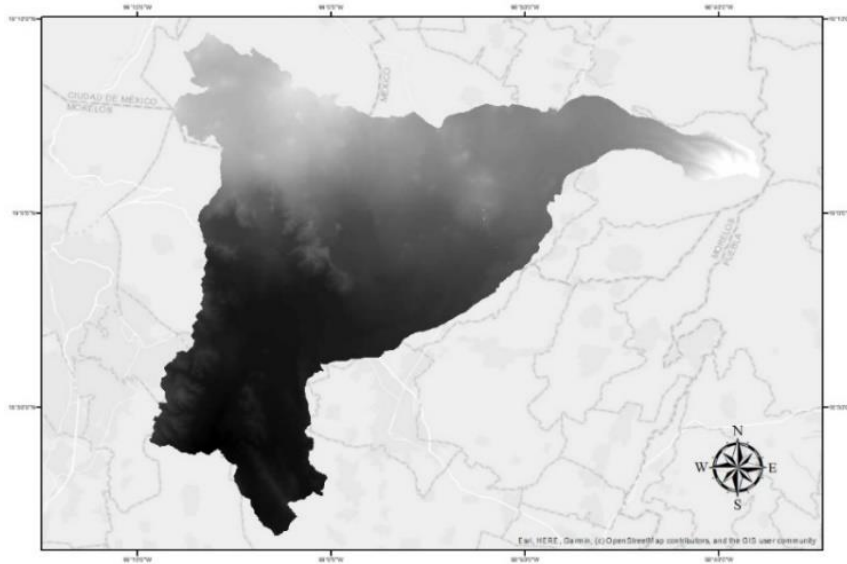


Ilustración 20. DEM a cada 15 metros (INEGI, 2020).

E. Delimitación de la cuenca de estudio

Para delimitar la zona de estudio se utilizó la herramienta ArcSWAT, para delimitar la cuenca fue necesario contar con los elementos importantes: modelo digital de elevaciones de la zona a estudiar y un punto de salida definido (estación hidrométrica Yautepec). Ya obtenido el parteaguas se exportó a Qgis para continuar con el manejo del mismo.

F. Mapa base

Para generar el mapa base se utilizaron las cartas de INEGI y CONABIO en escala 1:250,000 y los elementos que se anexaron fueron:

- Modelos digitales de elevación.
- Hidrografía.
- Edafología.
- Uso de suelo y vegetación.
- Ubicación de estaciones hidrométricas y climatológicas.

Así como creación de nuevas capas utilizando los elementos que se acaban de mencionar. Con todo esto se creó el sistema de información geográfico (*ver anexo 13.5*).

G. Caracterización morfométrica e hidrográfica de la cuenca

El análisis morfométrico permite interpretar y predecir los comportamientos hidrológicos y de la torrencialidad de una cuenca hidrográfica; este análisis es realizado mediante la obtención de índices morfométricos, a partir de la forma de la cuenca, de la red de drenaje y del relieve. A continuación, se presentan en la *tabla 29* los parámetros y resultados que corresponden a la cuenca que se está analizando.

Tabla 29. Caracterización de la cuenca Yautepec.

Parámetros físicos	Parámetro	Valor
	Tipo de cuenca	Exorreica
	Área de la cuenca (km ²)	989
	Perímetro de la cuenca (km)	279.45
	Longitud de la cuenca (km)	56.75
	Pendiente media de la cuenca	2.36%
	Factor de forma	0.30
Parámetros hídricos	Elevación media de la cuenca	2.473,000 m.
	Longitud media del cauce	0.560 km.
	Longitud del cauce principal (km)	1363
	Longitud total de cauces	346.61
	Orden de corrientes	7
	Densidad de corrientes	Alto
	Tiempo de concentración (hr)	3.45

H. Edafología.

Los diferentes tipos de suelo que se presentan dentro de subcuenca que se está analizando, se presentan en la *tabla 30*. El suelo predominante en la zona es el andosol con el 28.39%, seguido del cambisol con el 20.29%. Para observar detalles de esta capa revisar el *anexo 13.5*.

Tabla 30. Tipos de suelos dentro del área de estudio (INEGI, 2018).

Superficie	Tipo de suelo	%
982.85	Cambisol	20.29
952.81	Regosol	19.67
833.76	Feozem	17.21
1375.56	Andosol	28.39
399.33	Rendzina	8.24
300.83	Vertisol	6.21
Total=	4845.14	100%

I. Uso de suelo y vegetación.

En la *tabla 31* se muestra los diferentes tipos de uso de suelo y vegetación que se presentan dentro del área de estudio. Para ver la distribución geográfica (*ver anexo 13.5*), los datos se obtuvieron directamente de la página oficial de la CONABIO.

Tabla 31. *Uso de suelo y vegetación dentro del área de estudio (CONABIO, 2018).*

Uso de suelo y vegetación	Superficie	%
Áreas sin vegetación aparente	32.06	3.88
Bosque de coníferas distintas a Pinus	152.05	18.41
Bosque de encino	60.98	7.38
Bosque de pino	282.81	34.24
Bosque mesófilo de montaña	39.28	4.75
Manejo agrícola, pecuario y forestal (plantaciones)	41.92	5.08
Pastizal natural	15.22	1.84
Selva baja caducifolia y subcaducifolia	201.69	24.42
Total	826.01	100.00

J. Hidrometeorológica

Actualmente en la zona de estudio se encuentran la siguiente instrumentación para la recuperación de datos, *tabla 32*:

Tabla 32. *Estaciones operando y no operando en la zona de estudio.*

Tipo de estación	Operando	No operando	Total
EMA	1	1	2
Estación meteorológica convencional	9	1	10
Estación hidrométrica convencional	1	4	5

Como se visualiza en la *tabla 32* el 50% de la estaciones meteorológicas automáticas no se encuentran operando por este motivo se optó para este proyecto de investigación utilizar los datos de las estaciones meteorológicas convencionales. Al analizar la base de datos de las estaciones hidrométricas se observó que 4 estaciones no contaban datos coherentes y solo una mostraba respuesta en sus datos por tal motivo esta misma se utilizó para calibrar el modelo hidrológico.

7 SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA CONTRA INUNDACIONES

Según el Servicio Meteorológico Nacional (2015) es un mecanismo tecnológico que permitirá monitorear durante las 24 horas de los 365 días del año y se encontrará constituido por 2 áreas: Área operativa y área preventiva que se encargarán de realizar las acciones correspondientes para salvaguardar la integridad física de los habitantes, para actuar con el tiempo suficiente y de una

manera apropiada y así reducir la posibilidad de daño personal, pérdida de vidas y daño a la propiedad o su entorno.

7.1 COMPONENTES DEL ÁREA OPERATIVA

El área operativa será la encargada de las actividades dentro de las oficinas centrales, encargadas de recolectar, procesar y divulgar la información obtenida antes, durante y después de una inundación. También será un enlace entre las dependencias u organismos que influyan dentro del SATI hacia la población.

Entre los estudios preliminares se encuentran: Las condiciones topográficas de la zona de estudio, datos de estaciones hidrométricas, datos de estaciones climatológicas, información de uso de suelo y vegetación, edafología de la zona y climatología. Así como generar nueva información que será para realizar las modelaciones hidrológicas e hidráulicas y generación de mapas de peligro.

a) Topográfico

En un inicio será la obtenida de la base de datos de INEGI. Utilizando el modelo digital de elevaciones con resolución de 5 metros para obtener un mejor resultado. Manipulando la información obtenida en ArcMap para trabajar esta capa.

b) Hidrometría

La información hidrométrica se solicitó a la ventanilla única del SMN, al analizar la información de las estaciones solicitadas y tomando como referencia las fechas donde se reportó inundaciones en el municipio de Yautepec. Se determinó que la estación hidrométrica con clave 18193 (Yautepec) contaba con información relevante para poder utilizarla. Por tal motivo se determinó el punto de ubicación de esta estación como punto de calibración para el modelo hidrológico.

c) Climatología

Los datos de las estaciones climatológicas convencionales se descargaron de manera gratuita desde la página oficial de la CONAGUA. Se revisaron los datos de las 9 estaciones que se encuentran dentro de la zona de estudio, y se determinó que 8 estaciones contaban con la información necesaria para poder utilizarlas en la modelación hidrológica.

d) Edafología

Los datos se obtuvieron de la página oficial de INEGI de manera gratuita. La capa se recortó en ArcMap para solo utilizar el área de estudio.

e) Uso De Suelos

Los datos se obtuvieron de la página oficial de INEGI de manera gratuita. La capa se recortó en ArcMap para solo utilizar el área de estudio.

f) Número De Curva

Se generó de manera automática por medio del sistema de información geográfica, que se utilizó como base para trabajar los mapas del proyecto. En primera instancia se manejaron los datos de uso de suelo y vegetación, así como los datos de edafología. Se utilizaron los suelos predominantes y las texturas para determinar un número de curva aproximado de infiltración. El método que se utilizó fue Servicio de Conservación de los Recursos Naturales (NRCS, por sus siglas en inglés).

Para el uso de suelo se establecen 4 grupos:

- A. En ellos el agua se infiltra rápidamente, aun cuando estén muy húmedos. Profundos y de texturas gruesas (arenosas o areno-limosas), están excesivamente drenados.
- B. Cuando están muy húmedos tienen una capacidad de infiltración moderada. La profundidad de suelo es de media a profunda y su textura es franco-arenosa, franca, franco arcillosa o franco-limosa. Están bien o moderadamente drenados.
- C. Cuando están muy húmedos la infiltración es lenta. La profundidad de suelo es inferior a la media y su textura es franco-arcillosa, franco arcillo-limosa o arcillo-arenosa. Son suelos imperfectamente drenados.
- D. Cuando están muy húmedos la infiltración es muy lenta. Tienen horizontes de arcilla en la superficie o próximos a ella y están pobremente o muy pobremente drenados. También se incluyen aquí los terrenos con nivel freático permanentemente alto y suelos de poco espesor (litosuelos).

De los datos edafológicos se utilizó la textura la cual está clasificada como: fina, mediana y gruesa.

Los principales factores que determinan la curva numérica son: el grupo hidrológico del suelo, tipo de cobertura, tratamiento, condición hidrológica de la cuenca y la humedad antecedente. Los valores de la curva numérica son cuadros publicados por el SCS que representan un promedio de las condiciones de escurrimiento, (Maidment, 1993).

g) Tiempo de respuesta

Para la cuenca que se está analizando el tiempo de respuesta es de 207 minutos. Esto a partir de la primer cuenca que hace sus aportaciones al Rio Yautepec hasta el punto donde se provocan las inundaciones. Este tiempo de respuesta es el requerido para que durante el proceso de precipitación se alcance el estado estacionario; es decir, el tiempo necesario para que todo la cuenca a analizar contribuya eficazmente.

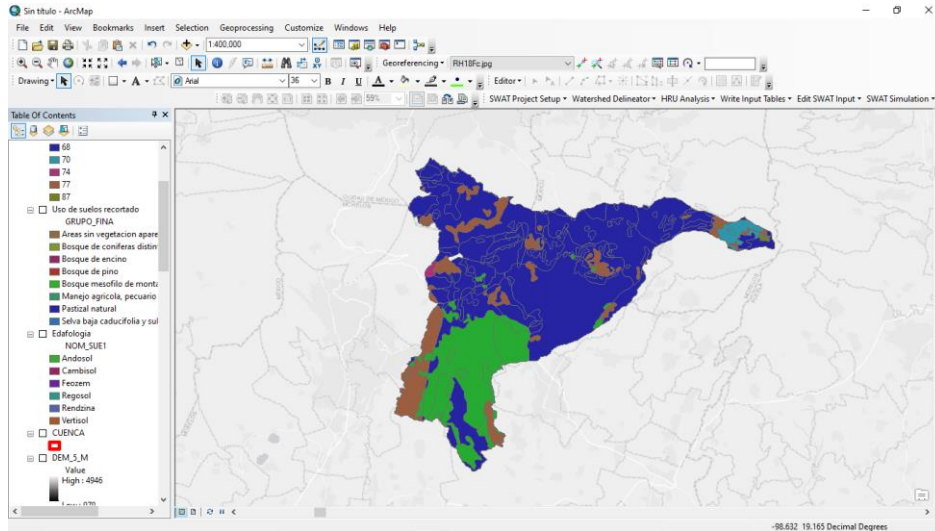


Ilustración 21. Numero de curva, Creación propia con datos de INEGI.

7.1.1 Modelación hidrológica

El modelo hidrológico que se utilizó para realizar el proyecto fue el HEC-HMS en la versión V4.8.

Para construir el modelo se utilizó:

a) Las subcuencas previamente definidas

Las subcuencas se definieron previamente en el programa hec-hms. Utilizando solamente la red hidrológica que se encuentra dentro del parteaguas que fue trabajado en la extensión del SWAT del ArcMap. Se generaron 31 subcuencas automáticamente.

b) El número de curva ponderado para cada una de las subcuencas

El número de curva es un parámetro hidrológico que permite caracterizar el potencial de escorrentía en la cuenca hidrográfica que se está analizando y se determina a partir de algunas características físicas del territorio como el tipo, textura y el tratamiento de las coberturas. A continuación, se presenta en la *tabla 33* con el CN ponderado de cada subcuenca.

Tabla 33. Tabla de CN.

Numero.	Nombre.	Área.	CN (Ponderado).
1	S1	20.15	66
2	S2	41.21	59
3	S3	28.08	60
4	S4	24.13	60
5	S5	21.46	53

6	S6	4.57	65
7	S7	40.49	55
8	S8	25.46	53
9	S9	3.71	58
10	S10	10.39	68
11	S11	22.06	64
12	S12	32.41	56
13	S13	8.66	56
14	S14	30.54	71
15	S15	39.54	63
16	S16	68.21	58
17	S17	38.69	61
18	S18	99.48	52
19	S19	20.74	63
20	S20	9.61	66
21	S21	6.68	63
22	S22	7.33	47
23	S23	71.17	35
24	S24	29.05	53
25	S25	2.47	35
26	S26	91.95	43
27	S27	4.82	67
28	S28	32.35	60
29	S29	62.74	62
30	S30	15.57	68
31	S31	76.21	62
		989.91	58.13

Creación propia con información de INEGI 2020

c) La distribución de precipitación en un intervalo de tiempo horario.

Los datos obtenidos de las estaciones climatológicas convencionales fueron en un intervalo de tiempo diario por lo que se procedió obtener la distribución de precipitación horaria (ver *ilustración 22*). Mediante la distribución diaria de la estación meteorológica automática del IMTA.

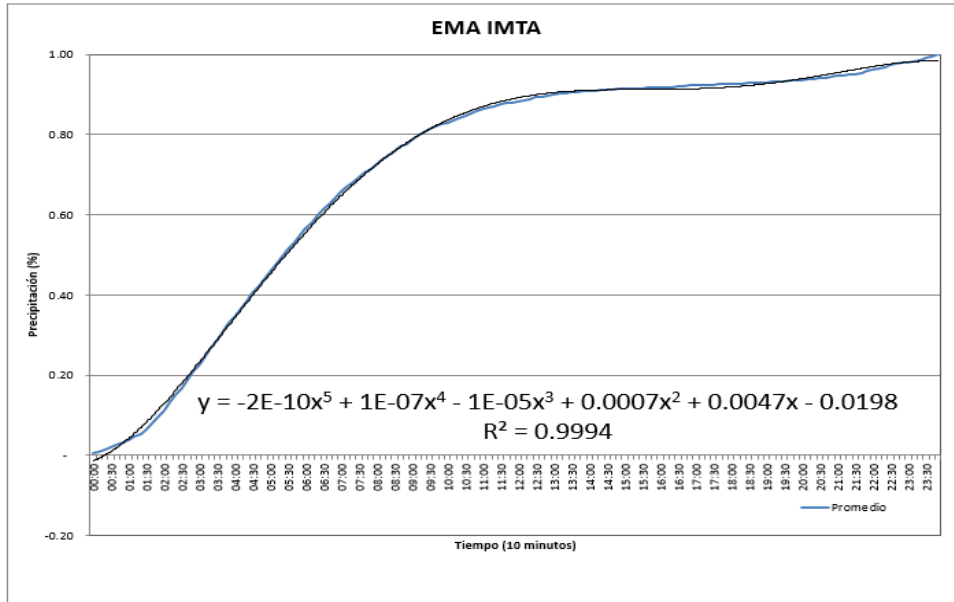


Ilustración 22. Tabla de distribución de precipitación diaria de la EMA IMTA (SMN, 2019).

Se realizó la distribución diaria 24 horas antes y después del evento a analizar. Obteniendo así un hietograma de entrada para el modelo hidrológico (ver *ilustración 23*).



Ilustración 23. Distribución de precipitación para el evento 25/08/2010, creación propia con datos de SMN.

El motivo por el que no se utilizaron datos de las EMA's, es porque se carece de distribución de precipitación en forma horaria en las estaciones dentro de la zona de estudio y no se aprecia la distribución de precipitación.

d) La distribución de caudal en un intervalo de tiempo horario

Los datos de gasto instantáneo son los que se utilizan para la modelación hidrológica. Estos datos carecen de linealidad en el tiempo, por lo que es necesario realizar interpolación lineal para obtener los datos que hacen falta.

A continuación, se presentan los hidrogramas utilizados en el proyecto realizado:

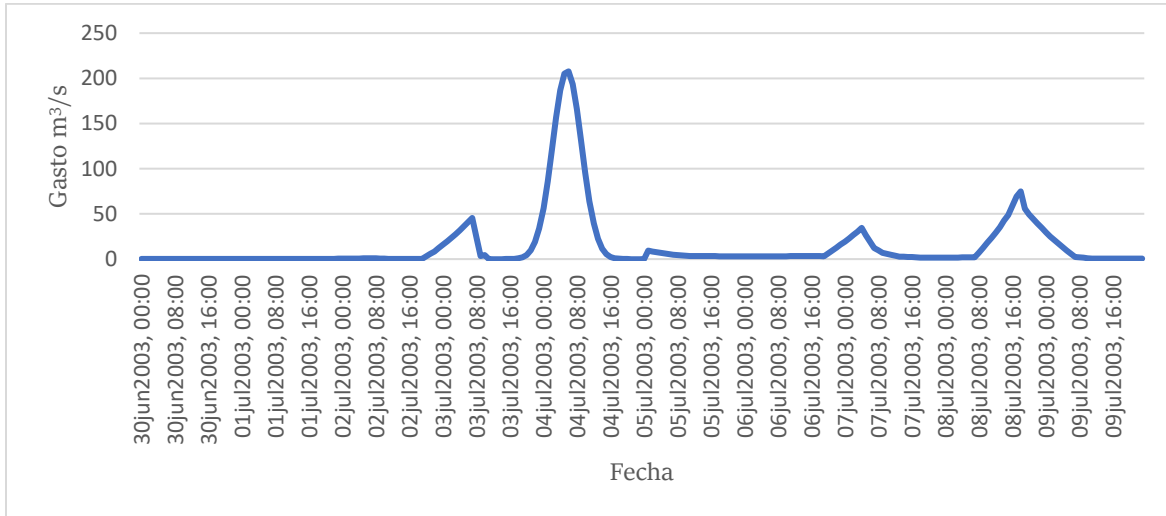


Ilustración 24. hidrograma del evento 17 de julio del 2003.

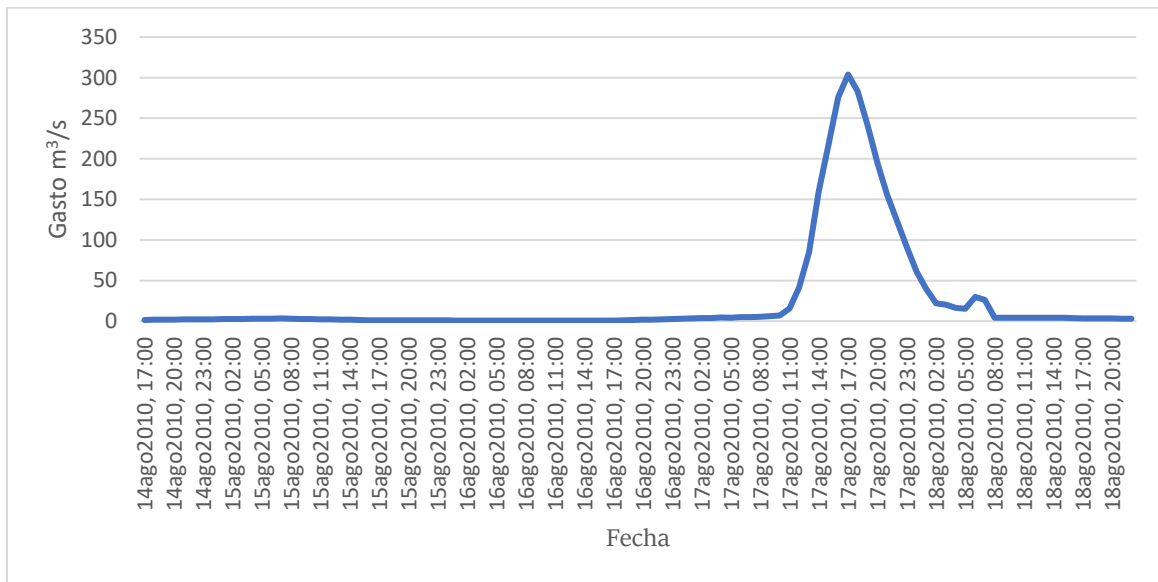


Ilustración 25. hidrograma del evento 17 de agosto del 2010.

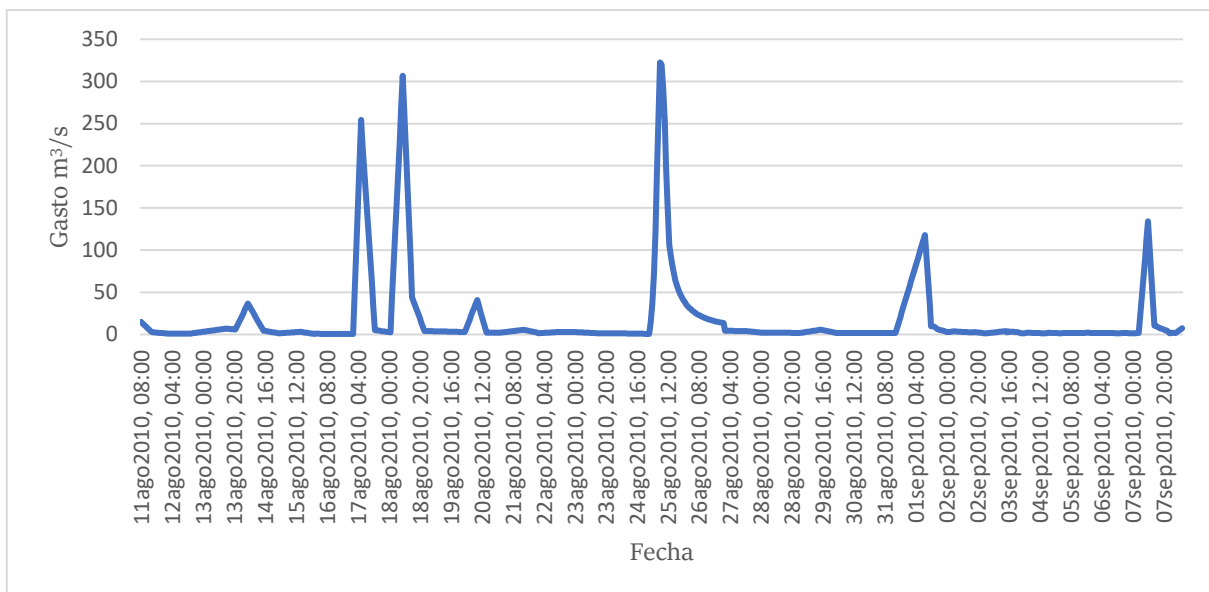


Ilustración 26. hidrograma del evento 25 de agosto del 2010.

Como se muestra en los tres hidrogramas utilizados se muestra la variación del gasto con respecto al tiempo y fecha que se están analizando.

e) Tiempo de retraso para cada subcuenca

Se obtiene a partir de un porcentaje del tiempo de concentración de la cuenca. Es desfase entre el instante en el que se produce el caudal pico del hidrograma y el centroide de la tormenta asociada (ver tabla 34).

Tabla 34. Tiempo de retraso para el evento 25/08/2010.

Numero	Nombre	Área (km ²)	Tiempo de retraso (min)
1	S1	20.15	45
2	S2	41.21	35
3	S3	28.08	20
4	S4	24.13	20
5	S5	21.46	36
6	S6	4.57	20
7	S7	40.49	45
8	S8	25.46	20
9	S9	3.71	39
10	S10	10.39	47
11	S11	22.06	48
12	S12	32.41	26
13	S13	8.66	15
14	S14	30.54	26
15	S15	39.54	41
16	S16	68.21	35
17	S17	38.69	32
18	S18	99.48	38

19	S19	20.74	25
20	S20	9.61	31
21	S21	6.68	38
22	S22	7.33	41
23	S23	71.17	15
24	S24	29.05	36
25	S25	2.47	23
26	S26	91.95	20
27	S27	4.82	35
28	S28	32.35	35
29	S29	62.74	26
30	S30	15.57	42
31	S31	76.21	34
		989.91	31.90

f) Cauce principal definido.

Se define el cauce principal en Qgis (ver ilustración 27).

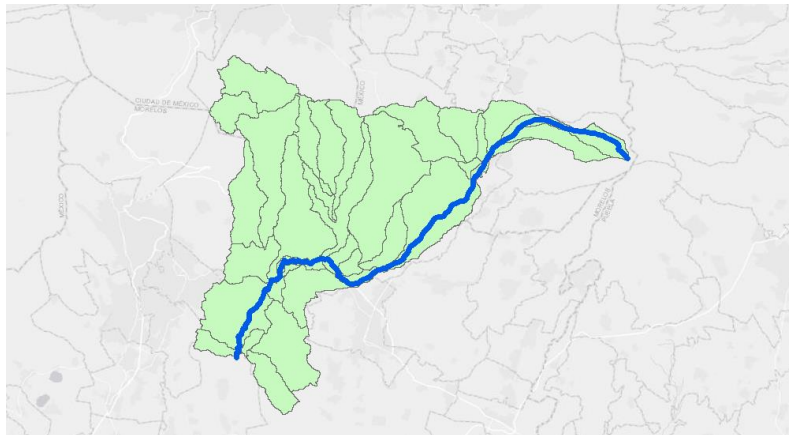


Ilustración 27. Definición de cauce principal (INEGI, 2019).

Ya obtenidos y trabajados los datos base para la modelación se realiza la estructuración del sistema de subcuencas hidrológicas. Se analiza 3 eventos previamente definidos de inundaciones en el municipio de Yautepac. Los eventos que se analizaron fueron el 4 de julio del 2003, el 25 de agosto del 2010 y el 17 agosto del 2010. Y se llevó a cabo mediante el siguiente diagrama (figura 8):

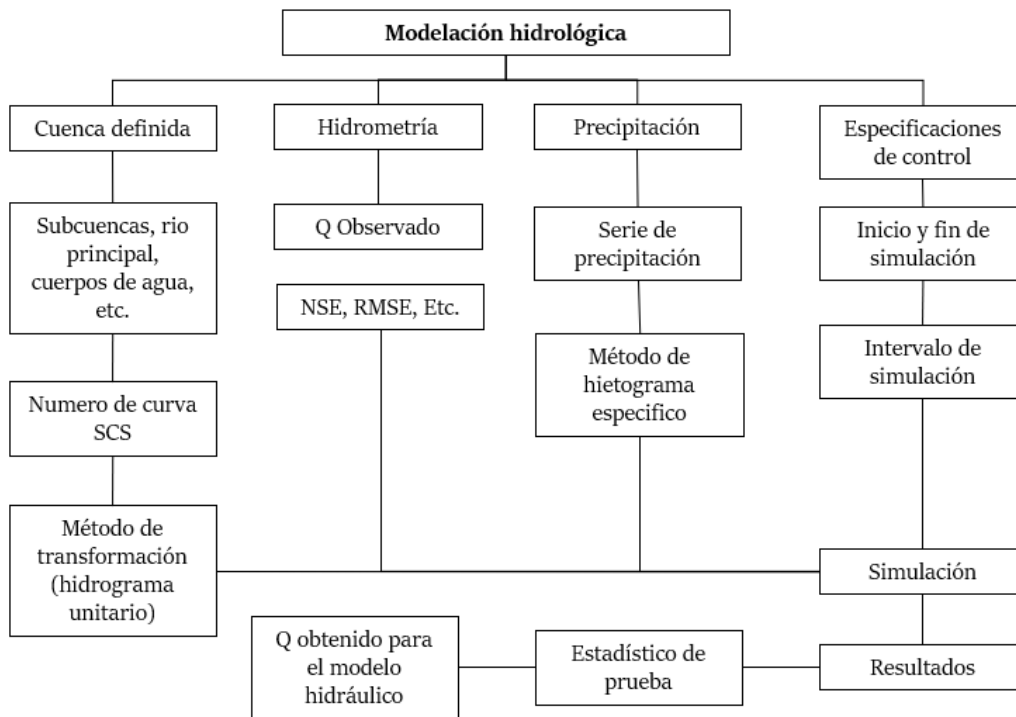


Figura 8. Metodología para realizar el análisis hidrológico con el modelo HEC-HMS.

El modelo de cuenca que se utilizó para generar el modelo hidrológico es del tipo lluvia escurrimiento; para generar la geometría de la cuenca se utilizó el modelo subbasin creation tool, con el objetivo de crear cada subcuenca, con el modelo junction creation tool, para generar las uniones entre subcuenas, reach creation tool, para generar la simulación de los cauces y el último elemento utilizado para esta aplicación es sink creation tool, que es para unir dos cauces. Con la aplicación de las herramientas mencionadas se construyó la geometría de la cuenca.

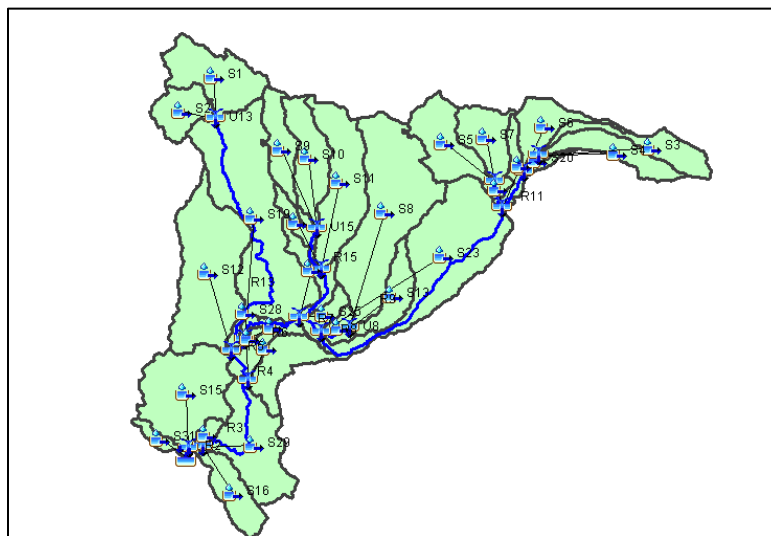


Ilustración 28. Geometría de la cuenca.

Para construir el modelo meteorológico, se utilizó la opción de trabajar mediante un hietograma específico. En la opción de las cuencas a donde se aplicará el modelo, debe de aparecer seleccionada la cuenca del río Yautepec, una vez que se define que el hidrograma será seleccionado en forma específica para cada subcuenca, aparece el nombre de la subcuenca y en la otra opción el nombre de la estación meteorológica con la información de la precipitación diaria.

g) Series de datos de precipitación

Para realizar una serie de datos de precipitación, como ejemplo se propone la estación 17012 Oaxtepec, se selecciona la opción de introducir los datos en forma manual, la opción de milímetros acumulados en el intervalo de tiempo a cada 10 minutos.

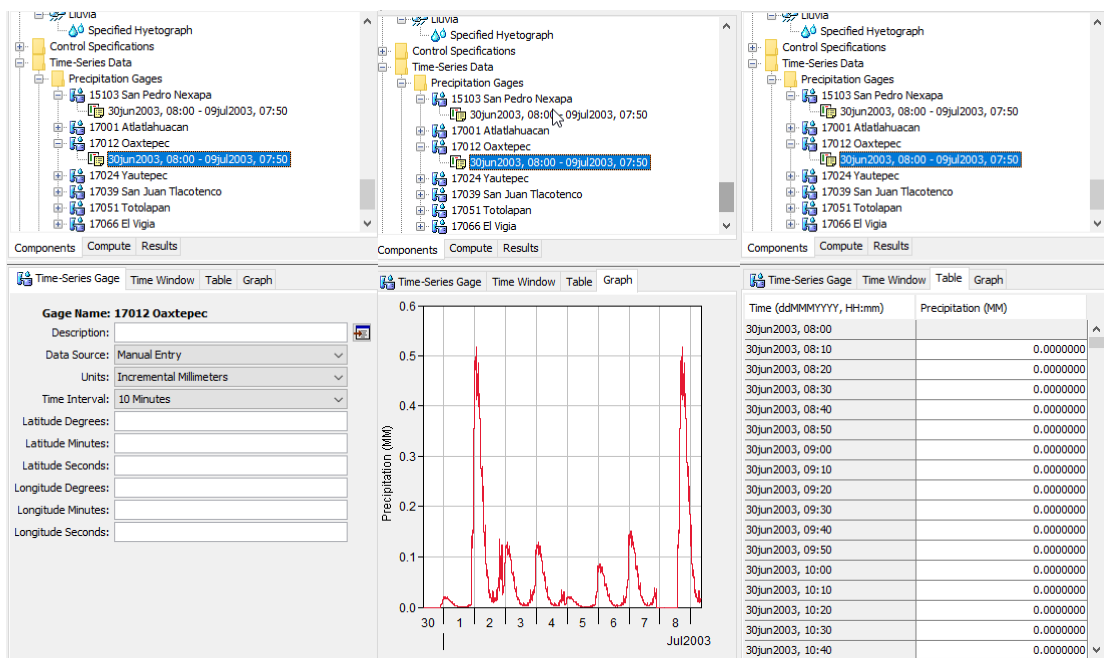


Ilustración 29. Configuración de la serie de datos de precipitación por estación meteorológica convencional.

h) Especificaciones de control

Este módulo permite establecer el tiempo de la simulación a continuación presentan los intervalos de especificaciones que se utilizaron para los eventos a analizar:

Tabla 35. Especificación de control.

Evento	Especificaciones de control	Intervalo
4 de julio del 2003	03/07/03 - 04/07/03	1 hora
17 de agosto del 2010	17/08/10 - 18/08/10	1 hora
25 de agosto del 2010	25/08/10/ - 26/08/10	1 hora

i) Corrida del modelo hidrológico

Para iniciar a correr el programa, en compute, create compute, simulation run. Para este proyecto se realizaron 3 diferentes corridas para los distintos eventos a analizar. El tiempo de modelación, tardo un promedio de 5 minutos por modelación.

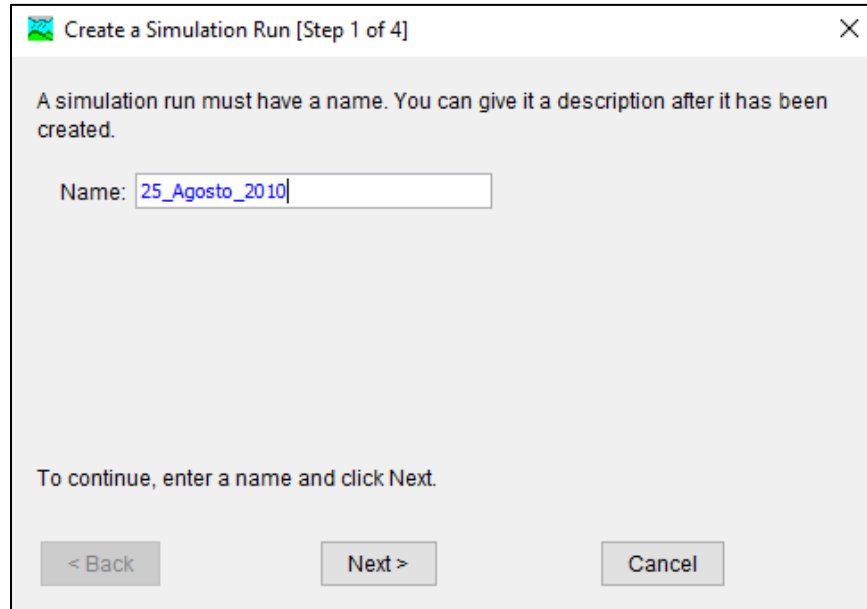


Ilustración 30. Asignación del nombre a la corrida.

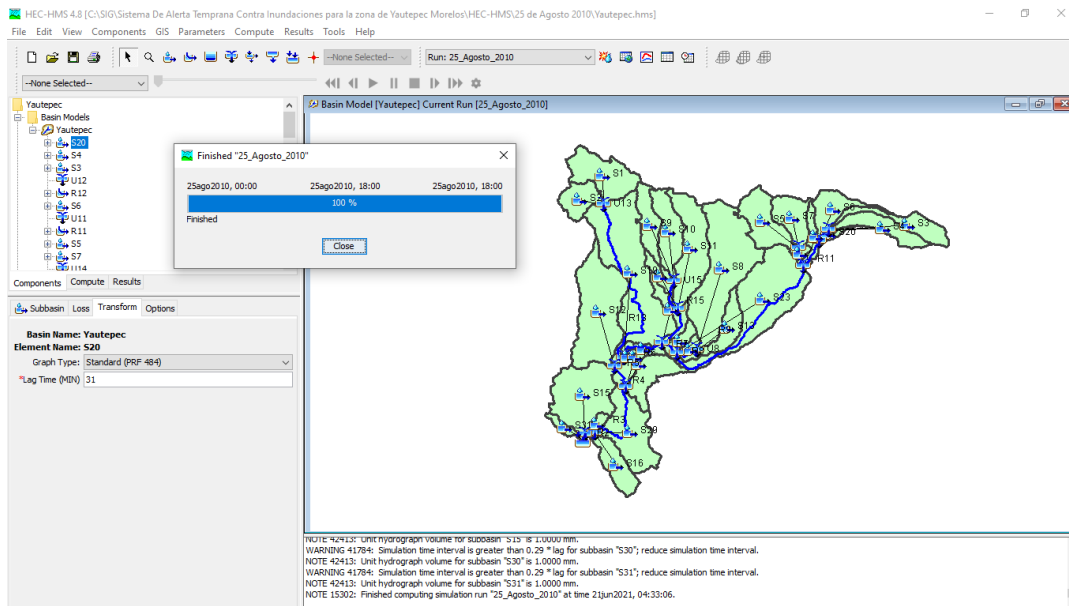


Ilustración 31. Corrida del evento 25/08/2010.

Una vez terminada la corrida en la pestaña de resultados y visualizan los datos obtenidos. Los resultados de nuestro interés se encuentran en la unión U5 ya que esta se encuentra a la salida de la subcuenca que se pretende utilizar como punto de calibración.

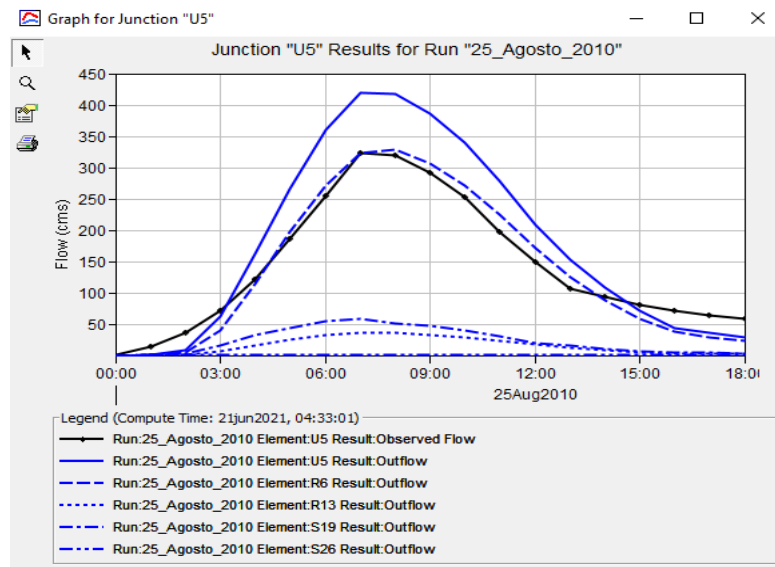


Ilustración 32. Resultados obtenidos de la primera corrida del evento 25/08/2010.

Verificamos los datos obtenidos y podemos observar que el flujo observado (Observed Flow) tiene bastante congruencia con los valores de salida del tramo del río (R6). Para lo cual procedemos a realizar la sumatoria del hidrograma de salida de la cuenca S26 y el tramo de río R6, dando como resultado el hidrograma neto de la subcuenca. De manera manual y utilizando el ajuste de bondad (ver anexo 3) obtenemos el siguiente resultado (ver ilustración 33).

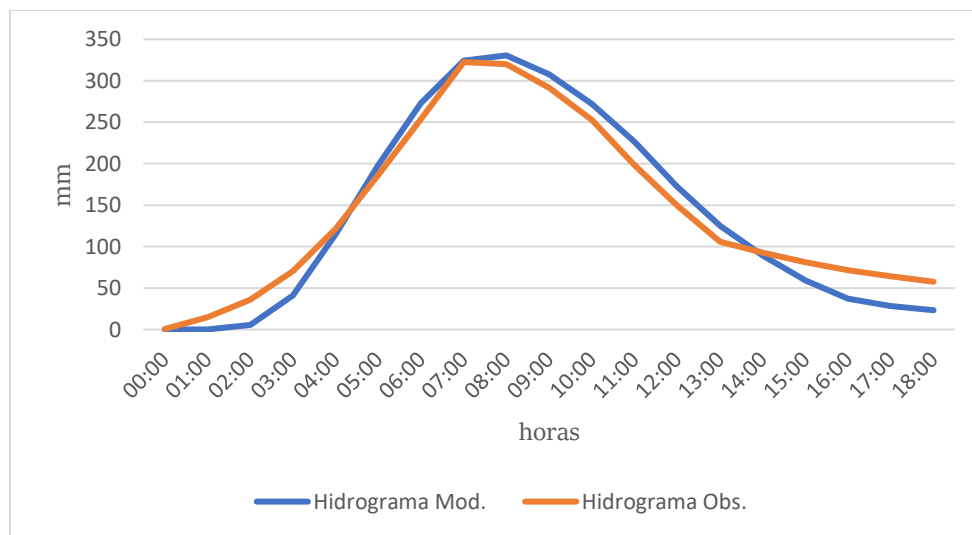


Ilustración 33. Comparación de los hidrogramas modelados vs el hidrograma observado en la estación Yautepec.

Como se puede apreciar en la ilustración 33 el hidrograma simulado con el observado tiene mucha similitud, producto del resultado de la modelación hidrológica. A partir de la información de los hidrogramas del modelo hidrológico, se incorporan al modelo hidráulico, a la altura de la estación

Yautepec. En la *ilustración 34* se presenta el área que se utilizó para la modelación hidrológica y la modelación hidráulica.

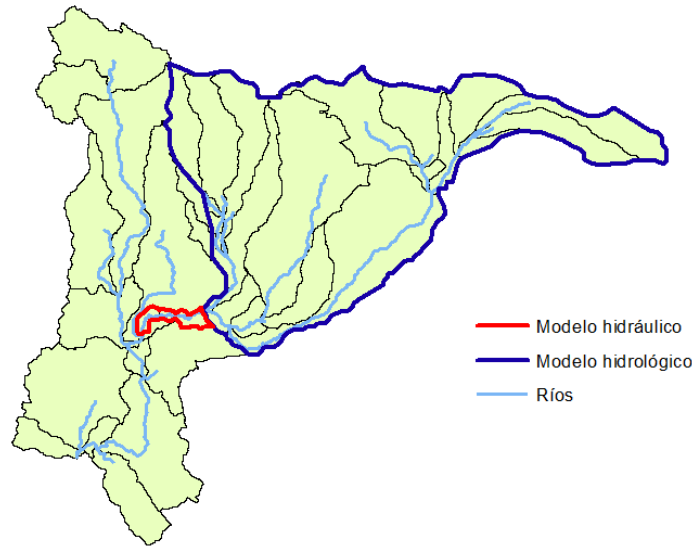


Ilustración 34. Área de modelación hidráulica y modelación hidrológica.

7.1.2 Calibración y validación del modelo hidrológico

De los eventos analizados se extrajo un evento para la calibración del modelo hidrológico y 2 eventos para la validación del mismo. Para realizar el proceso de calibración se llevó a cabo mediante la variación del número de curva a partir del valor teórico y así también se modificaron las abstracciones iniciales, las cuales dependen del número de curva. Y para la validación se realizaron las corridas sin modificar dicho parámetro. Dando como resultados lo siguiente:

Tabla 36. Resultados de modelación hidrológica.

Evento		Fecha	R2	RMSE	Nash-Sutcliffe
1	Calibración	17 de agosto del 2010	0.9911	0.2	0.9891
2	Validación	25 de agosto del 2010	0.9804	0.4	0.9530
3	Validación	04 de julio del 2003	0.9694	0.3	0.9675

Se puede observar que se realizó una calibración favorable en base a los ajustes de bondad propuesto.

7.1.3 Modelación hidráulica

En el siguiente diagrama general se describe el proceso realizado para la modelación hidráulica, la cual se compone de 4 etapas: La creación de la malla, la introducción de los datos de entrada y los datos de salida, la rugosidad y los datos del problema. En la *ilustración 35* se presenta el diagrama que se utilizara para la modelación hidráulica.

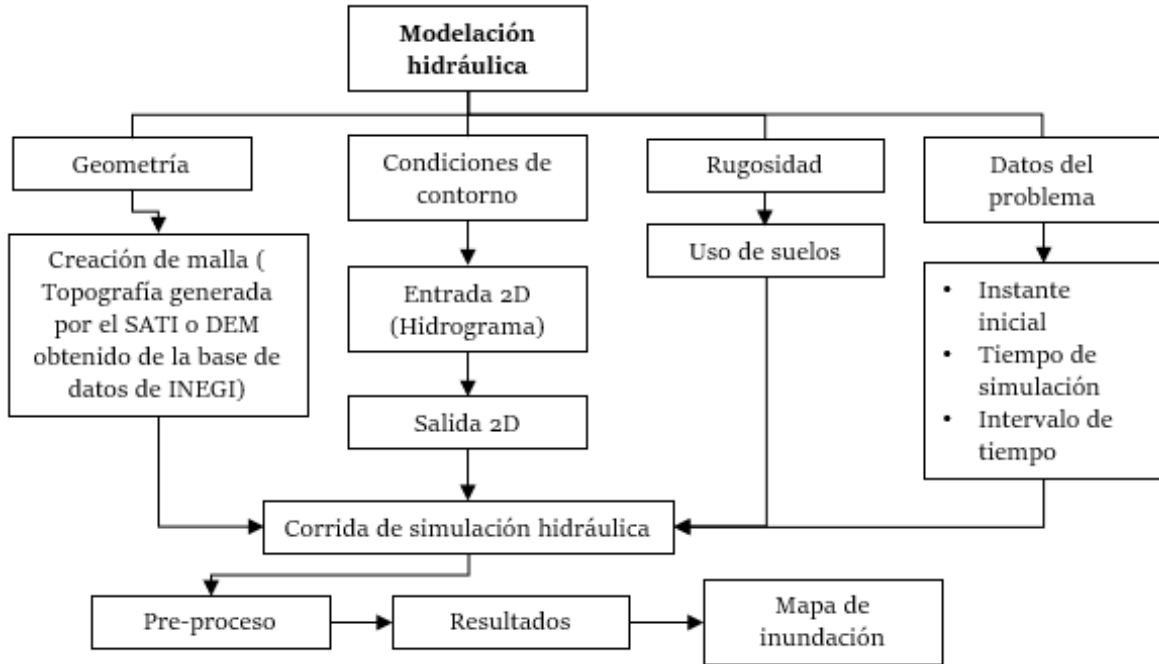


Ilustración 35. Diagrama de modelación hidráulica en IBER.

A. Geometría

Para generar la malla, IBER cuenta con varios métodos, el que se utilizará para este proyecto será con la herramienta RTIN la cual puede crear la malla directamente sin necesidad de crear la geometría. Haciendo el modelo más ligero y veloz. Para generar la malla desde la herramienta RTIN, se requiere darle un lado máximo y un lado mínimo a la malla, así como un porcentaje de error. Esto dependerá del modelo digital de elevaciones que se está utilizando. En este caso se utilizó una tolerancia de 0.2 metros, un lado máximo de 60 y un lado mínimo de 5.

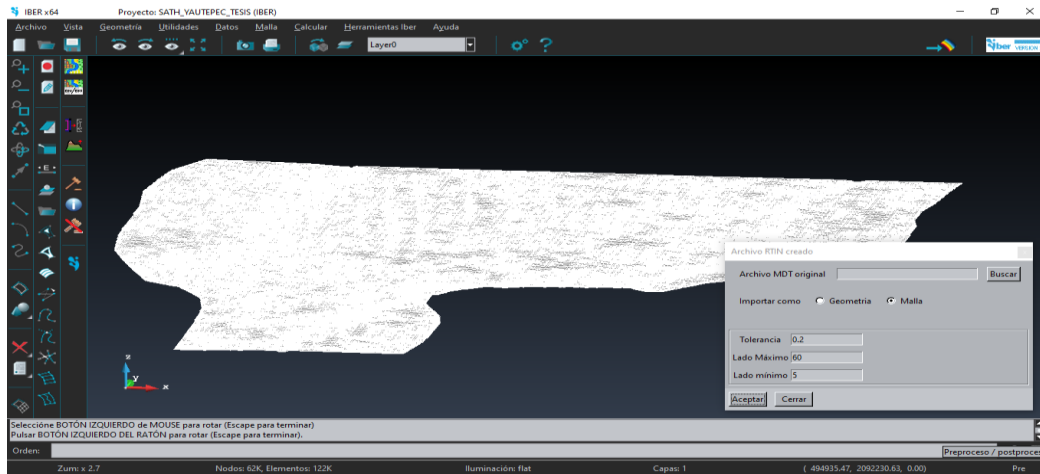


Ilustración 36. Geometría de la malla.

B. Condiciones de contorno

Se simulo un régimen supercrítico el cual será introducido por medio de un hidrograma unitario previamente obtenido del modelo hidrológico. Para saber por dónde se introduce el agua, utilizaremos una ortofoto que nos resultara de gran ayuda para este proceso. Ubicada la zona por donde entrará el agua al modelo, se seleccionó la opción de: Datos → Hidrodinámica → Condiciones de contorno.

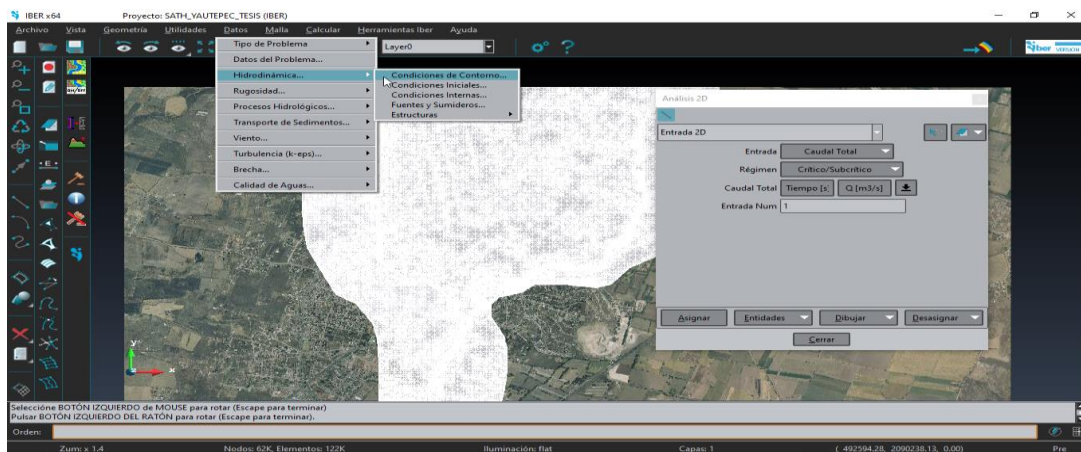


Ilustración 37. Condiciones de contorno de la malla.

En este proyecto se tienen dos entradas las cuales se identifican en la ortofoto. Para el proceso de asignación de salida, este proyecto solo cuenta con una.



Ilustración 38. Condiciones de contorno de entrada y de salida.

C. Rugosidad

La asignación manual puede hacerse sobre la geometría (superficies, líneas y puntos) o sobre la malla del modelo. Si se realiza sobre los elementos de la geometría, es importante generar la malla después de la asignación, para transferir la información a los elementos de la malla. Para ello se selecciona la ventana Datos → rugosidad → usos del suelo. IBER contiene una base de datos con usos del suelo y su correspondiente valor de Manning. No obstante, pueden agregarse usos del suelo nuevos o editarse los valores de Manning asignados a cada uno de ellos.

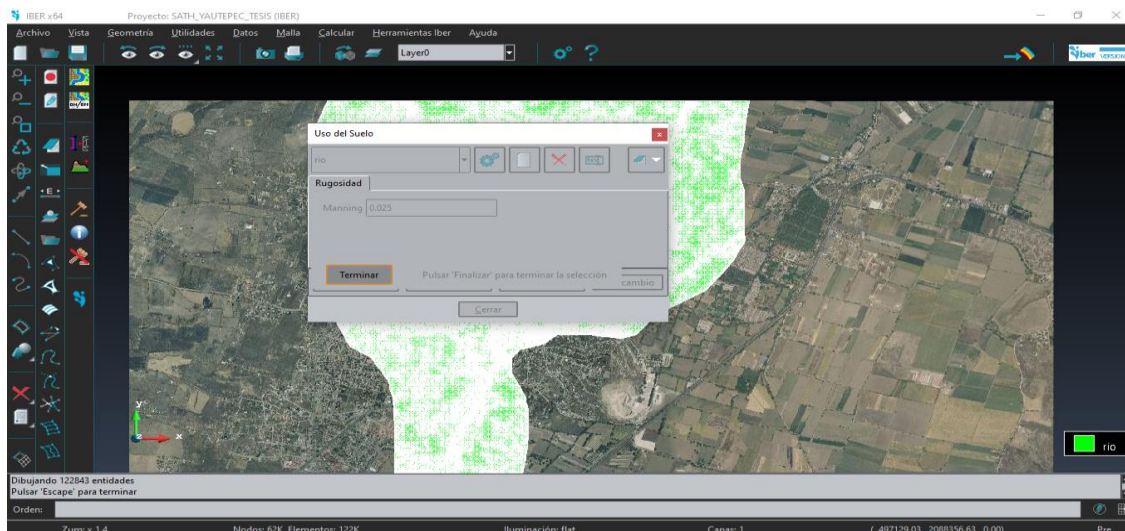


Ilustración 39. Rugosidad de la malla.

D. Datos del problema

En el menú de los datos del problema, se establecen los parámetros de duración del modelado, que corresponden a los instantes iniciales y finales del tiempo que se desea analizar, así como el tiempo de simulación máximo, el intervalo de tiempo que se desea representar en los resultados. En este mismo menú se selecciona en la opción de resultados, y se activa la casilla de generar mapa de peligro. Para este evento se le asignó al instante inicial o segundos, para el tiempo de simulación máximo 12000 segundos y para el intervalo de resultados 600 segundos.

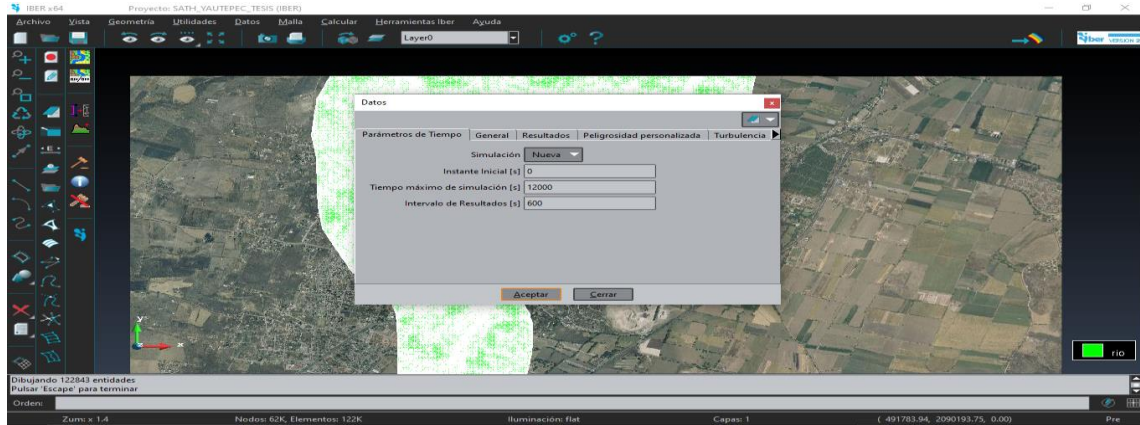


Ilustración 40. Datos del problema a analizar.

E. Inicio de simulación

Después de conformar y configurar los parámetros del modelo se realiza la primera corrida. Para esto seleccionamos la opción calcular → calcular o podemos utilizar el botón de inicio rápido.

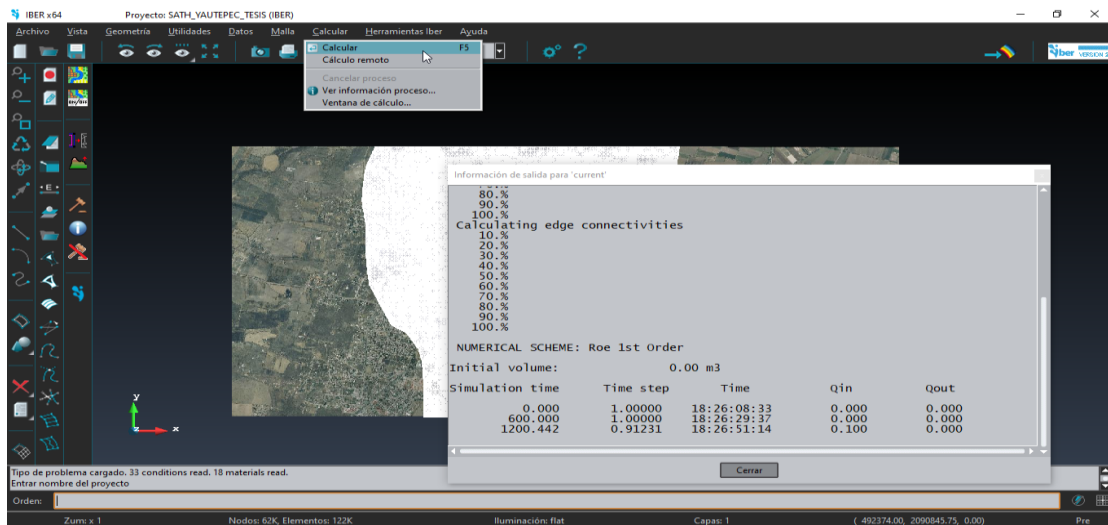


Ilustración 41. Corrida de la simulación hidráulica.

F. Post-proceso

Al finalizar el cálculo se despliega una ventana que te permite pasar al post-proceso o se puede acceder desde el botón rápido de inicio que te permite pasar del pre-proceso al post-proceso y viceversa.

G. Resultados obtenidos

Una vez que IBER realizó el procesamiento de la información nos permite visualizar resultados como: cota del agua, energía específica, número de Froude, caudal específico, velocidad específica y mapa de peligro (ver ilustración 42).

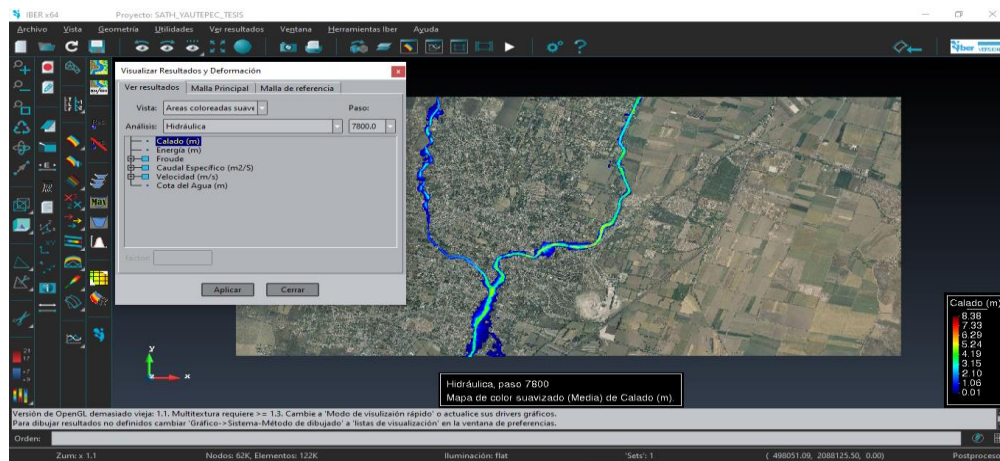


Ilustración 42. Resultados obtenidos de la modelación hidráulica.

Se exporta el mapa de peligro que fue obtenido de la modelación hidráulica y se compara con el mapa de colonias afectadas por inundación de esa fecha (ver ilustración 43).

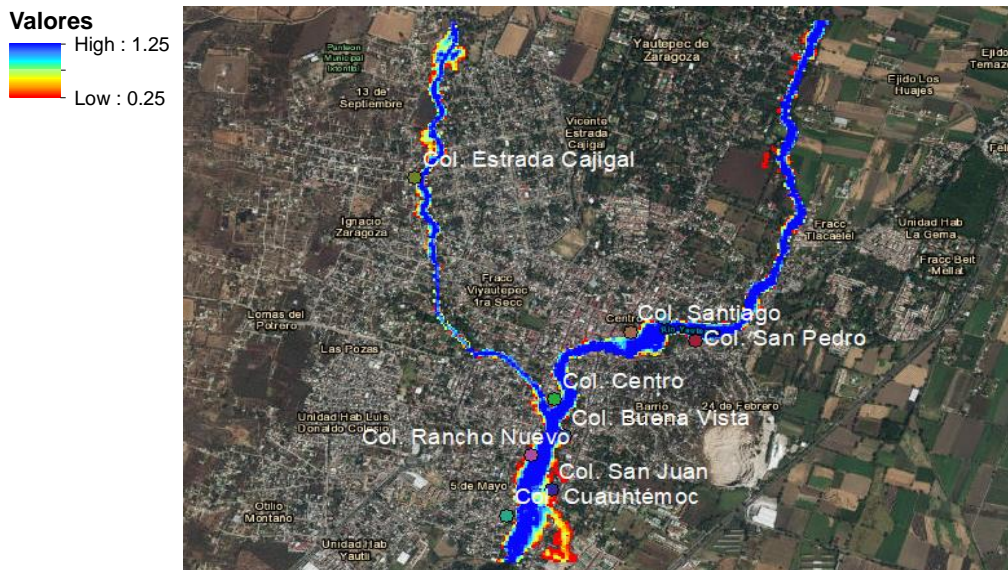


Ilustración 43. Mapa de peligro del evento 25 de agosto del 2010.

Se observa que existe bastante similitud entre el mapa de peligro que se obtuvo de la modelación hidráulica y la ubicación de las colonias afectadas para este evento (ver tabla 36).

Tabla 37. Afectaciones por las inundaciones del 25 de agosto del 2010 (Excelsior, 2010).

Colonia	Número de familias afectadas
Estrada Cajigal	109
Rancho Nuevo	35
San Juan	30
Centro	129
San Pedro	42
Santiago	39
Cuauhtémoc	74
Felipe Neri	50

Esta información se obtuvo de notas del periódico Excelsior, y se validó de acuerdo a censos realizados y consultas de campo, en las colonia antes mencionada.

7.1.4 Calibración del modelo hidráulico

Para efectuar la calibración del modelo hidráulico, se realizó lo siguiente:

Se ubicaron en la calle Zaragoza de la colonia centro del municipio de Yautepec unas placas (testigos) que se utilizaron para dejar registro de la altura aproximada de inundación a la cual llegó en distintas fechas (ver ilustración 47). En dicho punto se realizó la toma por medio de un GPS manual los puntos necesarios para ubicar en el modelo hidráulico los puntos para determinar la comparación del tirante modelado y el tirante que se tiene reporte por medio de los testigos previamente identificados.



Ilustración 44. Testigos de alturas de inundación.

Se realizaron algunas entrevistas a personas que viven cercanas al río, en colonias como: Buena Vista, Rancho Nuevo, Santiago, San Juan, San Pedro, Estrada Cajigal, Cuauhtémoc y

colonia centro. Donde se obtuvieron medidas aproximadas de alturas de inundación, para los 3 eventos que se analizaron. Para el caso del evento del 25 de agosto del 2010 se obtuvieron los siguientes datos (ver tabla 40):

Tabla 38. Ubicación de puntos de calibración (25/08/10).

Punto de calibración	Altura de inundación (m)	X	Y
Testigos (Placas)	1.50	-99.062574	18.885221
Papelería Diana	1.10	-99.062538	18.885257
Testigo (Col Buena Vista)	1.50	-99.062467	18.884543
Testigo (Col Cuauhtémoc)	1.60	-99.065001	18.877548
Testigo (Col. Rancho Nuevo)	1.10	-99.063680	18.882045
Testigo (San Juan)	1.20	-99.063109	18.878904
Testigo (Santiago)	1.30	-99.056935	18.886578
Testigo (Estrada Cajigal)	1.10	-99.069070	18.894144

Los datos de alturas fueron medidos manualmente con un flexómetro en base a lo relatado por los testigos, y la ubicación se obtuvo por medio de un GPS manual.

Durante las entrevistas en la colonia Buena Vista los vecinos nos relataron que, en la inundación del 25 de agosto del 2010 el nivel alcanzado por la inundación llegaba a la base del puente peatonal que conecta la colonia Buena Vista con la colonia Centro (ver ilustración 48).



Ilustración 45. Puente peatonal, col. Buena Vista.

Por tal motivo se procedió a realizar un levantamiento topográfico en esta sección de río (ver *ilustración 49*). Perfil de la sección del puente peatonal.

Obtenidos los datos observados en campo se procede a realizarles un ajuste de bondad para verificar su correlación entre los mismos. Obteniendo los siguientes R^2 para los 3 eventos que se analizaron (ver *tablas 42,43,44*).

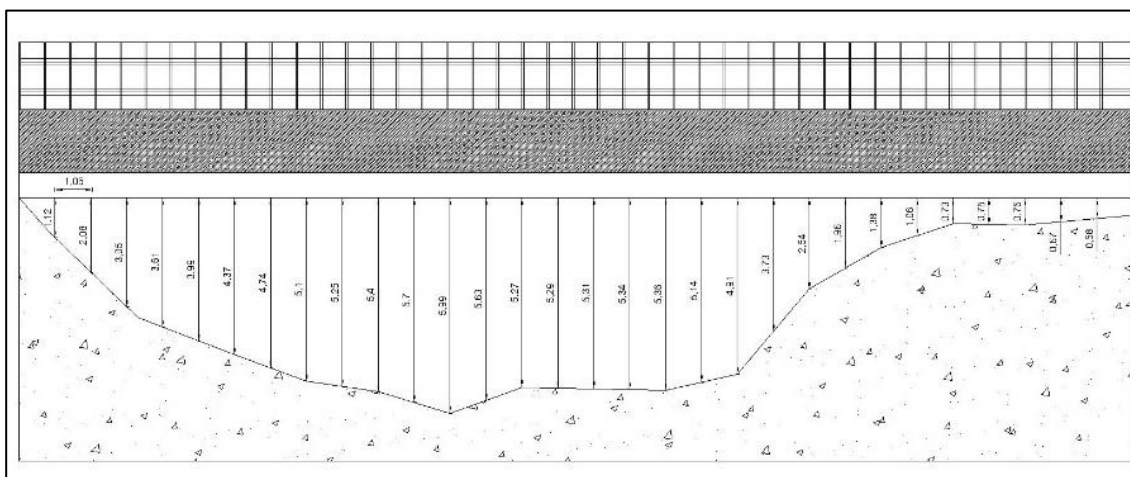


Ilustración 46. Perfil topográfico del cauce del río Yautepec.

Tabla 39. Ajuste de bondad para datos obtenidos por testigos (25/08/10).

Punto de calibración	Observado (m)	Modelado (m)
Testigos (Placas)	1.50	1.40
Papelería Diana	1.10	1.15
Testigo (Col Buena Vista)	1.50	1.26
Testigo (Col Cuauhtémoc)	1.60	1.50
Testigo (Col. Rancho Nuevo)	1.10	1.05
Testigo (San Juan)	1.20	1.15
Testigo (Santiago)	1.30	1.25
Testigo (Estrada Cajigal)	1.10	1.00
$R^2=$	0.85	

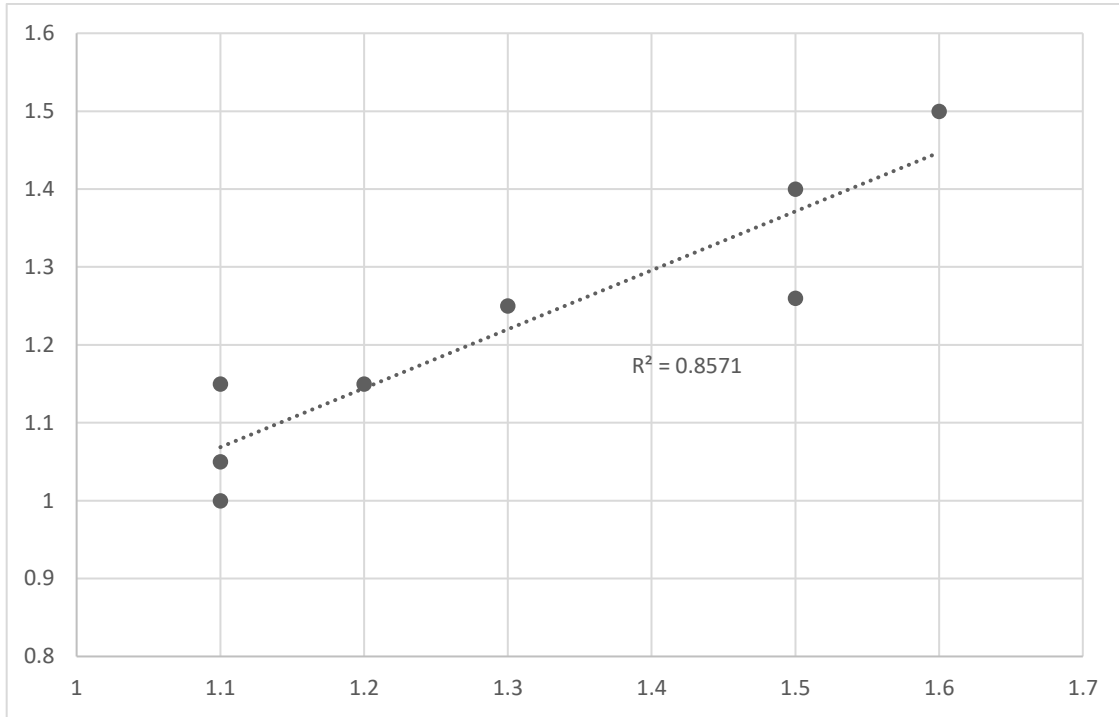


Figura 9. Relación de datos observados y modelados (25/08/10).

Tabla 40. Ajuste de bondad para datos obtenidos por testigos (17/08/10).

Punto de calibración	Observado (m)	Modelado (m)
Testigos (Placas)	1.50	1.40
Papelería Diana	1.10	1.15
Testigo (Col Buena Vista)	1.50	1.26
Testigo (Col Cuauhtémoc)	1.60	1.50
Testigo (Col. Rancho Nuevo)	1.10	1.05
Testigo (San Juan)	1.20	1.15
Testigo (Santiago)	1.30	1.25
Testigo (Estrada Cajigal)	1.10	1.00
R²=	0.87	

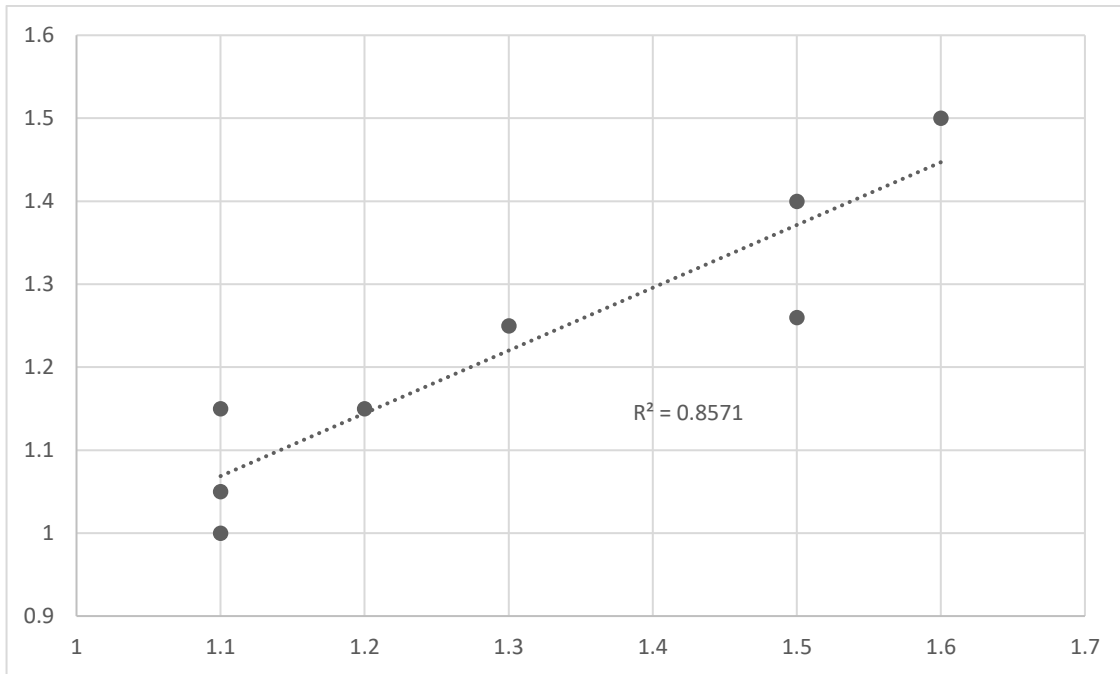


Figura 10. Relación de datos observados y modelados (17/08/10).

Tabla 41. Ajuste de bondad para datos obtenidos por testigos (04/07/03).

Punto de calibración	Observado (m)	Modelado (m)
Testigos (Placas)	1.50	1.40
Papelería Diana	1.10	1.15
Testigo (Col Buena Vista)	1.50	1.26
Testigo (Col Cuauhtémoc)	1.60	1.50
Testigo (Col. Rancho Nuevo)	1.10	1.05
Testigo (San Juan)	1.50	1.40
Testigo (Santiago)	1.10	1.15
Testigo (Estrada Cajigal)	1.55	1.60
R²=	0.83	

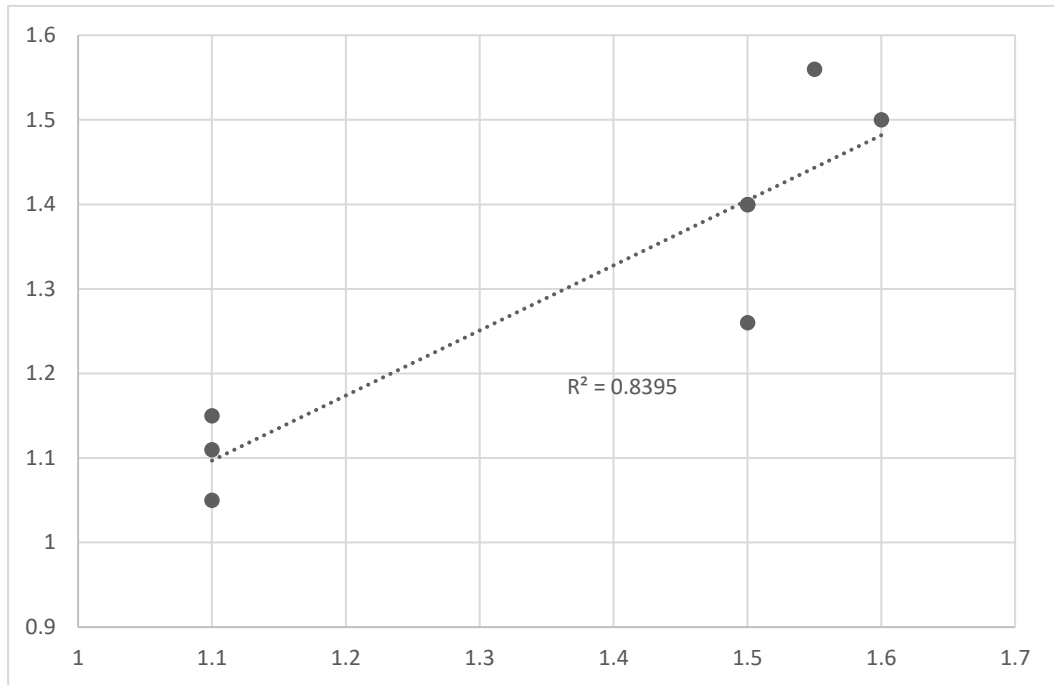


Figura 11. Relación de datos observados y modelados (04/07/03).

Para el caso del puente peatonal se realizó una comparación visual del perfil modelado en esa área y se colocó encima del perfil obtenido del levantamiento que se realizó en campo *ver ilustración 50*).

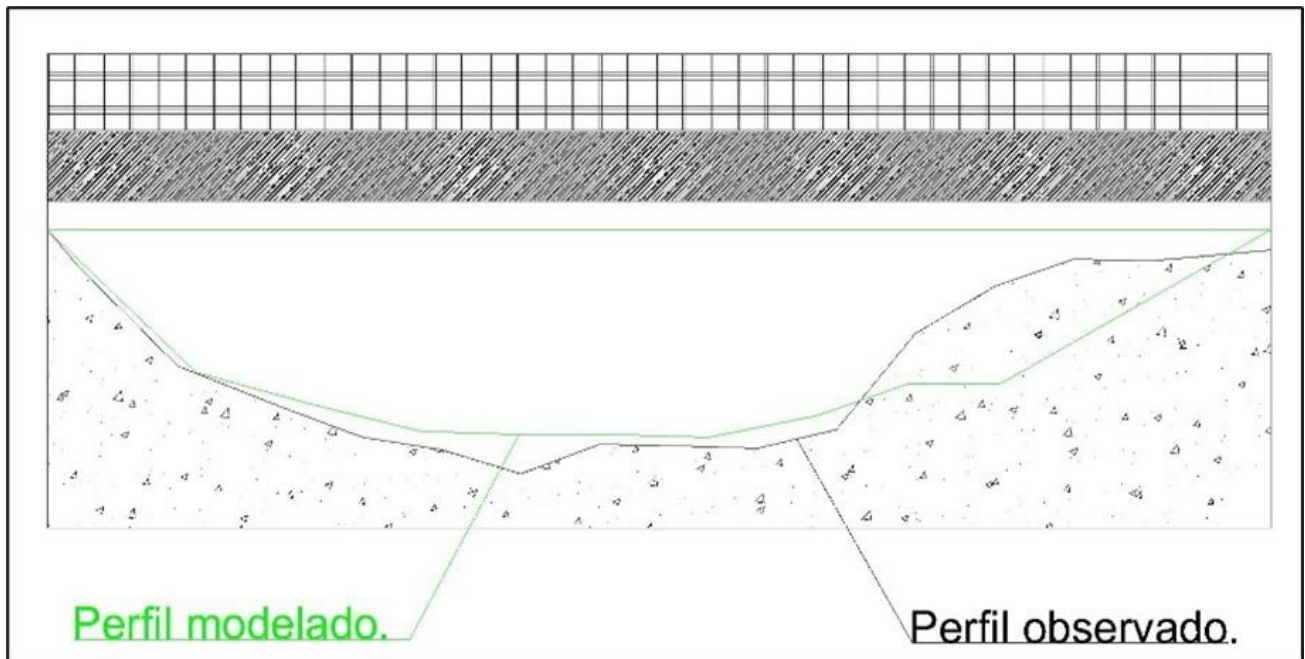


Ilustración 47. Comparación de perfiles observado y modelado para la sección del puente peatonal.

En la parte del área derecha del cauce se aprecia un bordo, el cual es un montículo de tierra que es depositado por los desazolves generados en esta área. Por ese motivo el perfil se dividió en 3 áreas.

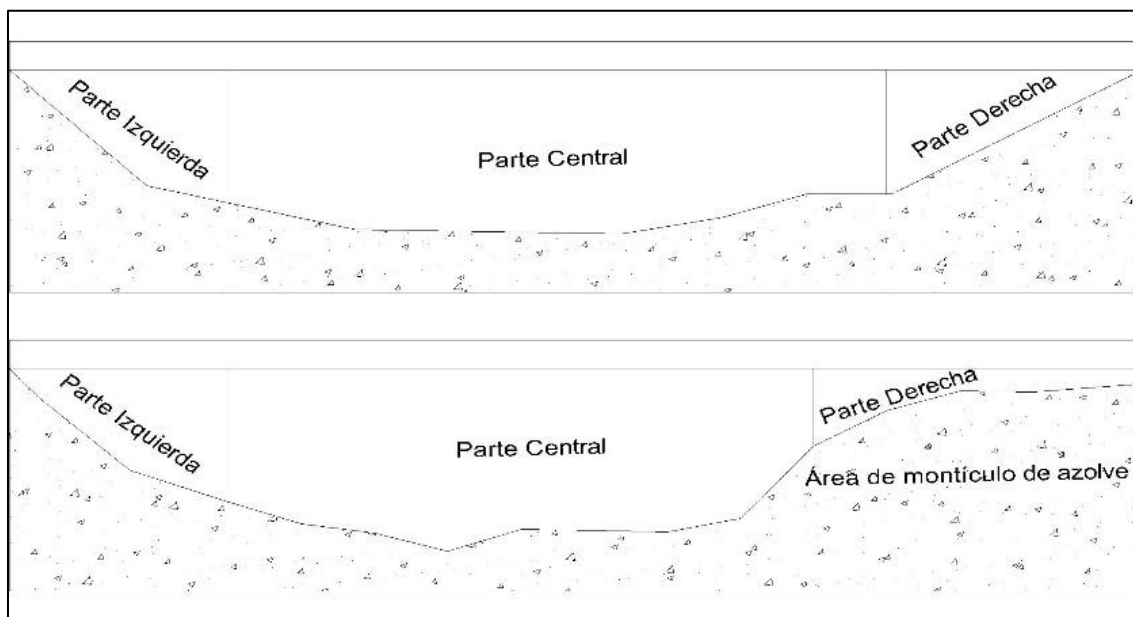


Ilustración 48. División del cauce.

Las áreas a comparar serán, la parte izquierda y la parte centro de ambos perfiles. Mediante el método de dovelas distribuidas a cada metro se obtuvieron los siguientes datos (ver tabla 45,46 y 47):

Tabla 42. Comparación de datos para calibración en puente peatonal (25/08/10).

Dovela	Parte analizada	Modelado (m)	Observado (m)
1	Parte Izquierda	1.07	1.12
2	Parte Izquierda	2.02	2.08
3	Parte Izquierda	3.03	3.05
4	Parte Izquierda	3.87	3.61
5	Parte Izquierda	4.14	3.99
6	Parte Central	4.4	4.37
7	Parte Central	4.66	4.74
8	Parte Central	4.9	5.1
9	Parte Central	5.14	5.25
10	Parte Central	5.27	5.4
11	Parte Central	5.3	5.7
12	Parte Central	5.32	5.99
13	Parte Central	5.32	5.63
14	Parte Central	5.32	5.27
15	Parte Central	5.35	5.29
16	Parte Central	5.38	5.31

17	Parte Central	5.35	5.34
18	Parte Central	5.15	5.36
19	Parte Central	4.96	5.14
20	Parte Central	4.69	4.91
21	Parte Central	4.36	3.73

Tabla 43. Comparación de datos para calibración en puente peatonal (04/07/03).

Dovela	Parte analizada	Modelado (m)	Observado (m)
1	Parte Izquierda	1.07	1.12
2	Parte Izquierda	2	2.08
3	Parte Izquierda	2.95	3.05
4	Parte Izquierda	3.55	3.61
5	Parte Izquierda	3.47	3.99
6	Parte Central	4.2	4.37
7	Parte Central	4.5	4.74
8	Parte Central	5.1	5.1
9	Parte Central	5	5.25
10	Parte Central	5.1	5.4
11	Parte Central	5.1	5.7
12	Parte Central	5.7	5.99
13	Parte Central	5.3	5.63
14	Parte Central	5.03	5.27
15	Parte Central	5.1	5.29
16	Parte Central	5.14	5.31
17	Parte Central	5.15	5.34
18	Parte Central	5.25	5.36
19	Parte Central	5.05	5.14
20	Parte Central	4.82	4.91
21	Parte Central	3.65	3.73

Tabla 44. Comparación de datos para calibración en puente peatonal (17/08/10).

Dovela	Parte analizada	Modelado (m)	Observado (m)
1	Parte Izquierda	1.14	1.12
2	Parte Izquierda	2.1	2.08
3	Parte Izquierda	2.79	3.05
4	Parte Izquierda	3.63	3.61
5	Parte Izquierda	3.78	3.99
6	Parte Central	4.55	4.37
7	Parte Central	4.65	4.74
8	Parte Central	5.2	5.1
9	Parte Central	5.2	5.25
10	Parte Central	5.5	5.4
11	Parte Central	5.6	5.7

12	Parte Central	5.8	5.99
13	Parte Central	5.58	5.63
14	Parte Central	5.18	5.27
15	Parte Central	5.33	5.29
16	Parte Central	5.33	5.31
17	Parte Central	5.37	5.34
18	Parte Central	5.41	5.36
19	Parte Central	5.1	5.14
20	Parte Central	4.88	4.91
21	Parte Central	3.71	3.73

Utilizando las herramientas de correlación y normalidad del software R-Commander se obtuvieron los siguientes resultados (ver tabla 47 y 48):

Tabla 45. Resumen de test de correlación.

Fecha	Coficiente	Valor	Correlación
25/08/2010	Karl Pearson	0.88	Aceptada
	Spearman	0.93	
	Kendall	0.80	
17/08/2010	Karl Pearson	0.83	Aceptada
	Spearman	0.87	
	Kendall	0.81	
04/07/2003	Karl Pearson	0.75	Aceptada
	Spearman	0.85	
	Kendall	0.84	

Tabla 46. Resumen de test de normalidad.

Fecha	Coficiente	P-Valor	α	Hipótesis nula
25/08/2010	Shapiro-Wilk	0.000624	0.05	Se acepta
	Cramer-Von Mises	0.000578	0.05	Se acepta
	Chi-Cuadrado de Pearson	0.00003428	0.05	Se acepta
17/08/2010	Shapiro-Wilk	0.000842	0.05	Se acepta
	Cramer-Von Mises	0.000284	0.05	Se acepta
	Chi-Cuadrado de Pearson	0.00002478	0.05	Se acepta
04/07/2003	Shapiro-Wilk	0.000247	0.05	Se acepta
	Cramer-Von Mises	0.000287	0.05	Se acepta
	Chi-Cuadrado de Pearson	0.00002828	0.05	Se acepta

Observamos que los test respondieron de manera favorable se continuó a realizar un ajuste de bondad a las áreas izquierda y central de los perfiles modelo y observado de la sección del puente peatonal. Obteniendo como resultado el siguiente resumen (ver tabla 49):

Tabla 47. Estimación del error porcentual para el ajuste de bondad.

Lugar	Fecha	% Error (Promedio)
Puente Peatonal Buena Vista	04/07/03	4.26
Puente Peatonal Buena Vista	17/08/10	0.58
Puente Peatonal Buena Vista	25/08/10	1.02

En general podemos determinar que el modelo hidráulico se encuentra calibrado para estos eventos.

7.4 COMPONENTES DEL ÁREA PREVENTIVA

En este apartado se describen las subáreas que componen el área preventiva.

7.4.1 Mantenimiento preventivo y correctivo

- Revisar el buen funcionamiento de las alarmas.
- Realizar recorridos para verificar el libre cauce del río.
- Limpiar zona donde se encuentren ubicadas las reglas de niveles del cauce.
- Propuesta de obras de rectificación.
- Mantenimiento a calles que se utilicen como salida de emergencia.
- Mantener en buen estado los albergues.

7.4.2 Divulgación de información trascendental

Se plantea utilizar los siguientes conductos para la divulgación de información por parte del SATH hacia la comunidad.

A. Internet

Hoy en día casi toda la población tiene acceso a esta red informática, por lo cual se plantea crear un portal destinado a divulgar información por parte del SATI, donde se mostrarán la información generada antes, durante y después de una inundación.

B. Televisión abierta

Por ser un medio de comunicación global. Se pretende tener siempre contacto con televisoras locales para compartirles información de proceso del semáforo de peligro

C. Radio

Si por motivos de desastre natural la energía eléctrica se corta, se plantea utilizar por medio de estaciones de radio, la divulgación de información del proceso de catástrofe en base a los niveles de alerta.

D. Perifoneo

Si por algún motivo no se contara con algún medio eléctrico que pudiera provocar que alguna persona no se percatara de la avenida de una inundación. Se generan brigadas de perifoneo en zonas de riesgo.

E. Celular

Al ser un dispositivo electrónico versátil se plantea utilizar para:

- Envío de mensajes de texto a ayudantes de colonias susceptibles a inundación.
- Realizar llamadas de advertencia a comités organizados locales para mantener la propagación de información entre vecinos.
- Divulgar información por medio de grupos de WhatsApp, Telegram, Line, Signal, etc.

También se planea realizar talleres de concientización para definir la importancia del sistema de alerta temprana en el municipio y su funcionamiento, al igual de los cambios de mejoramiento que se hagan al sistema.

7.4.3 Umbrales de alerta

En un sistema de alerta temprana contra inundaciones es necesaria la definición de umbrales de nivel y precipitación para establecer los diferentes niveles de alerta. Los umbrales de nivel corresponden a niveles de flujo que permiten emitir advertencias y alertas de inundación en ciertos puntos del cauce. Cabe resaltar que para este trabajo los tiempos de alerta son aproximados, sin tomar en cuenta agentes externos que podrían provocar una inundación inminente, dichos agentes podrían ser exceso de sedimentos, obras que interfieran al libre cauce del río, etc.

A. Caudal-nivel

Los umbrales de caudal-nivel se determinaron con base a la metodología utilizada por Agencia Catalana del Agua (ACA). Los parámetros que utiliza son el tirante y la velocidad, con esto determina el grado de peligrosidad como se muestra en la *tabla 37*:

Tabla 48. Umbrales de alerta para caudal-nivel.

Tipo de alerta	Gravedad	Descripción	Rango	Factor de peligro	Nivel del río (msnm).	Tiempo aproximado (min.)

Roja	Extrema	Zona donde las condiciones hidráulicas presentan un calado superior a 4 metros, una velocidad mayor que 6 m/s	$t > 4m$ $v > 6 \text{ m/s}$ $t \cdot v > 24 \text{ m}^2/\text{s}$	6.0	Mayor a 1216	55
Roja	Muy alta	Zona donde las condiciones hidráulicas presentan un calado entre 2 y 4 metros, una velocidad entre 3,5 y 6 m/s o el producto de ambas superior a 1 m ² /s	$2 < t < 4m$ $3,5 < v < 6 \text{ m/s}$ $1 < t \cdot v < 24 \text{ m}^2/\text{s}$	4.0	1214	60
Naranja	Alta	Zona donde las condiciones hidráulicas presentan un calado entre 1 y 2 metros, una velocidad entre 1 y 3,5 m/s o el producto de ambas superior a 0,5 m ² /s	$1 < t < 2m$ $1 < v < 3,5 \text{ m/s}$ $0,5 < t \cdot v < 7 \text{ m}^2/\text{s}$	2.0	1213.5	65
Amarrilla	Moderada	Zona donde las condiciones hidráulicas presentan un calado superior a 0,4 metros, una velocidad mayor a 0,4 m/s y el producto de ambas superior a 0,08 m ² /s	$0,4 < t < 1m$ $0,4 < v < 1 \text{ m/s}$ $0,08 < t \cdot v < 1 \text{ m}^2/\text{s}$	1.0	1211	70

Verde	Baja	Zona donde las condiciones hidráulicas presentan un calado inferior a 0,4 metros, una velocidad menor a 0,4 m/s	$t \leq 0,4m$ $v \leq 0,4$ m/s $t^*v \leq 0,08m^2/s$	0.5	1210.4	80
-------	------	---	---	-----	--------	----

Para este proyecto se proponen dos conjuntos de umbrales de caudal-nivel, para el cauce del río (ver ilustración 44) y para calles que se encuentren propensas a inundación (ver ilustración 45).

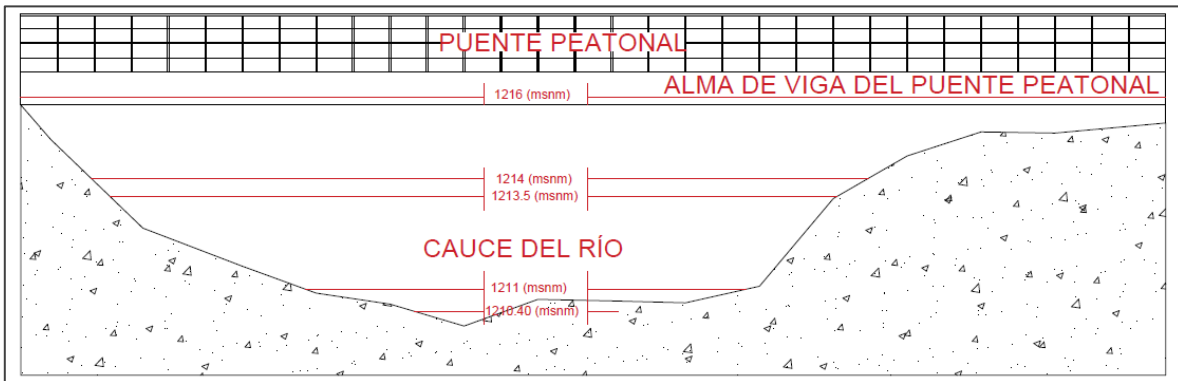


Ilustración 49. Umbrales caudal-nivel dentro del cauce del río.

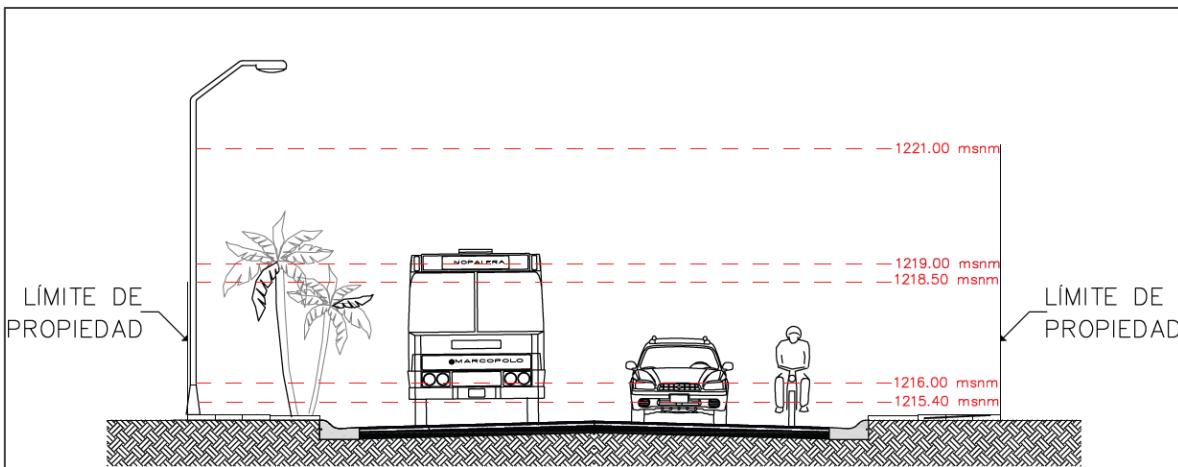


Ilustración 50. Umbral de caudal- nivel en las calles.

Estos umbrales podrían cambiar por efectos naturales o por la acción del hombre por lo que es necesario actualizar periódicamente.

B. Precipitación

Los umbrales de precipitación se determinaron en base a 5 estaciones meteorológicas convencionales, las cuales se eligieron en base al mayor tiempo operando y su número de datos

diarios existentes. Al realizar el análisis del conjunto de datos de precipitación de las estaciones meteorológicas se determinó que el 80% de los datos rondan entre 0 y 20 mm (ver ilustración 46). Por este motivo se eligió obtener los umbrales de precipitación por medio de probabilidad de ocurrencia. Para determinar los umbrales de precipitación se realizó lo siguiente: Se organizaron los datos de menor a mayor para obtener una linealidad en los datos menor y se obtuvo la probabilidad de ocurrencia de todos las estaciones analizadas. Para lo cual se seleccionaron los cuadriles que corresponden al 25%, 50%, 75% y el 100%. Identidad el valor de precipitación que corresponde a cada cuadril se realizó un promedio, dando como resultado en la *tabla 38*:

Tabla 49. Umbrales de alerta de precipitación.

	Alerta Verde	Alerta Amarilla	Alerta Naranja	Alerta Roja
	mm	mm	mm	mm
Estación	<i>25%</i>	<i>50%</i>	<i>75%</i>	<i>100%</i>
Oacalco	13.5	24	42	125
Totolapan	11.8	22.4	38.5	159
Tepoztlán	13,5	25.7	43.9	182.5
Oaxtepec	11	21	36	120
San Juan Tlacotenco	13.7	25.6	45	218.3
Promedio	12.5	23.74	41.08	160.96

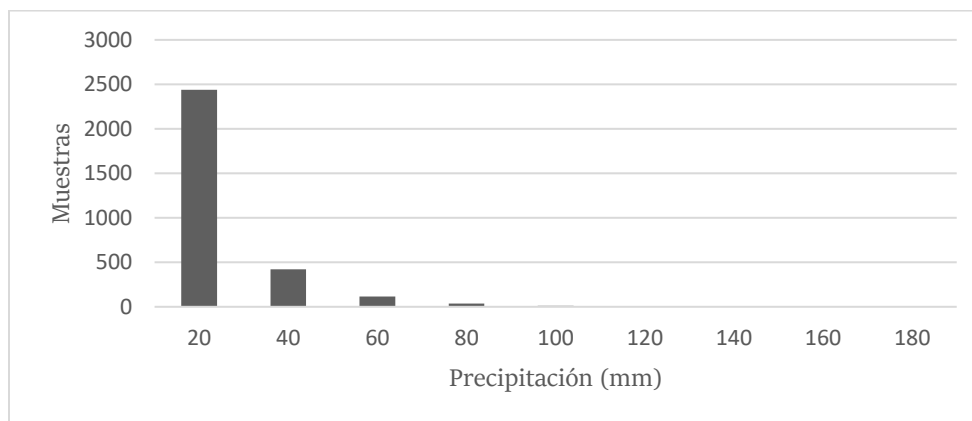


Ilustración 51. Distribución de número de muestras con respecto a intervalos de precipitación.

8. RESULTADOS

Dentro de los resultados más sobresalientes se enuncian los siguientes:

- Con los datos de capas obtenidos se pudo realizar un SIG.
- Se realizó una investigación de los datos preliminares, detectando que la zona carece de información de estaciones hidrométricas, así como de estaciones meteorológicas automáticas que permitan obtener información histórica del comportamiento de la zona de estudio. Por lo tanto, se analizaron 3 eventos históricos de inundación en el municipio de Yautepec.
- Se realizó una propuesta de instrumentación para el SATI.
- Se generó un presupuesto para el funcionamiento del SATI por un año, el cual arrojó un costo total de \$ 13,813,542.
- Se generaron mapas de peligro y se obtuvo una lista de colonias en peligro de inundación para los eventos que se analizaron. Y se comparó con la lista de colonias afectadas en cada evento para verificar la veracidad de los resultados obtenidos.
- Se generaron umbrales de precipitación y de caudal-nivel.
- Los 3 eventos históricos de inundación propuestos se calibraron con éxito para los modelos hidrológicos e hidráulicos utilizados. A continuación, se describe el proceso de ambas modelaciones:

8.1 PROPUESTA DE INSTRUMENTACIÓN

Se realizó una propuesta de instrumentación que consta de estaciones meteorológicas automáticas y estaciones hidrométricas automáticas, así como de un sistema de alarmas, un sistema de cámaras de vigilancia y reglas para medir el nivel de cauce.

A. Estaciones hidrométricas y climatológicas

Para la instrumentación se propone:

- 4 estaciones meteorológicas automáticas.
- 3 estaciones hidrométricas automáticas.

Las cuales se ubicarán de manera estratégica para obtener mayores datos que sirvan para entender el comportamiento lluvia-escurrimiento en la zona. La distribución se presenta en la *ilustración 53* y la ubicación propuesta (*ver tabla 50*).

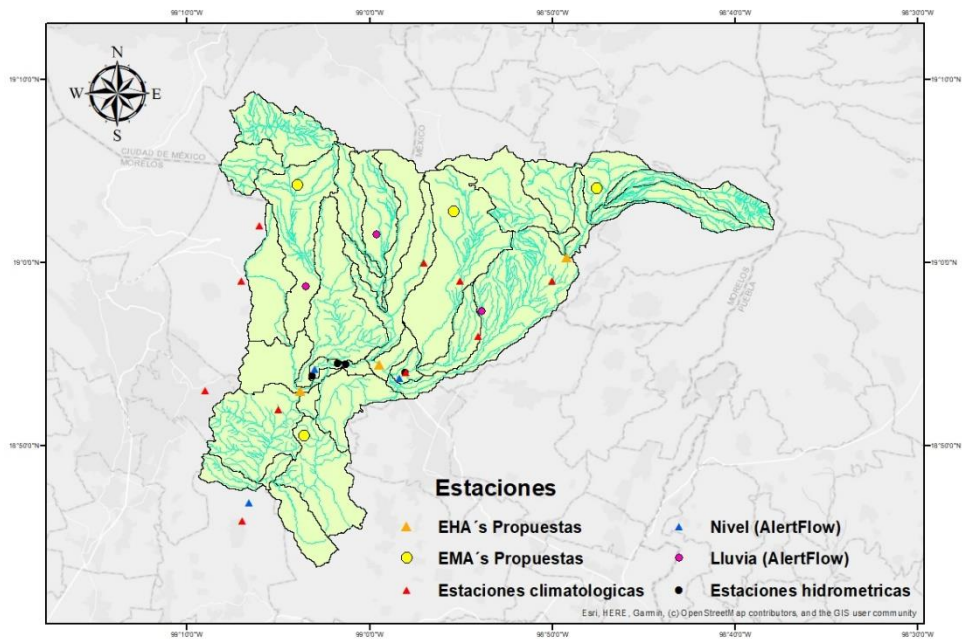


Ilustración 52. Plan de ubicación de EMA's y EHA's.

Tabla 50. Lugares donde se ubicarían las EMA's y EHA's.

Tipo de estación	Estado	Municipio	Localidad	X	Y
EM	Morelos	Tepoztlán	San Juan Tlacotenco	19.072931	-99.068720
EMA	Morelos	Totolapan	Felipe Neri	19.047819	-98.920350
EMA	Morelos	Yautepec	Nopalera	18.844571	-99.059836
EMA	Estado de México	Tepextlipa	San Mateo Tecalco	19.068045	-98.793338
EHA	Estado de México	Tepextlipa	Col. Del coyote	19.009489	-98.819808
EHA	Morelos	Yautepec	Rancho Nuevo	18.906753	-98.992022
EHA	Morelos	Yautepec	Nopalera	18.882831	-99.061106

B. Reglas para medir el nivel de agua en el cauce

La instalación de reglas fluorescentes será primordial para tener la información de los niveles de agua dentro del cauce del río (ver tabla 51). Por tal motivo se propone la instalación de 11 reglas posicionadas en el río principal (ver ilustración 53).

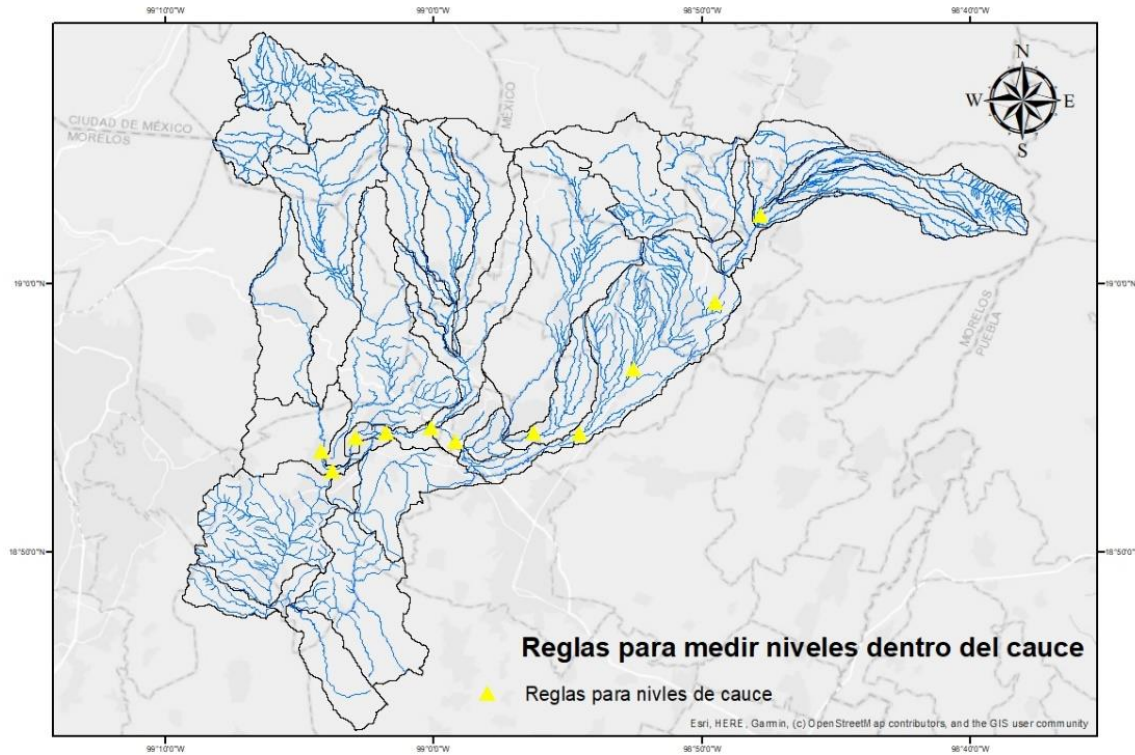


Ilustración 53. Ubicación de reglas para medir nivel de agua dentro de los cauces.

Tabla 51. Lugares donde ubicarían las reglas para medición de niveles de agua dentro del cauce.

Numero.	Estado.	Municipio.	Localidad.
1	Morelos.	Yautepec.	Rancho Nuevo.
2	Morelos.	Yautepec.	Buena vista.
3	Morelos.	Yautepec.	Viyautepec.
4	Morelos.	Yautepec.	Centro.
5	Morelos.	Yautepec.	Itzamatitlan.
6	Morelos.	Yautepec.	Oaxtepec.
7	Morelos.	Yautepec.	Cocoyoc.
8	Morelos.	Yecapixtla.	Zahuatlan.

9	Morelos.	Atlatlahuacan.	Santa Ana.
10	Estado de México.	Tepextlipa.	Emiliano Zapata.
11	Estado de México.	Ozumba.	San Francisco.

C. Sistema de cámaras

El sistema de cámaras se propone en zonas de riesgo, para observar antes de una posible inundación el comportamiento del cauce. Así como verificar que las zonas que fueron evacuadas ante la llegada de un desastre hidrometeorológico, hayan evacuado.

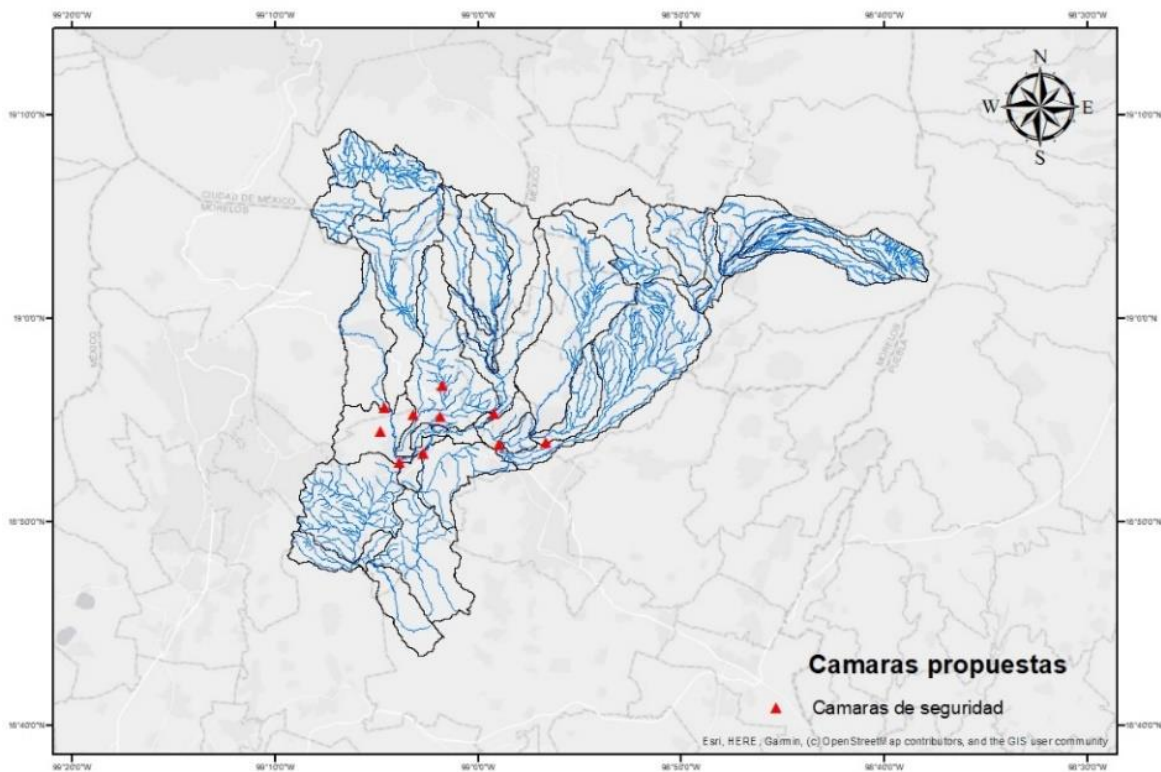


Ilustración 54. Ubicación de sistema de cámaras de vigilancia.

D. Sistema de alarmas

Este sistema será primordial para tener en alerta a las comunidades y avisar a los ciudadanos la llegada de una posible inundación. Es importante mencionar que las alarmas se colocaran en las ayudantías de las comunidades más propensas a inundación.

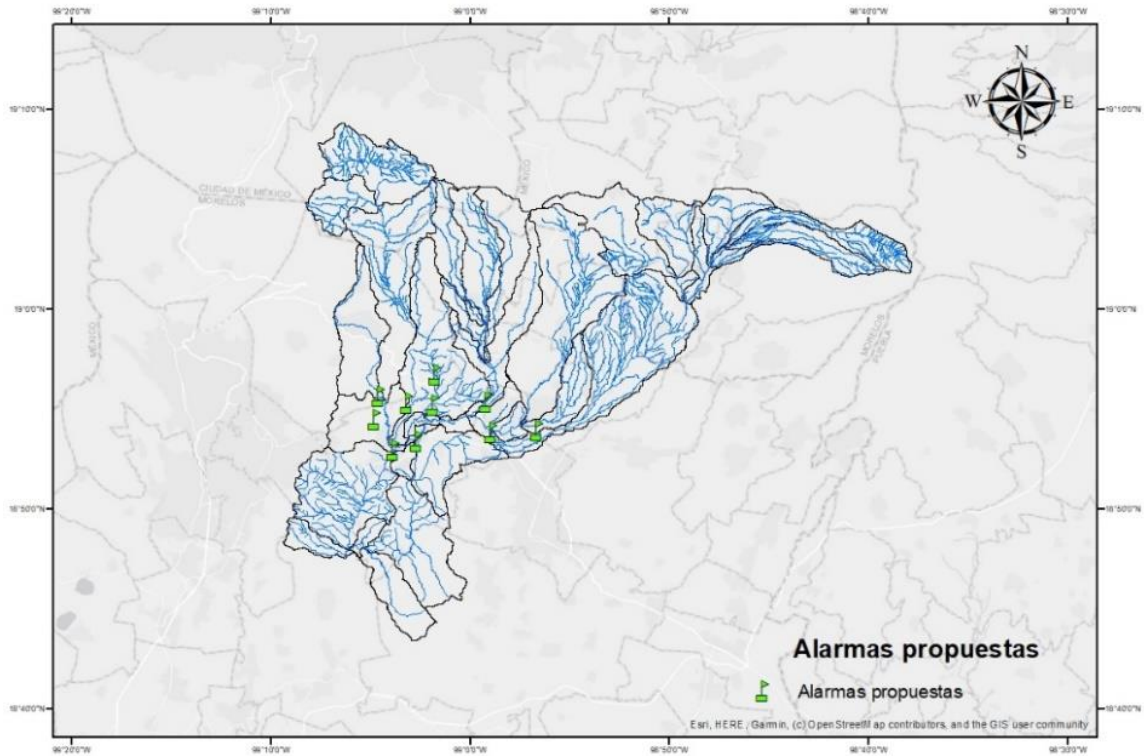


Ilustración 55. Ubicación de sistema de alarmas.

8.2 ALBERGUES DE EMERGENCIA Y RUTAS DE EVACUACIÓN

Con base al análisis de los eventos meteorológicos extremos del municipio de Yautepec se determinó que un promedio aproximado de 400 familias se ven afectadas cuando existe una inundación. tomando en cuenta que aproximadamente cada familia es de 5 integrantes tenemos un resultado de 2000 personas afectadas y que en su mayoría pierden lo esencial para vivir días después de la inundación.

Por este motivo se realizó un estudio de la zona para determinar lugares que pudieran servir como albergues y poder albergar al número de familias que podrían recibir cada uno de los lugares propuestos, dando como resultado la siguiente relación:

Tabla 52. Albergues de emergencia propuestos.

Nombre	Ubicación	Número de personas a resguardar
Lienzo Charro	Morelos Cuernavaca - Yautepec de Zaragoza 126, Otilio Montaña, 62730 Yautepec de Zaragoza, Mor.	150
Unidad Deportiva Atlihuayan	Jiutepec - Yautepec de Zaragoza 41, Atlihuayan, 62730 Yautepec de Zaragoza, Mor.	300

CDY	Tepoztlán - Yautepec 1a, Benito Juárez, 62730 Yautepec de Zaragoza, Mor.	1000
Cetis 99	Paseo Tlahuica 127, Paraíso, 62730 Yautepec de Zaragoza, Mor.	300
Secundaria IMA	C. Esther Casariego s/n, Rancho Nuevo, 62731 Yautepec de Zaragoza, Mor.	300
Prim. Ignacio Zaragoza	Calle Emiliano Zapata 12, Centro, 62731 Yautepec de Zaragoza, Mor.	200
Prim. Miguel Hidalgo.	Benito Juárez, 62732 Yautepec de Zaragoza, Mor.	350
Total de personas que podría recibir estos albergues:		2600

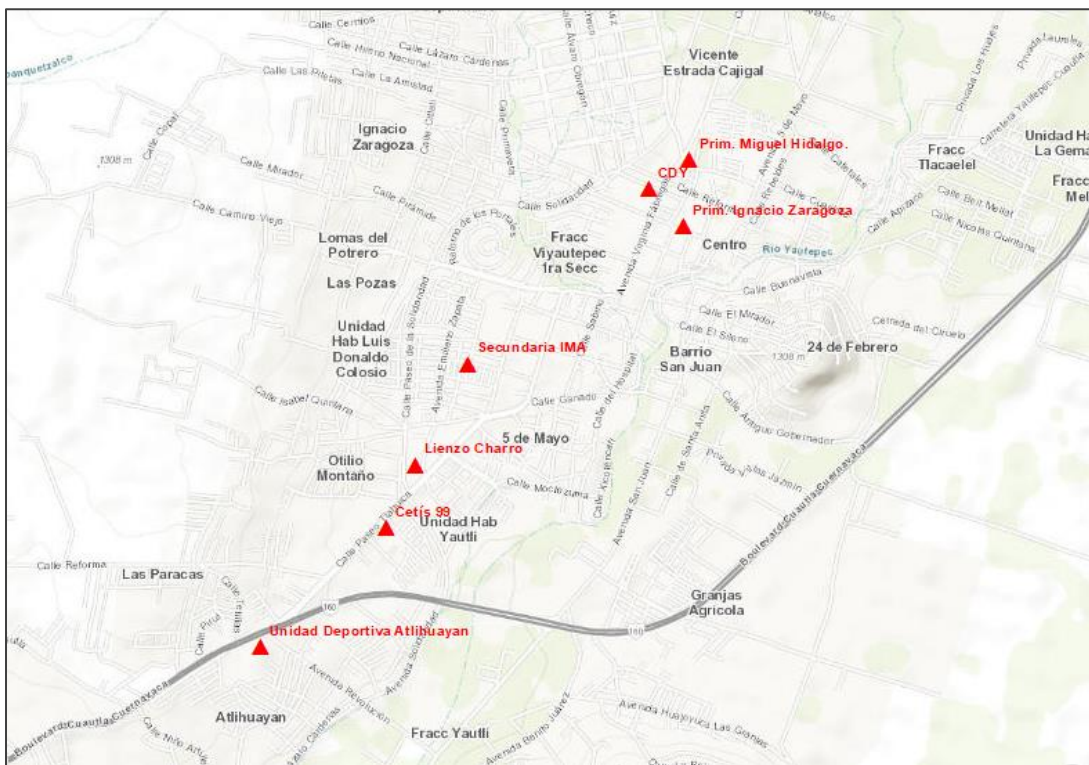


Ilustración 56. Ubicación de propuesta de albergues.

Se contabilizaron 32 calles que se necesitan evacuar en caso de inundación las cuales son:

Tabla 53. Calles que se necesitan evacuar en caso de inundación.

Nombre de calle:	Nombre de calle:	Nombre de calle:	Nombre de calle:
C. Nicolas Bravo	C. María del Refugio	C. Del Cuerno	C. Curtidores
Av. San Juan	C. Del Repartidor	C. De Morelos	C. Del Vado
C. del Niño	C. De Arenillas	C. Del Paraíso	C. Malecón
C. Allende	C. Herrerías	C. Zaragoza	C. Del Antiguo Palacio

C. No Relección	C. Del Ganado	C. Xomulco	C. De La Cruz
C. Del Mirador	C. Xicotécatl	C. Ríos Prado	C. Piedras Blancas
C. Netzahualcóyotl	C. Moctezuma	C. Salto del Agua	C. Sufragio Efectivo
C. Cuauhtémoc	C. Del Hospital	C. Morelos	C. Tenayo

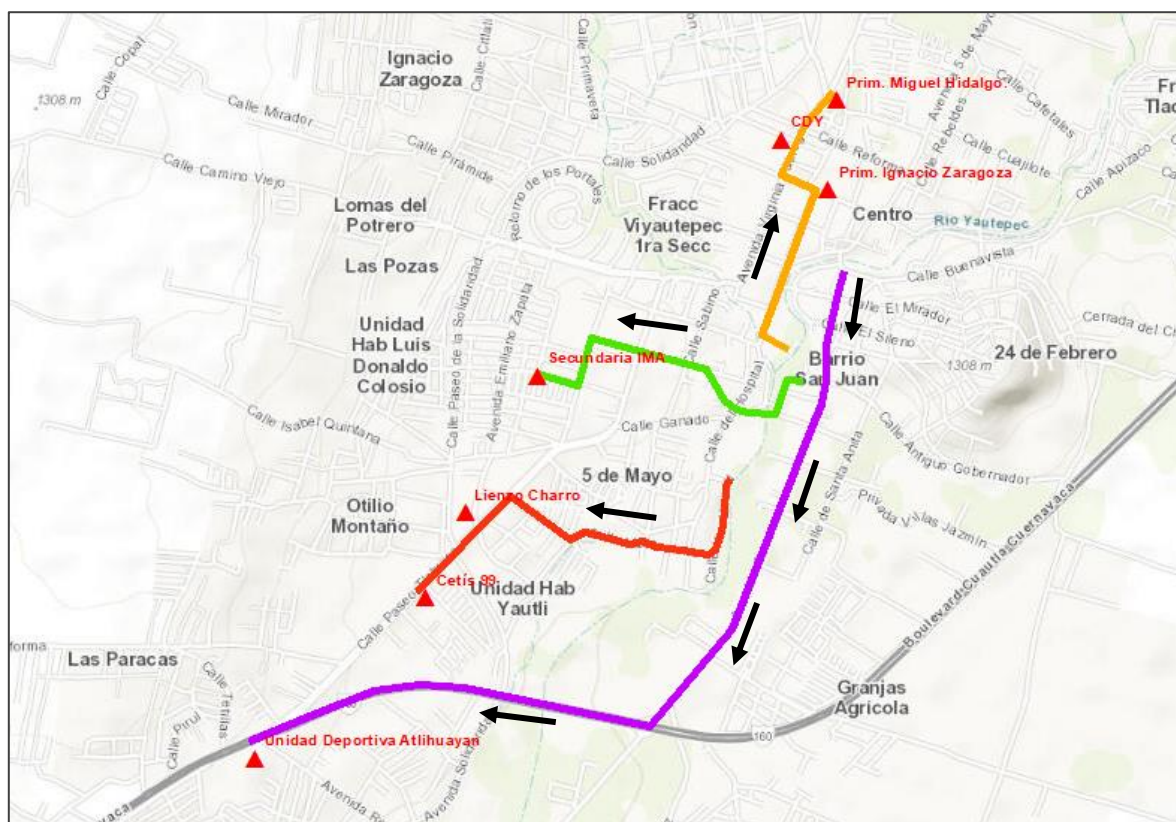


Ilustración 57. Rutas de evacuación.

Tabla 54. Longitudes de rutas de evacuación.

Número de ruta.	Color.	Longitud (km).	Albergue de llegada.
1	Morado	1.9	Unidad deportiva Atlihuayan.
2	Rojo	0.8	Lienzo Charro y Cetís 99
3	Verde	0.5	Sec. IMA
4	Naranja	0.6	CDY, Prim. Ignacio Zaragoza y Prim. Miguel Hidalgo

8.3 COSTO TOTAL DEL PROYECTO

Se realizó el presupuesto de todo lo que conllevaría conformar el sistema de alerta contra inundaciones, se calcularon sueldos e insumos por cinco años (ver tabla 55).

Tabla 55. Costo total de la implantación del SATI.

Concepto	Costo
Cámaras	\$293,100.00
Vehículos	\$1,470,000.00
Estaciones (EMA y EHA)	\$336,112.82
Reglas	\$75,820.00
Equipo de cómputo y oficina	\$835,000.00
Central	\$4,650,000.00
Personal	\$5,732,013.00
Alarmas	\$210,000.00
Combustible	\$270,000.00
Total=	\$ 13,813,542.00

8.4 COSTO-BENEFICIO

Las pérdidas económicas de los desastres en las últimas décadas se han incrementado como resultado del desarrollo económico y probablemente con el aumento del número de eventos meteorológicos extremos (Haer, 2017). En tal sentido, los sistemas de alerta temprana contra inundaciones son una herramienta para fortalecer los niveles de preparación vinculados a la gestión del riesgo de desastres, en concreto; salvaguardar vidas, propiedades y bienes (Pappenberger, 2015). Para la implementación de dichos sistemas, es necesario contar un análisis beneficio-costos como primer indicador para analizar la rentabilidad desde el punto de vista económico.

Los principales indicadores para determinar la viabilidad del proyecto son el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR). Si el VAN \geq 0, los beneficios del proyecto son iguales o mayores a su costo, en ese caso se recomienda realizar el proyecto propuesto. Los costos de adquisición y mantenimiento fueron estimados a partir de cotizaciones, las que fueron incluidas como costo en el flujo. El análisis de los beneficios se efectuó considerando un porcentaje estimado de viviendas comunales posiblemente afectadas por eventos hidrometeorológicos similares a los reportados del 2000 al 2020

Tabla 56. Porcentaje de viviendas afectadas (INEGI, 2020).

Año	Total de viviendas	Viviendas afectadas	% de viviendas afectadas
2000	18021	300	1.66%
2001	18864	10	0.05%
2002	19473	120	0.61%
2003	20816	350	1.68%
2004	21298	300	1.40%
2005	21351	280	1.31%
2006	22819	300	1.31%
2007	23984	35	0.14%
2008	24984	10	0.04%
2009	25461	30	0.11%
2010	25634	1500	5.85%
2011	27516	1000	3.63%
2012	29348	170	0.57%
2013	31181	100	0.32%
2014	32948	80	0.24%
2015	34215	27	0.07%
2016	36984	45	0.12%
2017	38318	80	0.20%
2018	40981	40	0.09%
2019	42324	50	0.11%
2020	44353	120	0.27%

En promedio el 0.95% de la población se ve afectada por las inundaciones generadas en épocas de lluvias. Se realizó el análisis de rentabilidad en 5 años para el proyecto del SATI, para lo cual se obtuvo el siguiente resultado:

Tabla 57. Análisis de rentabilidad para 5 años.

Año	Ingresos	Costos	Flujo De Efectivo	Tasa (1+T)-N	Ingresos Actualizados	Egresos Actualizados
0	\$	\$ 329,676	\$ 329,676	1.000	\$	\$ 329,676
1	\$ 2,736,000	\$ 2,440,240	\$ 295,760	0.909	\$ 2,487,273	\$ 2,218,400
2	\$ 2,763,360	\$ 2,562,252	\$ 201,108	0.826	\$ 2,283,769	\$ 2,117,564
3	\$ 2,790,994	\$ 2,690,365	\$ 100,629	0.751	\$ 2,096,915	\$ 2,021,311
4	\$ 2,818,904	\$ 2,824,883	\$ 5,979	0.683	\$ 1,925,349	\$ 1,929,433
5	\$ 2,947,262	\$ 2,966,127	\$ 18,865	0.621	\$ 1,830,018	\$ 1,841,731
TOTAL	\$ 14,056,519	\$ 13,813,542	\$ 242,977	1.000	\$ 10,623,323	\$ 10,458,114

Tabla 58. Análisis de rentabilidad (VAN, TIR, B/C).

VAN	\$ 165,208.44
TIR	44.59%
B/C	\$ 1.02

El proyecto es viable de acuerdo con los indicadores presentados en la tabla 59, se tiene que VAN es mayor que o, lo que significa que con el recurso destinado por parte de Protección Civil para la generación de sistemas de alerta o instrumentación que salvaguarde la vida humana. Se tiene un TIR mayor a la tasa de evaluación lo que indica su viabilidad.

Tabla 59. Indicadores para VAN, TIR y B/C.

Criterio	VAN:	Interpretación	Formula
El criterio formal de selección a través de este indicador, es aceptar todos los proyectos cuyo VAN sea igual o mayor que cero, a la tasa de actualización seleccionada.	$VAN \geq 0$	“Durante la vida útil del proyecto a una tasa de actualización del 20% se va obtener una utilidad neta de	$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$
	TIR:		
El criterio formal de selección a través de este indicador, es aceptar todos los proyectos independientes cuya TIR sea igual o mayor que la tasa de actualización seleccionada (TREMA)	$TIR \geq TREMA$	“Durante la vida útil del proyecto, se recupera la inversión y se obtiene una rentabilidad en promedio “	$TIR = \sum_{t=1}^T \frac{(B_t - C_t)}{(1+r)^t} - I_0 = 0$
	B/C:		
El criterio formal de selección a través de este indicador, es aceptar todos los proyectos cuya B/C sea igual o mayor que uno, a la tasa de actualización seleccionada	$B/C \geq 1$	“Durante la vida útil del proyecto una tasa de actualización del 20% por cada peso invertido se tendrá “	$R \frac{B}{C} = \frac{\sum_{t=1}^T \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1+r)^t}}$

9. LIMITACIONES Y RECOMENDACIONES

En el siguiente capítulo se redactan las limitaciones y recomendaciones del proyecto. Las limitaciones nos indican la falta de información y acciones que fueron detectadas durante el proceso de investigación. Las recomendaciones se enfocan en líneas propuestas para mejorar los resultados de este proyecto o en futuras investigaciones.

9.1 LIMITACIONES

- Falta de topografía actualizada que permita visualizar los cambios generados dentro del cauce del río. Ya que al realizar este trabajo se detectó que el fondo y bordos del río son constantemente alterados al realizar desazolves, el modelo digital de elevaciones no es actualizado constantemente y por tal motivo no se aprecia los niveles reales del cauce del río.
- Falta de instrumentación que ayude a obtener datos de precipitación y gasto en tiempo real para poder hacer mas efectiva la modelación hidrológica e hidráulica.
- No se cuenta con instalaciones y equipo de cómputo adecuado que permita tener un área destinada para el procesamiento de información recabada.
- Se carece de albergues que permita resguardar a los habitantes afectados por las inundaciones.
- Actualmente no se cuenta con personal calificado para efectuar el desarrollo del SATI.

9.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda que el SATI genere su propia topografía del cauce del río.
- Se propone dentro del proyecto una instrumentación que consta de EMAs y EHAs que ayudara a obtener en tipo real las variables necesarias para el modelo hidrológico e hidráulico.
- Dentro de esta investigación se propone realizar un centro de operaciones que permita procesar la información recabada.
- Se recomienda que la red de albergues propuesto se reconsidere para proponer nuevos albergues o si necesario construir infraestructura dedicada solamente para recibir personas en caso de desastres por inundación.
- Realizar constantes simulacros para obtener mejores resultados al momento de una inundación.
- Realizar un estudio de todos los puentes e infraestructura que cruzan dentro del cauce del río, verificar que todos cuenten con la altura necesaria para dejar el libre bordo del río.
- Reubicación de la zona urbana en zonas de peligro.
- Se recomienda que la instrumentación propuesta tenga el mantenimiento adecuado para obtener la información necesaria y adecuada que se necesita dentro del SATI.
- Concientizar a la población del manejo y uso de información generada por parte del SATI.

- Generar el análisis económico de beneficio-costo considerando mayor detalle en las variables a analizar.
- En el año 2020 se implementó en la zona de estudio un proyecto que lleva por nombre FlowAlert, el cual consiste en una red de EMAs y EHAs y tiene como propósito obtener datos de manera horaria. Por tal motivo se recomienda integrar dicho proyecto al SATI.
- Se recomienda tener contacto con las autoridades correspondientes para gestionar un radar meteorológico, no se propone dentro de del SATI por su valor económico.
- Se recomienda que en temporadas de lluvias las rutas de evacuación se mantengan libre de acceso de vehículos estacionados en el acotamiento de las calles para evitar congestión vial.
- Se recomienda buscar un lugar establecido para realizar el depósito de materiales obtenidos de los desazolves generados durante el tiempo de estiaje en la zona centro del municipio de Yautepec.

10. CONCLUSIONES

El sistema de alerta temprana contra inundaciones permite alertar con un tiempo mínimo de 207 minutos en el municipio de Yautepec, sin embargo, actualmente se carece de información de precipitación e hidrometría que permita realizar las modelaciones hidrológicas e hidrométricas de inundaciones recientes, ya que las estaciones de las que se tienen base de datos solo presentan hasta el año 2011 como datos recientes, después de este año carecen de información. Así como una topografía actualizada. Por este motivo se realiza una propuesta de instrumentación que consta de EMA's y EHA's, un sistema de cámaras de vigilancia, un sistema de alarmas y una oficina central para el procesamiento de la información obtenida. Al realizar la investigación de los radares meteorológicos que captan información cerca a el área de estudio se detectó que existe un radar en el Estado de México, pero este mismo no alcanza a recabar información del estado de Morelos, ya que al encontrarse una cordillera de cerros dentro del alcance del radar impide obtener información. Por esta razón es necesario gestionar un radar meteorológico para la zona del estado de Morelos. El SATI propuesto estará conformado por dos áreas: un área operativa y un área preventiva, encargadas de llevar el buen funcionamiento de la misma antes, durante y después de una inundación. Las tres modelaciones de las fechas propuestas tanto hidrológicas como hidráulicas se calibraron exitosamente con coeficientes de bondad buenos. La propuesta del SATI queda en fase piloto, ya que será necesario integrar a instituciones y organismos que puedan involucrarse en el manejo del SATI y sus responsabilidades dentro del mismo. De la relación de colonias que se encuentran dentro de la zona de peligro, se detectó que las colonias centro, Santiago, Buena vista, Rancho Nuevo y Cuauhtémoc son las que presentan mayor peligro inundación en el municipio de Yautepec, para esto se determinaron una serie de albergues que permitan resguardar el número máximo de habitantes de la zona. Es difícil resolver los problemas de las inundaciones solo con obras de infraestructura física, ya que se debería mejorar las políticas públicas que permitan lograr mayores beneficios en materia de protección frente al riesgo de las inundaciones, la aplicación de una metodología que permita cuantificar los daños directos en los costos económicos ante una inundación en zonas habitacionales o agrícolas pueden ser de gran ayuda para la toma de decisiones, por lo que es necesario formular acciones integradas enfocadas a la moderación de las crecidas a través de actividades de prevención, mitigación y recuperación. Una manera de reducir los riesgos de desastre por inundación consiste en disminuir la vulnerabilidad haciendo énfasis en medidas estructurales e institucionales. Y evitar la construcción de viviendas y actividades humana en lugares susceptibles de inundación. La cartografía temática referente al peligro y de riesgo debe de ser tomados en cuenta en los reglamentos sobre el uso de suelo y en caso de construir viviendas en esas zonas, requieren ser acondicionadas para que no se presenten daños estructurales y económicos, así como pérdidas humanas. Es fundamental la capacitación de especialistas locales, que conozcan del funcionamiento del SATI, entender que los SATI's pueden mejor con el tiempo definiéndolos como evolutivos. Se realizó el estudio del costo-beneficio, determinando que si es factible la conformación del SATI para el municipio de Yautepec.

11. GLOSARIO

Abstracción: Acción y efecto de abstraer o abstraerse.

Calibración: La calibración es la acción de comparar la indicación de un equipo o instrumento de medición con un patrón de referencia de valor conocido.

Cartografía: Ciencia que estudia los mapas

Caudal: Cantidad de agua que lleva una corriente o que fluye de un manantial o fuente.

Ciclo Hidrológico: El ciclo hidrológico es el conjunto de transferencias de agua entre la atmósfera, tierra y mar en sus tres estados: Sólido, líquido y gaseoso en el que el motor de este movimiento es el Sol.

Ciclón: Perturbación caracterizada por fuertes vientos.

Climatología: Conjunto de las condiciones propias de un determinado clima.

Coficiente: Que juntamente con otra cosa produce un efecto.

Condiciones: Conjunto de circunstancias que determinan el estado de una persona o una cosa.

Cuenca: Territorio cuyas aguas afluyen todas a un mismo río, lago o mar

Determinista: Teoría que supone que el desarrollo de los fenómenos naturales está necesariamente determinado por las condiciones iniciales.

Edafología: La edafología es una rama de la ciencia que estudia la composición y naturaleza del suelo en su relación con las plantas y el entorno que le rodea.

Emergencia: Una emergencia es una situación fuera de control que se presenta por el impacto de un desastre.

Envolvente: Que envuelve o rodea.

Estación hidrométrica automática: La estación hidrométrica automática permitirá monitorear el nivel del agua en un tramo clave del río de manera remota y en tiempo real.

Estación meteorológica automática: El sistema puede reportar en tiempo real vía sistema Argos, o el Global Telecomunicaciones Sistema, tener enlace de microondas, o salvar los datos para posteriores recuperaciones.

Estocástico: Es aquel cuyo comportamiento no es determinista, en la medida en que el subsiguiente estado del sistema se determina tanto por las acciones predecibles del proceso como por elementos aleatorios.

Evacuación: En su sentido más frecuente, evacuación, se refiere a la acción o al efecto de retirar personas de un lugar determinado. Normalmente sucede en emergencias causadas por desastres, ya sean naturales, accidentales

Evento: Eventualidad, hecho imprevisto, o que puede acaecer.

Evolución: Serie de transformaciones continuas que va experimentando la naturaleza y los seres que la componen.

Gasto: Cantidad de fluido que, en determinadas circunstancias, pasa por un orificio o por una tubería cada unidad de tiempo.

Hidrograma: El hidrograma es un gráfico que muestra la variación en el tiempo de alguna información hidrológica

Hidrometría: La Hidrometría se encarga de medir, registrar, calcular y analizar los volúmenes de agua que circulan en una sección transversal de un río, canal o tubería; pertenecientes a un pequeño o gran sistema de riego en funcionamiento.

Hipótesis: hipótesis que se establece provisionalmente como base de una investigación que puede confirmar o negar la validez de aquella.

Huracán: Viento muy impetuoso y temible que, a modo de torbellino, gira en grandes círculos, cuyo diámetro crece a medida que avanza apartándose de las zonas de calma tropicales, donde suele tener origen.

Infiltración: Acción y efecto de infiltrar o infiltrarse.

Interpolación: se denomina interpolación a obtención de nuevos puntos partiendo del conocimiento de un conjunto de puntos.

Inundación: Fenómeno natural que se presenta cuando el agua sube mucho su nivel en los ríos, lagunas, lagos y mar; entonces, cubre o llena zonas de tierra que normalmente son secas.

Linealidad: Disposición sucesiva de los elementos.

Mapa de Riesgo: Un mapa de riesgo es un instrumento que permite identificar los factores de riesgo que se pueden presentar dentro de una organización, además, brinda la posibilidad de que estos se puedan cuantificar, es decir clasificar en el daño que este podría causar, la escala en la que va a estar dividido (alto, medio o bajo), y la probabilidad de que esto pueda ocurrir.

Meandros: Un meandro es una curva descrita por el curso de un río, cuya sinuosidad es pronunciada. Se forman con mayor facilidad en los ríos de las llanuras aluviales.

Metodología: Conjunto de métodos que se siguen en una investigación científica o en una exposición doctrinal.

Mitigación: reducción de la vulnerabilidad, es decir, la atenuación de los daños potenciales sobre la vida y los bienes causados por un evento hidrológico, como una inundación o sequía; o sanitario.

Modelación: Es el proceso mediante el cual se crea una representación o modelo para investigar la realidad.

Muestra: Parte o porción extraída de un conjunto por métodos que permiten considerarla como representativa de él.

Nubosidad: La nubosidad es la fracción de cielo cubierto con nubes, en un lugar en particular.

Peligro: Situación en la que existe la posibilidad, amenaza u ocasión de que ocurra una desgracia o un contratiempo

Precipitación: Agua procedente de la atmósfera, y que en forma sólida o líquida se deposita sobre la superficie de la tierra.

Prevención: Prevención significa acción y efecto de prevenir. Se refiere a la preparación con la que se busca evitar, de manera anticipada, un riesgo, un evento desfavorable o un acontecimiento dañoso.

Radar: Sistema que utiliza radiaciones electromagnéticas reflejadas por un objeto para determinar la localización o velocidad de este.

Riesgo: Contingencia o proximidad de un daño.

Rugosidad: Evalúa las pequeñas desviaciones verticales de la superficie nominal que vienen normalmente determinadas por las características del material, el proceso de transformado de la pieza o las aportadas por el propio recubrimiento.

Satélite: Aparato puesto en órbita alrededor de la Tierra con fines científicos, militares o para las comunicaciones.

Sensor: Un sensor es un dispositivo que detecta el cambio en el entorno y responde a alguna salida en el otro sistema

Simulacro: Los simulacros son ensayos que nos permiten identificar qué hacer y cómo actuar en caso de una emergencia, al simular escenarios reales. Durante la atención de una emergencia, se debe contar con una respuesta probada de cómo atenderla.

Software: refiere al conjunto de programas, instrucciones y reglas informáticas que gobiernan los procesos que pueden llevar a cabo las computadoras.

Textura: Estructura, disposición de las partes de un cuerpo, de una obra, etc.

Topografía: La topografía es un término muy amplio que se usa para describir el estudio detallado de la superficie de la tierra. Este estudio, incluye cambios en la superficie, como montañas y valles, así como las características de ríos y carreteras.

Umbral: Cantidad de precipitación efectiva necesaria para producir un escurrimiento ligeramente mayor al Gasto a cauce lleno.

Urgencia: Una urgencia es algo que debe resolverse de forma inmediata, implica una necesidad apremiante o una situación que requiere de atención sin demoras.

12. SIGLAS Y ACRÓNIMOS

SINAPROC: Sistema Nacional De Protección Civil.

CENAPRED: Centro Nacional De Prevención De Desastres.

CONAGUA: Comisión Nacional del Agua.
CEAGUA: Comisión Estatal del Agua.
SEMARNAT: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
IFT: Instituto Federal de Telecomunicaciones.
IMSS: Instituto Mexicano del Seguro Social.
IMTA: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
SMN: Servicio Meteorológico Nacional.
INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
SEDENA: Secretaría de la Defensa Nacional.
ONU: Organización de las Naciones Unidas.
SSPC: Secretaria de Seguridad de Protección Civil.
CNPC: Coordinación nacional de protección civil.
CMIC: Cámara mexicana industria de la construcción
STCONAPRA: Secretariado técnico consejo nacional para la prevención de accidentes.
SEGOB: secretaria de gobernación.
SNPC: secretaria nacional de protección civil.
CONAE: Comisión Nacional de Actividades Espaciales.
API: Índice de Precipitación Anticipada.

13. BIBLIOGRAFÍA

A. Miguel, S. V. (1993). *Técnicas de modelación hidráulica*.

Acosta Godínez, A. (1990). Problemática del desarrollo de la hidrología. *Ingeniería Hidráulica En México*.

- Alberto, I., Sisa, J., & Turaleza, O. N. A. (1978). *La Carrera de INGENIERIA*.
- Aldama, A. A. (2000). *Hidrología de avenidas*.
- Anguizola, E. (2015). *Sistemas de Alerta temprana para Deslizamiento*.
- Antonio, B. M. (2005). *Tesis: Aplicación Hidrológica De Los Radares Meteorológicos*.
- Apolo, D. D. (2015). *Sistemas de Alerta Temprana para inundaciones (SAT): Experiencias en América Latina*.
- Arellano Monterrosas, J. L., & Ruiz Meza, L. (2016). *Caracterización Climatológica, Variabilidad Climática Y Eventos Hidrometeorológicos Extremos*.
- Astrid, C. (2012). *Comparación de los modelos hidráulicos unidimensionales (HEC-RAS) y bidimensional (IBER)*.
- Bateman-, A. (2007). *Hidrología básica y aplicada*.
- Blanca, S. (2012). *Sistema de Alerta Temprana Hidrológico Lineamientos para establecer los Planes de Acción Durante Emergencias (PADE)*.
- Cabrera, J., & Eng, C. (2012). *Modelos Hidrológicos*.
- Campeche, G. de. (2013). *Plan Estatal de Contingencias para Fenómenos Hidrometeorológicos*.
- Cantos, J. O. (2003). *Prevención De Riesgos: Cambio Climático, Sequías E Inundaciones*.
- Carvajal, Á. D. (2017). *Determinación del número de curva en la subcuenca de Betancí (Córdoba, Colombia) mediante teledetección y SIG Determination of curve number in Betancí subwatershed (Córdoba, Colombia) through remote sensing and GIS*.
- CENAPRECE. (2015). *Vinculación de la información climática para el sector salud*.
- CENAPRED. (2007). *Guía de prevención*.
- CENAPRED. (2009). *Inundaciones*.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2014). *Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México*. In S. M. Oscar Ramos (Ed.), *Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana* (Vol. 1).
- CEPREDENAC. (2011). *Manual sobre: SAT*.

- Chow, V. Te. (1994). *Hidrología Aplicada*.
- CNPC. (2020). *Manual de protección civil*.
- CONAGUA. (2014). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento*.
- CONAPRO. (2018). *Umbrales de precipitación como medida de previsión ante inundaciones*.
- Cooperativa Técnica Alemana. (2010). *Modelación Hidráulica*.
- Coordinación Estatal de Protección. (2015). *Plan estatal de protección civil ante el riesgo de inundaciones*.
- COPAPRE. (2012). *Sistemas De Monitorización Hidrológica En Tiempo Real Y Sistemas De Ayuda A La Decisión*.
- Coste-beneficio, A., & Machado, A. (2012). *Análisis Coste-Beneficio*.
- Darío, J., & Salazar, A. (2015). *Metodología para la elaboración de mapas de inundación*.
- David, Z. M. (2010). REVISTA DIGITAL TLÁLOC AMH. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 46(9), 19-35.
- Domínguez Víctor, L. A. (2017). *Teoría General de Sistemas, un enfoque práctico*.
- Dooge, J. C. I. (1986). *Looking for Hydrologic Laws* *J 1/2onJrol*. 22(9).
- Enrique, O. (2009). *Plan de contingencias y emergencias México*.
- Escuder Ignacio, Morales Adrián, Castillo Jesica, P. S. (2010). Riesgos de inundación. *Journal of Chemical Information and Modeling*.
- ETESA. (2004). *Sistema de Alerta Temprana SAT) de Inundaciones en la Cuenca del Río Cabra*.
- Facultad de Ingeniería Carrera de Ingeniería Civil Análisis de la dinámica fluvial en el sector del coliseo Jefferson Pérez mediante modelación bidimensional*. (2020).
- Fuentes, O. A., Franco, V., De Luna, F., Vélez, L., Sánchez, J. A., Hernández, G. B., & Ramos, J. G. (2013). *Estudio de inundaciones fluviales y mapas de peligro para el atlas nacional de riesgos por inundación*.

- García, C. C., & Lorenzo, R. G. (2011). Factores e índices de peligrosidad de las aguas de avenida en cruces de carreteras con ramblas. Estudio aplicado a la vertiente litoral sur de la región de Murcia. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 57, 195-218.
- Gentili, J. O., Fernández, M. E., Zapperi, P. A., & Silva, A. M. (2018). *Tecnología y extensión universitaria: los Sistemas de Alerta Temprana Colaborativos en la gestión del riesgo de inundación*. 8.
- George, & Wilhem. (2012). *Teoría general de sistemas*.
- Granado, S., Stewart, A., Borbor, M., Franco, C., & Tauzer, E. (2015). *Sistemas de Alerta Temprana para Inundaciones: Análisis Comparativo de Tres Países Latinoamericanos*.
- Guerrera, P., & Ruíz, J. R. (2012). Atlas de Riesgos Naturales de Yautepec, Morelos. *Prospectiva y Actualidad Analítica*.
- Gutiérrez Aviña, Carrillo Sosa, G. V. (2002). Estructura de un sistema de alerta temprana para la ciudad de Villa Hermosa, Tabasco. *Revista de La Sociedad Química de México*, 46(4).
- ICC, Universidad Galileo, CONRED, A. (2012). *Sistema De Alerta Temprana (SAT) Para Inundaciones*. 1. <http://186.42.174.236:8080/SAT/>
- IMSS. (2018). *Plan Institucional Frente a Emergencias y Desastres*.
- IMTA. (2014). *Tránsito de avenidas*.
- INGNOVA. (2016). *Manual IBER*.
- INOPCI. (2009). *zonas inundables en México*.
- Institucional, R., Arreguín-cortés, F. I., López-Pérez, M., Marengo-mogollón, H., & López-Pérez, F. I. A. M. (2016). *Las inundaciones en un marco de incertidumbre climática*.
- Javelle, P., De, M., Schapi, D. S., Janet, B., De, M., & Schapi, D. S. (2015). *Flash Flood Warnings: Recent Achievements in France with The National Vigicrues Flash System*.
- Javier, C. (2014). *Ingeniería económica*.
- Jomaelah, M. (2018). *Predicción De Inundaciones En Zonas Urbanas Basada En Información Del Modelo WRF*.

- Jorge, T. (2002). *Información suministrada por los radares meteorológicos*.
- José Alejandro Machuca. (2010). Sistema alerta temprana cuenca Acahuapa. *Universidad De San Carlos De Guatemala Facultad De Ingeniería Escuela Regional De Ingeniería Sanitaria Propuesta*.
- José, R. (2012). *Mapa de riesgo en zonas urbanas*.
- Katty, P. R. K. (2019). *Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones Aplicando un Modelamiento Hidrológico con HEC-HMS en el Río Culebras*. Universidad San Pedro.
- Kumar, R., & Dharn, O. N. (2012). *Análisis de actores y programas detrás de su mitigación*.
- Liu, C., Guo, L., Ye, L., Zhang, S., Zhao, Y., & Song, T. (2018). A review of advances in China's flash flood early-warning system. *Natural Hazard*.
- López, A. deisy. (2004). *Sistema de alerta temprana por inundaciones experiencia en el Salvador - SNET*.
- Luis, A., Valverde, A., Alberto, J., & Serrano, G. (2002). *Previsión de crecidas en el río segura*. 1-18.
- Marco, G. (2016). *Guía para la operación del sistema de alerta temprana frente a tsunamis*.
- María, G. (2019). *Inundaciones*.
- Medina, C. (2013). *Técnicas Para Simulación En Tiempo Real*.
- Mercedes, M., & Uzcanga, C. (2010). *De Las Cuencas*.
- Miguel, A. (2017). *Manual para el cálculo de amenazas por inundación*.
- Miguel, M. (2010). *Escurrimiento Superficial*.
- Morales, P., & Rodríguez, L. (2016). *Aplicación de los coeficientes de correlación de Kendall y Spearman*.
- Moshinsky, M. R. (2010). *Análisis de cobertura de radar en seis ubicaciones dentro del Valle de México*.
- Muñoz, R. C. (1995). *Sistema basado en el conocimiento aplicados a la validación de información hidrológica en tiempo real*.

- Ocampo, O. L., & Vélez, J. J. (2013). *Análisis comparativo de modelos hidrológicos de simulación continua en cuencas de alta montaña: caso del Río Chinchiná*
Comparative analysis of continuous simulation hydrological models in high-mountain watersheds : Chinchiná River case.
- OEA. (2000). *Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones en Cuencas Menores.*
- ONU. (2009). Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres. *Estrategia Internacional Para La Reducción de Desastres de Las Naciones Unidas (UNISDR)*, 43.
- Oscar, B. (2015). *Introducción general a la teoría general de sistemas.*
- Pablo, J., & Aguilar, M. (2012). *Metodología para la medición de la velocidad de flujo en un río.*
- Paola, M. E. D., & Carlos, R. S. J. (2016). *Propuesta de diseño de un sistema de alerta temprana por inundación en la subcuenca del río Tejalpa (SIATI-ScRT).*
- Pineda, N., Espinosa, L., Ochoa, R., Palacio, J., Flores, P., & Balderas, M. (2014). IX Reunión Nacional de Geomorfología. *Geomorfología: Experiencias de Investigación En México.*
- Polígamo, M. V. (2019). *Propuesta De Un Sistema De Alerta Temprana (SAT) Por Los Efectos De El Niño. Journal of Chemical Information and Modeling.*
- PrepConsulting. (2013). *Estudio hidráulico destinado a la implementación de un sistema de monitoreo y alerta para el riesgo de inundaciones Río Bocay.*
- Producto, D., Consultor, P., Nacional, U., & La, P. (2018). *Definición de umbrales de lluvia y niveles de agua en las corrientes en estudio para el sistema de alerta temprana.*
- Protección Civil. (2018). *" Programa Estatal de Protección Civil (Plan de Contingencias) para la Atención del Fenómeno Hidrometeorológico para la Temporada de Lluvias y Ciclones Tropicales 2018 "*.
- Ramsar, M. (2011). *Manejo de cuencas hidrográficas.*
- Ricardo, M. (2013). *Propuesta para la implementación de la red SMN GPS para el análisis de variables climatológicas en México.*
- Rocío Consuelo Rodríguez Salazar. (2015). *Plan de gestión integrada de los recursos hídricos en la cuenca del río Yautepec.*

- Roció, R. (2015). *Plan De Gestión Integrada De Los Recursos Hídricos En La Cuenca Del Río Yautepec.*
- Rodolfo, A., & Peñaloza, D. E. J. (2021). *Diseño de un sistema de alerta temprana para prevención de inundaciones en la zona de Yautepec.*
- Rodr, V. (2016). *Medidas para reducir la vulnerabilidad de la sociedad ante fenómenos hidrometeorológicos.*
- Rodríguez, S. C. (2010). *Sistema de alerta temprana para prevenir inundaciones del rio Arauca.*
- Salas Marco, Jiménez Martin, Eslava Héctor, Franco Miguel, G. J. (2004). *Configuración del sistema de alerta hidrometeorológica de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.*
- Salas Marco, Jiménez, M. (2004). Inundaciones, Serie Fascículos. In *CENAPRED* (Primera Ed).
- Salazar, A., Daniel, A., & Mite, C. (2015). *Diseño e implementación de un sistema de seguridad a través de cámaras, sensores y alarma, monitorizado y controlado teleméricamente para el centro de acogida "Patio mi Pana" perteneciente a la fundación proyecto salesiano.*
- Sataloff, R. T., Johns, M. M., & Kost, K. M. (2010). *Rescate de ríos urbanos* (Primera Ed). UNAM.
- Secretaria de Salud. (2017). *Manual de Protección Civil ante Casos de Emergencia, Contingencias y Desastres del STCONAPRA.*
- SEGOB. (2006). *Programa de prevención y mitigación del riesgo de desastre.*
- SEMARNAT, C. (2011). *Manual para el control de inundaciones.*
- Sergio, P. (2017). *Diseño de un sistema de alerta temprana para la prevención de la población frente a inundaciones.*
- SERVICIO HIDROLOGICO NACIONAL. (2009). *Sistemas De Alerta Temprana Por Inundaciones.*
- Sistema nacional de Protección Civil, & Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2014). *Sistemas de alerta temprana. 2.*

- Susana del Granado, Anna Stewart, Mercy Borbor, Carol Franco, Erica Tauzer, M. R. (2016). *Sistema de alerta temprana para inundaciones: Análisis comparativo de tres países latinoamericanos*.
- Torres, M. A., Nikolskii, I., Martínez-Miranda, M. E., & Martínez, M. R. (2018). Hydrological assessment of the Teapa River basin, using the MIKE SHE models. *Tecnología y Ciencias Del Agua*.
- Tovar, A. E. Z. (2009). *Análisis de riesgo por inundaciones como consecuencia del desbordamiento del río Yautepec, Morelos, México*. UNAM.
- ULADECH. (2011). *Introducción A La Estadística No Paramétrica (Parte II). Prueba De Correlación De Spearman*.
- Unidad, E. A., Sostenible, D., Manual, M. A., Temprana, A., & Menores, C. (2017). *Medición de Lluvia y Nivel de Agua de los Ríos*.
- Valc, N. (2010). *Modelación Y Modelos*.
- Vargas-Castañeda, G., Ibáñez-castillo, L. A., & Arteaga-Ramírez, R. (2015). *Development, classification and trends in rainfall-runoff modeling*.
- Vázquez-peña, R. A. M. A. (2015). *Satélites meteorológicos*.
- Villarreal, G. G. (2007). *Diseño Conceptual De Un Sistema De Alerta Temprana Para La Ciudad De Villahermosa, Tabasco*.
- Villarroya, J. P., Farias, H. D., & Amarilla, M. E. (1995). *Estimación del parámetro hidrológico del Número de Curva NC: Automatización del cálculo mediante SIG y nuevas fuentes de información cartográfica. Caso del área urbana de Pozo Hondo*.
- Yaneth, F. (2012). *Introducción a la ingeniería de sistemas*.
- Zubieta, R. (2015). *Selección de modelos*.

14. ANEXOS

14.1 INUNDACIONES EN EL MUNDO

A1. Inundaciones significativas del 2000 al 2020.

Año	Desastre	País	Víctimas	Fuente
2000	Inundación.	India.	2,782	(ABS.es/Internacional, 2011)
2002	Inundación.	China.	1,532	(ABS.es/Internacional, 2011)
2004	Inundación.	China.	1,550	(ABS.es/Internacional, 2011)
2005	Inundación.	India.	633	(ABS.es/Internacional, 2011)
2005	Inundación.	Estado Indio Maharashtra.	891	(ABS.es/Internacional, 2011)
2007	Inundación	India/Nepal/Bangladesh	2,500	(ABS.es/Internacional, 2011)
2009	Inundación	Salvador	275	(ABS.es/Internacional, 2011)
2010	Inundación	Brasil (Sao Paulo, Río de Janeiro y Minas Gerais)	200	(ABS.es/Internacional, 2011)
2010	Inundación	China (Gansu y Yunnan)	3,185	(ABS.es/Internacional, 2011)
2010	Inundación/lodo	Pakistán	1,985	(ABS.es/Internacional, 2011)
2010	Inundación/lodo	India (Leh)	174	(ABS.es/Internacional, 2011)
2010	Inundación	Guatemala	50	(ABS.es/Internacional, 2011)
2010	Inundación	Vietnam e Indonesia.	212	(ABS.es/Internacional, 2011)
2010	Inundación	Tailandia	223	(ABS.es/Internacional, 2011)
2010	Inundación	Vietnam	75	(ABS.es/Internacional, 2011)
2010	Inundación	Nigeria	118	(ABS.es/Internacional, 2011)
2010	Inundación	Benin	46	(ABS.es/Internacional, 2011)
2010	Inundación	Tailandia	160	(ABS.es/Internacional, 2011)
2010	Inundación/lodo	Colombia (Bello)	79	(ABS.es/Internacional, 2011)
2011	Inundación	Brasil	394	(ABS.es/Internacional, 2011)
2011	Inundación	Tailandia	628	(El Mundo, 2011)
2012	Inundación	Rusia	171	(El Mundo, 2012)

2012	Inundación	Nigeria	137	(La Jornada, 2012)
2013	Inundación	Alemania	12	(BBC, 2013)
2013	Inundación	China	54	(El Universal, 2013)
2014	Inundación	India/Pakistán	200	(BBC, 2014)
2015	Inundación	Paraguay/Argentina/Uruguay/Brasil	6	(infobae, 2015)
2015	Inundación	EUA (Texas)	6	(CNN, 2015)
2016	Inundación	Chile/Uruguay	8	(BBC, 2016)
2016	Inundación	Alemania/Francia/Bélgica/Rumania	10	(BBC, 2016)
2016	Inundación	EUA	13	(El Mundo, 2016)
2017	Inundación	África (Sierra Leona)	350	(El Mundo, 2017)
2017	Inundación	Nepal	143	(CNN, 2017)
2018	Inundación	Filipinas (Tembin)	200	(Eitb, 2018)
2019	Inundación	EUA		(Televisa, 2019)
2019	Inundación	Zimbabue, Mozambique, Madagascar y Malauí	958	(Televisa, 2019)
2019	Inundación	Islas Batu, Simeulue, Sumatra, Sri Lanka e India del Sur.	89	(Televisa, 2019)
2019	Inundación	Japón	130	(Televisa, 2019)
2019	Inundación	México	50	(Televisa, 2019)
2020	Inundación	Indonesia	19000	(La verdad Noticias, 2020)
2020	Inundación	México, Guatemala, Nicaragua, El Salvador y Colombia	15000	(Televisa, 2020)

14.2 INUNDACIONES EN MÉXICO

A2. Principales inundaciones de México (CENAPRED 2020)

Fecha	Estado/ Municipio	Descripción general de los daños	Población afectada	Daños (Millones)
2000-05-31	México	El Bordo izquierdo del Rio de la Compañía se erosiono, provocando que rompiera aguas abajo del cruce con la autopista México-Puebla.	2,005	179.9
2002-06-11	México	En Ecatepec afectaciones en 12 viviendas.	0	1.7
2002-06-11	Zacatecas	Inundaciones en vivienda con pérdida de techos de material endeble	0	1.2
2002-06-12	Zacatecas	Inundaciones en 8 municipios	10,000	5.5
2002-06-14	Zacatecas	Desbordamiento de varias presas.	0	0.0
2002-06-15	Campeche	Inundaciones en los domicilios de 18 familias en el municipio de Hecelchakan.	100	1.0
2002-06-17	Chiapas	Viviendas inundadas en las comunidades de Villa Flores y San Cristóbal.	256	7.9
2002-06-27	Michoacán	En Morelia, problemas de inundaciones y tránsito vehicular. Afectaciones en viviendas de material endeble.	150	1.5
2002-06-30	Aguascalientes	Se reportaron siete personas en un albergue. Problemas de inundaciones y de tránsito.	7	0.4
2002-08-16	San Luis Potosí	Se estimó que en una noche y un día llovió el nivel de precipitaciones que normalmente se presenta en todo un mes	2,250	9.2
2002-09-12	México	Más de 500 trabajadores de Protección Civil del estado de México trabajaron para desalojar el agua pluvial que se acumuló en más de 500 hogares de seis colonias urbanas, donde el nivel del agua subió de 10 a 20 centímetros, mientras que en las calles rebaso los 30 centímetros de altura.	2,500	0.6
2002-09-14	Distrito Federal	Alrededor de 600 viviendas en Iztapalapa se inundaron de aguas negras, a causa de la	0	0.3

		intensa lluvia durante la noche del jueves, la madrugada de ayer y a lo largo del día.		
2002-09-15	Puebla	Ejido el Carrizal, se vieron afectadas 29 familias por inundaciones en sus domicilios por fuertes lluvias.	107	0.1
2002-09-25	Guerrero	Ciclón tropical "Julio". En el municipio de Tecpan, a causa del río del mismo nombre con tirantes de 1.30 metros, dejó 500 personas damnificadas y 120 viviendas afectadas.	500	0.3
2002-09-25	Oaxaca	En el municipio de Pinotepa Nacional se reportaron fuertes lluvias dañando 51 viviendas.	250	0.1
2002-11-07	Chiapas	Debido a las intensas lluvias en el ejido de Nuevo Nicapa en el municipio de Pichucalco, se registró el desbordamiento del río del mismo nombre.	750	0.6
2003-06-05	Veracruz	Se registró una explosión en el municipio de Nogales a consecuencia del desbordamiento del río Chiquito el cual dañó unos ductos de Pemex y ocasionó una explosión.	6,327	67.2
2003-09-04	México	Debido a la acumulación de agua en el campo militar no1 se registró la caída de una barda de 50mts de largo por 6 de alto.	2	0.5
2003-09-15	Nuevo Leon	Fue arrastrado un vehículo compacto con tres personas a bordo al intentar cruzar el río "La Silla" en el municipio de Guadalupe.	3	0.0
2003-09-26	Morelos	Se desbordó un canal en el municipio de Tepalcingo.	400	0.6
2003-10-14	Hidalgo	A consecuencia de la apertura de puertas de la presa Zimapan, se incrementó el caudal del río Moctezuma afectando áreas de cultivo del municipio de Pisaflores.	316	0.0
2003-10-15	San Luis Potosi	Como medida preventiva, se evacuó a 21 familias debido al crecimiento de un río a la altura del municipio de Tamazunchale.	105	0.0
2003-10-15	Guerrero	Se reportó la muerte de una persona al ser arrastrado por la corriente del río Nejapa en el municipio de San Luis Acatlan.	1	0.0

2003-10-15	Tamaulipas	Se reporto la desaparición de una persona la cual fue arrastrada por el rio San Carlos en el municipio de Ciudad Victoria.	1	0.0
2004-11-29	Tabasco	Se registraron inundaciones en los municipios de Jonuta y la zona centro del Estado.	4,580	0.0
2004-08-25	Michoacán	Se reportó el desbordamiento del "rio Celio" en el municipio de Jacona, por lo que se reportaron afectaciones en nueve viviendas, principalmente en enseres domésticos.	45	0.1
2004-09-02	Tamaulipas	Se presento la ruptura de una presa en el municipio de Hidalgo, afectando al ejido denominado el Sauzal.	200	0.1
2004-09-28	Veracruz	Se registraron daños en 700 viviendas.	3,500	4.2
2004-10-13	Chiapas	Se reportó el desbordamiento del rio "Cacaluta" el cual causo afectaciones en 72 viviendas del municipio de Acapetahua.	360	0.3
2005-01-18	México	Se registró el desbordamiento del canal de aguas negras denominado "Necapa". Se reportaron 20 viviendas con daños menores.	15	0.1
2005-06-16	Veracruz	Debido al incremento en el afluente de un rio se evacuo preventivamente a 41 personas que se instalaron en 2 albergues.	41	0.0
2005-06-21	Oaxaca	Se reportaron inundaciones de aproximadamente 1 metro de altura por lo que se evacuo a 15 personas aproximadamente.	15	0.0
2005-08-02	Michoacán	Se reporto el desbordamiento del rio las Animas, afectando un total de 6 viviendas. Se evacuo a las familias afectadas.	30	0.0
2005-08-20	Chiapas	Se reportaron afectaciones en 350 viviendas debido al desbordamiento del rio San Diego y San Isidro, por lo que se evacuo a las 350 familias.	1,750	1.4
2005-08-23	Jalisco (Puerto Vallarta)	Se reportaron afectaciones en 50 viviendas debido al desbordamiento de arroyos. La población afectada recibió apoyos.	250	0.0
2005-08-24	Michoacán	Debido al desbordamiento del rio aguillilla se reportan afectaciones severas en la comunidad del mismo nombre. 200 viviendas afectadas	1,039	0.8

2005-08-24	Chiapas	Se reportan afectaciones en 18 viviendas por penetración de agua, las personas afectadas fueron trasladadas a un refugio temporal.	34	0.2
2005-08-28	Chiapas	Se desbordo el rio Cacaluta motivo por el cual se vieron afectadas 20 viviendas.	100	0.1
2005-09-01	Querétaro	Se reporta el desbordamiento de un rio afectando un total de 450 viviendas.	2,250	1.8
2005-09-03	Michoacán	Debido a las fuertes lluvias se desbordaron los ríos Grande y Chiquito, afectando a cerca de 25 colonias, se reportan daños en enseres domésticos en varias viviendas.	0	0.0
2005-09-12	Guanajuato	Se reportó el desbordamiento del arroyo Jaralillo, causando afectaciones a 61 viviendas. No se reportan daños humanos.	305	0.2
2005-07-21	Tamaulipas	Se informa del escurrimiento de agua de una cortina de una presa afectando 12 colonias por lo que se realizó la evacuación de 519 personas.	519	0.0
2006-07-07	Nuevo León	Se registró el arrastre de una persona en el canal pluvial conocido como arroyos conductores. La persona fue encontrada muerta.	1	0.0
2006-10-14	Guanajuato	Se reportaron inundaciones en 6 viviendas los daños fueron menores.	30	0.0
2006-07-03	México	Se registró una ruptura en los bordos del rio Ameca ocasionando afectaciones a 2 hectáreas de cultivo (maíz).	0	0.0
2007-09-01	San Luis Potosí	Se registraron fuertes inundaciones en varios municipios del estado, causando severas afectaciones a la actividad agrícola.	2,489	3.3
2007-07-01	Michoacán	Se registraron inundaciones en el municipio mencionado, causando daños a varios cultivos.	653	1.1
2008-07-26	Chihuahua	Se registraron fuertes lluvias dejando grandes afectaciones, por lo que fue necesario realizar 14 acciones de restauración.	2,825	161.9
2008-07-18	Zacatecas	Se registraron fuertes lluvias dejando grandes afectaciones, por lo que fue necesario realizar 2 acciones a nivel federal por parte de SCT.	885	55.1

2008-07-10	Veracruz	Se registró fuerte lluvia e inundación dejando graves afectaciones, por lo que fue necesario realizar 5 acciones a nivel federal, 32 en nivel estatal en el rubro de comunicaciones y transporte.	0	145.0
2008-01-01	Veracruz	Se registraron afectaciones en cultivos de maíz a consecuencia de la inundación registrada en los municipios mencionados.	2,929	42.7
2008-01-02	Chiapas	Debido a las fuertes lluvias se reportaron afectaciones menores en 90 viviendas debido a la penetración de agua provocada por el desbordamiento de algunos ríos.	450	0.4
2008-06-06	San Luis Potosí	Se registraron afectaciones en cultivos de maíz a consecuencia de la inundación registrada en los municipios mencionados	3,185	11.7
2008-06-06	San Luis Potosí	Se registraron afectaciones en cultivos de café a consecuencia de la inundación registrada en el municipio mencionado.	320	0.3
2008-07-08	San Luis Potosí	Se registró fuerte lluvia e inundación dejando graves afectaciones, por lo que fue necesario realizar 2 acciones a nivel federal, 28 en nivel estatal en el rubro de comunicaciones y transporte.	0	122.9
2008-08-01	Durango	Se registraron afectaciones en más de 3,000 hectáreas de maíz, frijol y avena.	1,085	2.8
2008-08-03	Chihuahua	Más de 2,500 productores de Maíz, Chile, Sorgo, Frijol, Nogal y Alfalfa resultaron afectados por las inundaciones registradas entre el 03 y 12 de agosto	2,527	119.2
2008-08-13	Durango	Se registró una inundación entre el 13 y 29 de agosto afectando a más de 1,200 productores que cultivaban Maíz, Sorgo, Cacahuete, Avena, Frijol y Chile.	1,242	14.0
2008-09-03	Chihuahua	Se presentaron fuertes lluvias e inundación, por lo que fue necesario implementar 39 acciones de restauración.	1,765	379.9
2008-09-04	Durango	Los días 4 y 5 de septiembre se registró una inundación atípica en el estado de Nuevo León afectando 2 municipios	465	129.5

2008-09-09	Sinaloa	A consecuencia de las severas inundaciones, se presentaron daños en cerca de 7,200 hectáreas de.	1,438	38.6
2008-09-18	Michoacán	Se registraron afectaciones en cultivos de Sorgo y Maíz, los más de 500 productores afectados fueron apoyados por el PACC con 1.4 millones de pesos. La producción afectada se estimó en más de 7,500 toneladas.	513	15.3
2008-09-24	Tabasco	Se registraron lluvias extremas en varios municipios del estado. Se realizó una evaluación de daños entre el CENAPRED y la CEPAL. Miles de personas resultaron afectadas	38,246	4594.2
2009-08-25	Nayarit	Se registraron severas inundaciones en el estado de Nayarit afectando a más de 1,500 productores de Sandía, Maíz, Sorgo, Plátano. Papaya, Coco y Limón.	1,565	108.7
2009-12-05	Nayarit	Debido a las fuertes lluvias se registraron inundaciones en zonas de cultivo, afectando 5,182 hectáreas de cultivos de frijol, sorgo, maíz, jícama, jitomate, sandía, tomatillo, etc.	1,658	70.4
2009-07-20	México	Se registró la fractura del rio Ameca, inundando de aguas negras 6 hectáreas de cultivo.	0	0.0
2010-07-24	Veracruz	Se registraron intensas lluvias e inundaciones en los municipios mencionados. Por tal motivo se registraron daños en la infraestructura hidráulica y carretera, así como en el medio ambiente	0	836.6
2010-07-01	Durango	Se registraron severas inundaciones fluviales en varios municipios del estado. Por tal motivo el FONDEN apoyo para la realización de 1,184 acciones de reconstrucción.	6,640	109.7
2010-07-24	Tamaulipas	Se registraron intensas lluvias e inundaciones en los municipios mencionados, se reportaron daños en carretero, hidráulico, urbano y vivienda.	2,225	97.2
2010-08-08	México	Se reporta a las 20:00 horas, la ruptura de un cárcamo en el rio chico de los Remedios, en la Colonia Izcalli. Afectando viviendas por la inundación.	0	0.0

2010-08-25	Morelos (Yautepec)	Se registró el desbordamiento de algunos ríos como consecuencia de las intensas lluvias registradas en el estado. Desafortunadamente se reportaron daños en viviendas, escuelas, infraestructura carretera, urbana e hidráulica. Fue necesario emitir declaratoria de emergencia y desastre.	1,965	94.9
2010-09-22	Tamaulipas	Se registran inundaciones y encharcamientos a causa del desbordamiento del río Bravo, por las lluvias registradas en el Puente Internacional Reynosa-Hidalgo, dañando colonias aledañas, como. Los Patos y 21 de marzo. Rebasando los 500 metros cúbicos por segundo.	0	0.0
2011-07-03	San Luis Potosí	Se registraron intensas lluvias entre el 3 y 7 de julio en 19 municipios del estado, ocasionando severos daños en la infraestructura carretera de la Región Huasteca. Dos personas perdieron la vida por arrastre. La inundación fue pluvial y fluvial	2	115.8
2011-07-14	Veracruz	Se registró el desbordamiento del Río Cazones ocasionando daños en 101 viviendas y en la infraestructura hidráulica, carretera y urbana de los municipios afectados. Se evacuó a 1,600 personas de zonas de riesgo	2,105	511.3
2011-06-15	Hidalgo	Desbordamiento de los ríos Tultitlan y El Llano, a la altura de la cabecera municipal de Orizatlán	2,250	1.1
2011-06-27	Tabasco	Se reportó como desaparecida una persona de 37 años de edad, misma que fue arrastrada por la corriente del río Puxcatan (esto por las fuertes lluvias), a la altura de la Ranchería allende alto 2ª Sección Paredón.	1	0.0
2011-06-29	México	Al menos 30 calles de la colonia El Sol, así como vialidades importantes en Nezahualcóyotl, estado de México, se encuentran inundadas por el desbordamiento del Bordo de Xochiaca a causa de las fuertes lluvias que se registraron el domingo.	44,000	509.0
2011-09-27	Tabasco	50 año consecutivo de inundaciones. En este caso se consideraron desde noviembre a septiembre. Es el segundo año más costos	347,925	10423.7

		después de 2007. El sector de carreteras fue el más afectado.		
2011-10-01	Campeche	Se registró una inundación fluvial entre el 1 y el 21 de octubre a consecuencia de las intensas lluvias registradas en la región, que provocaron que el Rio Palizada se saliera de su cauce.	5,188	437.3
2011-10-09	Distrito Federal	Una colonia afectada, en 10 viviendas y varias fábricas. Por el desbordamiento del rio de los Remedios	50	0.1
2011-10-14	Guerrero	Se registró una inundación por acumulamiento de agua alcanzando un nivel de medio metro	15	0.3
2012-06-25	Puebla	Las lluvias ocasionaron inundación en el municipio que afecta los sectores educativo e hidráulico.	895	14.1
2012-09-13	Durango	El 13 de septiembre ocurrió una inundación que afectó dos municipios del estado.	23,854	9.3
2013-09-06	Distrito Federal	Los cultivos que fueron afectados y los daños que sufrieron debido a la inundación de este fenómeno meteorológico son: noche buena, cempazuchitl, romero, ruda, millonarias, belén, jitomate, amaranto de ornato, lechuga, verdolaga, espinaca, calabaza y chile.	20	13.8
2013-12-14	Tabasco	Especies que fueron afectadas y dañadas debido a la inundación presentada en el estado son: especies de bovino por daños de afectación en pastura	7,400	503.4
2014-07-25	Sonora	Las lluvias y fuertes vientos provocaron severas inundaciones en el municipio de Nogales	0	30.1
2014-07-05	Veracruz	Las lluvias e inundación perjudicaron a los sectores hidráulico, urbano y vivienda.	0	214.1
2014-07-05	Guerrero	La inundación costera provoco afectaciones en el sector carretero.	0	44.7
2014-07-10	Guanajuato	Las fuertes lluvias provocaron afectaciones en los municipios de Apaseo el Alto: 337 viviendas afectadas	2,672	9.5

2014-07-12	Sonora	Las lluvias afectaron los rectores deportivos, hidráulico y salud.	0	5.6
2014-07-07	Sonora	Lluvias fuertes ocasionaron afectaciones en 19 viviendas y comercio por penetración de agua.	95	2.9
2014-05-22	Tabasco	El cultivo gravemente afectado debido a la inundación significativa fue el sorgo.	245	38.4
2014-08-21	Sinaloa	Debido a las lluvias registradas se afectaron 100 domicilios por penetración de agua (alcanzando 1 m de altura.	12,152	10.0
2014-09-05	Chihuahua	La inundación provoco afectaciones en el sector hidráulico y urbano.	7,953	129.1
2014-09-13	Tamaulipas	Las lluvias e inundaciones afectaron a los sectores carretero, hidráulico y urbano.	0	45.5
2014-09-16	Sonora	Debido a las lluvias y la inundación fue necesario proporcionar 378 despensas.	507	1.0
2014-09-21	Chihuahua	Se atendió a la población con 44700 despensas.	0	32.8
2014-10-13	Veracruz	Se proporcionó apoyo a la población a través de 14829 despensas.	19,773	24.9
2014-10-17	Tabasco	Fuertes lluvias que provocaron el desbordamiento de los ríos Puyacatengo y Oxolotán.	70	0.1
2014-07-06	Sinaloa	Lluvia severa e inundación pluvial y fluvial. Se otorgaron apoyos a la población afectada de 11691 despensas	0	8.6
2014-01-04	Chiapas	Lluvia severa e inundación fluvial e inundación pluvial	0	2.9
2014-06-29	Morelos (Yautepec)	Inundación provocada por la lluvia severa ocurrida el 29 de junio.	0	0.7
2015-07-09	Veracruz	Derivado de las lluvias se registraron 797 viviendas con algún tipo de afectación.	14,266	18.2
2015-07-04	Chihuahua	Debido a las intensas precipitaciones se reportaron diversas afectaciones.	8,380	376.0
2015-07-22	Chihuahua	Debido a las fuertes lluvias se registraron 182 km de caminos afectados con encharcamientos.	1,000	65.2
2015-07-15	Veracruz	Se repartieron 1,224 despensas,	2,449	3.9

2015-05-15	Tamaulipas	Debido a las fuertes lluvias se declararon en emergencia al municipio de Reynosa por lo que se repartieron a la población 2,490 despensas.	4,982	2.6
2015-05-24	Tamaulipas	Debido a las fuertes lluvias se reportaron encharcamientos con un tirante de 80 cm hasta 1 metro de altura.	20,040	43.5
2015-06-11	Veracruz	Debido a la inundación fluvial se declararon en emergencia a los municipios de Tepatlaxco y Tierra Blanca por lo que se repartieron 1,284 despensas.	2,571	143.5
2015-06-18	Zacatecas	Derivado de las lluvias fuertes de casi 90 mm, se presentaron 12 comunidades afectadas.	8,338	10.4
2015-06-23	Chihuahua	Por la inundación fluvial se declaró en emergencia al municipio de Hidalgo del Parral.	827	1.3
2015-08-09	Sinaloa	Por la lluvia severa y la inundación se declararon en emergencia a los municipios de Guasave y Mocorito.	6,432	4.9
2015-08-15	Sinaloa	Por la lluvia severa y la inundación se declararon en emergencia a los municipios de Escuinapa y Rosarito.	4,403	3.6
2015-09-07	Sinaloa	Se presentaron lluvias fuertes con tormenta eléctrica	4,476	132.9
2015-09-11	Sinaloa	Derivado de la inundación se declaró en emergencia al municipio de Mazatlán.	6,120	4.2
2015-09-18	Baja California Sur	Derivado de la inundación se declararon en emergencia a tres municipios.	13,754	21.9
2015-09-25	Veracruz	Por las inundaciones se declararon en emergencia a seis municipios.	3,945	5.0
2015-10-03	Baja California Sur (La Paz)	Por la inundación se declaró en emergencia al municipio de La Paz.	3,750	168.9
2015-10-16	Baja California Sur (La Paz)	Las intensas lluvias que se registraron, provocaron en diversos municipios diversas afectaciones	40,465	2184.0

2015-10-16	Veracruz	Debido a las inundaciones se declararon en emergencia a cuatro municipios.	4,003	5.4
2015-10-24	Tamaulipas	Por las lluvias severas se declararon en emergencia a los municipios de Reynosa y rio Bravo.	6,371	47.1
2015-10-29	Sinaloa	Debido a las inundaciones se declaró en emergencia al municipio de Escuinapa.	2,400	1.7
2015-10-30	Veracruz	Debido a las inundaciones se declararon en emergencia a siete municipios.	13,972	20.8
2015-11-19	Veracruz	Debido a las inundaciones se declararon en emergencia a 10 municipios.	3,616	6.4
2015-11-19	Veracruz	Debido a las inundaciones se declararon en emergencia a tres municipios.	2,063	1.3
2015-12-03	Veracruz	Debido a las inundaciones se declararon en emergencia a seis municipios.	4,337	6.8
2016-07-19	Estado de México	Las inundaciones afectan las calles Hacienda de las Golondrinas y Hacienda del Ciervo	3.95	5.3
2015-09-28	CDMX	Inundaciones por lluvias intensas	1.95	2.3
2017-09-17	CDMX	En la estación meteorológica ubicada en Puente de Vigas en los límites de Azcapotzalco y Tlalnepantla se registraron lluvias de hasta 56 milímetros, entre Gustavo A. Madero y Tlalnepantla la medida alcanzó hasta 36 milímetros.	7.32	5.9
2018-14-06	Iztapalapa, Iztacalco y Cuauhtémoc	Se tiene un encharcamiento de espejo de 200 metros con 35 cm de tirante	1700	1.5
2020-12-18	Veracruz	Inundaciones registradas en el municipio de Agua Dulce.	3600	6.3
		Total=	781,596	23,884.200

14.3 FUNCIONES DE ÁREA OPERATIVA Y PREVENTIVA DEL SATI

OPERATIVO.					
Antes.	Durante.				Después.
	Peligro bajo.	Peligro moderado.	Peligro alto.	Peligro muy alto.	
<p>Conformación del sistema de información geográfica.</p> <p>Realizar levantamientos topográficos del cauce del río por parte del SATI.</p> <p>Capacitación al personal del SATI.</p> <p>Revisar el equipo de cómputo (Software y Hardware).</p> <p>Divulgar por internet los resultados de las modelaciones de lluvias pasadas.</p>	<p>Dar aviso para indicar inicio del sistema de alerta.</p> <p>Contacto con comités vecinales.</p>	<p>Cortar suministro de luz.</p> <p>Ordenar a seguridad publica mantener áreas cercanas al río.</p>	<p>Revisar cámaras de seguridad para percatarse si existen personas cercas de la zona de peligro.</p>	<p>Coordinación con personal de campo para determinar acciones.</p>	<p>Recabar toda la información posible del evento de inundación para analizar su comportamiento.</p> <p>Generar nuevos mapas de peligro.</p> <p>Revisar equipo e instrumentación.</p> <p>Calibrar los modelos hidráulico e hidrológico.</p>

Tabla 60. Metodología del área operativa del SATI.

PREVENTIVA.					
Antes.	Durante.				Después.
	Peligro bajo.	Peligro moderado.	Peligro alto.	Peligro muy alto.	
<p>Medidas de mitigación estructurales (obras de regulación, rectificación y prevención).</p> <p>Recorridos al cauce para detectar posibles causas de taponamiento.</p> <p>Revisar estaciones (EMAS y EHA).</p> <p>Establecer albergues y salidas de emergencia.</p> <p>Realizar simulacros.</p> <p>Talleres de concientización de inundaciones.</p> <p>Realizar mapas de riesgo por inundación.</p> <p>Revisar y mantener en buen estado las alarmas de alerta.</p>	<p>Usar la regla de umbrales de precipitación que estarás ubicadas estratégicamente para verificar en sitio los niveles del cauce.</p> <p>Alertar a los habitantes del inicio de temporadas de lluvias y promover el constante chequeo al semáforo de peligro.</p>	<p>Habilitar albergues</p> <p>Liberar calles y avenidas que serán salida de emergencia.</p> <p>Cancelar el paso de puentes vehiculares y peatonales que estén en zonas de riesgo.</p> <p>Avisar a los habitantes que se encuentre en zonas de riesgo que comiencen a resguardar documentos y objetos de valor.</p> <p>Estar alerta al semáforo.</p>	<p>Se recibe alerta por parte del área operativa del SATH.</p> <p>Evacuar zonas de peligro.</p>	<p>Mantener resguardada la zona de desastre hasta que pase la inundación.</p> <p>Dar atención medica si se requiere.</p>	<p>Revisar daños ocasionados por el paso de la inundación. (Puentes, casas, lugares públicos o de esparcimiento, servicios públicos, etc.)</p> <p>Limpiar zonas con azolves y encharcamientos que puedan provocar daño a la salud.</p> <p>Realizar propuestas de mejoramiento urbano.</p> <p>Dar atenciones psicológicas a la comunidad afectada.</p>

Tabla 61. Metodología del área preventiva del SATI.

14.4 MODELOS HIDROLÓGICOS VIGENTES

Tabla 61. Modelos hidrológicos vigente, Vargas-Castañeda et al. (2015)

Modelo	Componentes	Acceso
HSPF (Hydrological Simulation Program-Fortran)	Escurremientos, calidad del agua, simulación en áreas permeables e impermeables	Publico
USDAHL (USDA Hydrograph Laboratory)	Modelo concentrado para la simulación de eventos.	Publico
USGS-PRMS (USGS-Precipitation Runoff Modeling System)	Modelo para simulación continua y por eventos.	Publico
TAUDEM (Terrain Analysis Using Digital Elevation Models)	Modelo para análisis hidrológico.	Publico
HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System)	Modelo semidistribuido para simulación de eventos.	Publico
RORB	Modelo concentrado para simulación de eventos.	Publico
SWMM (Storm Water Management Model)	Modelo semidistribuido para simulación continua.	Publico
MD_SWMS (Multidimensional Surface Water Modeling System)	Sistema para modelación multidimensional del agua superficial.	Publico
TOP MODEL	Modelo distribuido para simulación continua.	Publico
MIKE-SHE (Mike-Systeme Hydrologique Europee)	Modelo distribuido para simulación continúa de flujo Superficial y Subterráneo.	Privado
ARNO	Modelo semidistribuido para simulación continua.	Publico
WAT FLOOD	Modelo semidistribuido para simulación continua.	Publico
SHETRAN (Systeme Hydrologique Europee-Transport)	Modelo distribuido para simular cantidad y calidad de agua.	Publico

SWAT (Soil and Water Management Tool)	Modelo distribuido para simulación continua.	Publico
HYDRO TEL	Modelo distribuido para simulación continua.	Publico
ANSWERS 2000 (Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation)	Modelo distribuido para simular escurrimientos, infiltración, nutrientes y contaminantes.	Publico
AGNPS (Agricultural Non-Point Source Pollution Model)	Modelo distribuido para simular escurrimientos, infiltración, erosión y contaminantes.	Publico
Ann-AGNPS	Modelo distribuido para simular transporte de sedimentos, nutrientes y pesticidas.	Publico
GSSHA-CASC2D (GSSHA-Cascade of planes, 2-Dimensional)	Modelo distribuido para simular humedad del suelo, tránsito de canales, erosión y transporte de sedimentos.	Privado
KINEROS2 (Kinematic Runoff and Erosion Model 2)	Modelo distribuido para simular flujo superficial, tránsito de canales, sedimentos, infiltración y erosión.	Publico
AGWA (Automated Geospatial Watershed Assessment)	La herramienta AGWA es una interfaz para automatizar la parametrización y ejecución de SWAT y KINEROS2	Publico
WEPP (Water Erosion Prediction Project)	Modelo distribuido para simular flujo superficial, balance de agua, crecimiento vegetal, erosión, entre otros.	Publico
HBV (Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning)	Modelo concentrado para simulación continua	Publico
EPIC y APEX (Environmental Policy Integrated Climate-Agricultural Policy/Environmental eXtender Model)	Modelo para sistemas de cultivos y productividad del suelo- Modelo para tránsito de agua, sedimentos, nutrientes y pesticidas.	Publico
CEQUEAU (Centre Québécois des Sciences de l'Eau)	Modelo distribuido para simulación continua.	Publico
LASCAM (Large-Scale Catchment Model)	Modelo para predecir el impacto de uso del suelo y del cambio climático.	Privado
SAFRAN-ISBA-MODCOU (SAFRAN-(Interaction sol-	Modelos para análisis de variables atmosféricas, intercambio de energía e hidrología.	Publico

biosphère-atmosphère-MODCOU)		
DHSVM (Distributed Hydrology Soil Vegetation Model)	Modelo distribuido para cuencas grandes	Publico
DWSM (Dynamic Watershed Simulation Model)	Modelo para simular escurrimientos y calidad del agua en eventos.	Privado
SEFM (Stochastic Event FloodModel)	Modelo para simulación de eventos.	Privado
BWBM (Bochum Water BalanceModel)	Modelo distribuido para simulación continua de humedad del suelo y escurrimientos.	Publico
IWFM (Integrated Water Flow Model)	Modelo concentrado para simulación continua de agua superficial y subterránea.	Publico
OWLS (Object Watershed Link Simulation)	Modelo distribuido para simulación continua de diferentes componentes del ciclo hidrológico.	Publico
RRMT (Rainfall-Runoff Modelling and Monte-Carlo Analysis Toolboxes)	Modelo lluvia-escurrimiento en ambiente Matlab	Publico
HYMOD	Modelo conceptual concentrado para lluvia-escurrimiento.	Publico
MPE (Modelo para Pronóstico de Escurrimientos)	Modelo de parámetros distribuidos para el pronóstico de escurrimientos.	Publico

14.5 RESULTADOS DE MODELACIÓN HIDROLÓGICA

A3. Resultados de modelación hidrológica 17 de agosto del 2010.

17 de agosto del 2010						
R6	S26	R6+S26	Obs Flow			R6-S26
0	0	0	5.3	28.09	9906.30745	5.3
0.2	0	0.2	6.2	36	9727.96267	6
1.1	0	1.1	6.8	32.49	9609.96614	5.7
4.7	0.1	4.8	15.4	112.36	7997.80267	10.6
24.4	0.7	25.1	41.6	272.25	3998.08788	16.5
74.9	1.8	76.7	85	68.89	393.246144	8.3
146.6	3	149.6	159.4	96.04	2977.83745	9.8
216.4	3.9	220.3	218	5.29	12807.3505	-2.3
268	4.5	272.5	276	12.25	29299.0201	3.5
293.2	4.6	297.8	303.8	36	39588.8879	6

282.5	4	286.5	282.8	13.69	31673.1661	-3.7
257.2	3.7	260.9	241.3	384.16	18623.9422	-19.6
217.5	2.7	220.2	195.6	605.16	8239.11397	-24.6
175.4	2.3	177.7	155.4	497.29	2557.28093	-22.3
131.8	1.5	133.3	123.3	100	341.124839	-10
95	1.1	96.1	91.6	20.25	175.044405	-4.5
65.8	0.7	66.5	61	30.25	1921.10701	-5.5
42.9	0.4	43.3	39.7	12.96	4241.97353	-3.6
27.2	0.3	27.5	21.7	33.64	6910.66919	-5.8
21.4	0.3	21.7	20.2	2.25	7162.31049	-1.5
19.1	0.3	19.4	16.4	9	7819.9418	-3
17.5	0.3	17.8	15	7.84	8069.50701	-2.8
19.7	0.4	20.1	29.6	90.25	5659.61832	9.5
	Σ=	2439.1	104.8304348	2506.4	229701.269	28

A4. Resultados de modelación hidrológica 25 de agosto del 2010.

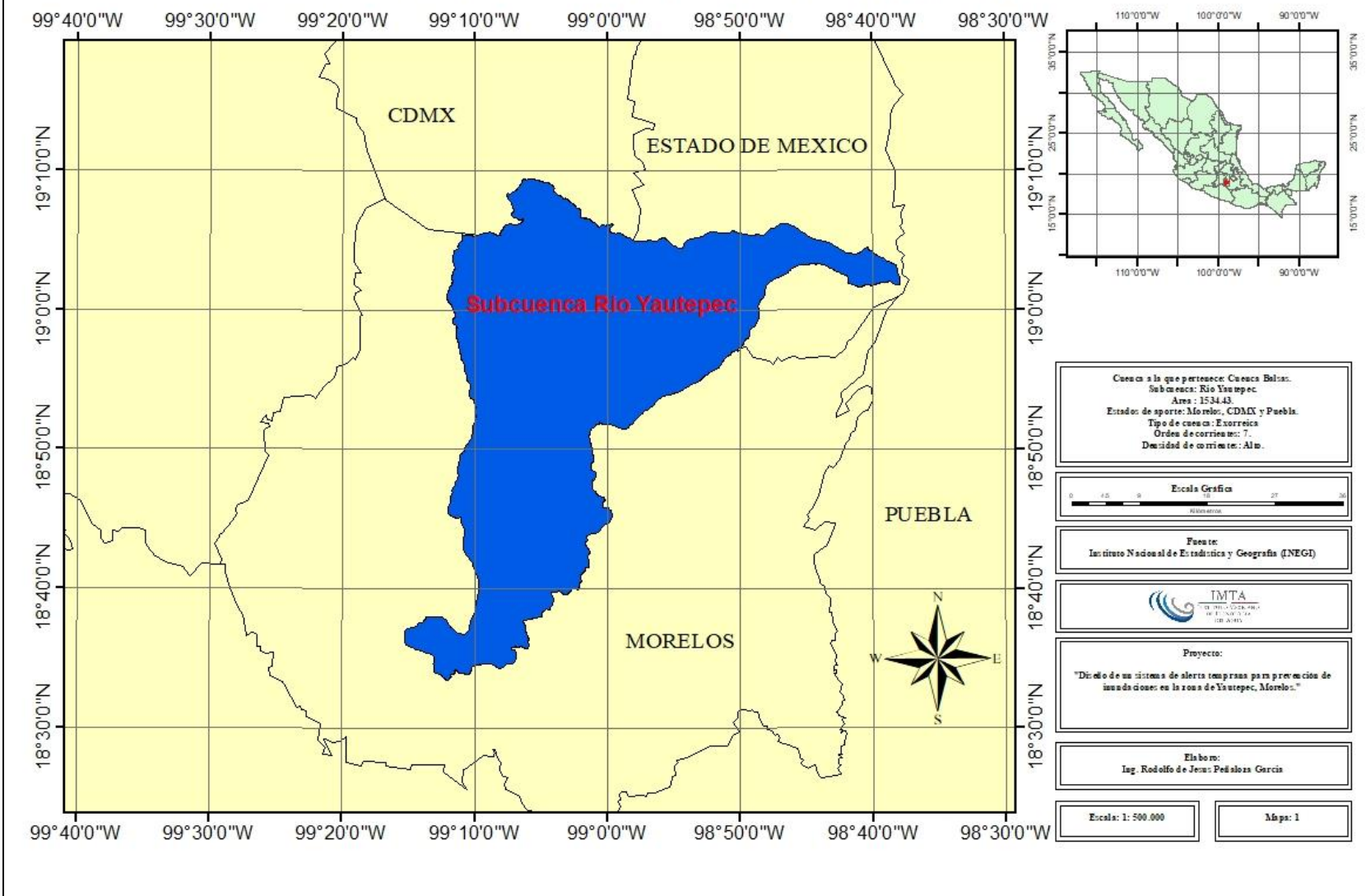
25 de agosto del 2010							
R6	S26	R6+S26	Obs Flow			R6-S26	R6
0	0	0	0.7	0.49	19875.0636	0.7	0
0.1	0	0.1	14.6	210.25	16149.0589	14.5	0.1
5.5	0	5.5	36.2	942.49	11125.8083	30.7	5.5
40.7	0.3	41	70.5	870.25	5066.44255	29.5	40.7
114.5	0.7	115.2	121.8	43.56	395.172548	6.6	114.5
197.7	0.9	198.6	186.5	146.41	2008.92676	-12.1	197.7
271.8	1.2	273	253.8	368.64	12571.1304	-19.2	271.8
322.8	1.3	324.1	322.5	2.56	32696.2531	-1.6	322.8
329.4	1.2	330.6	320.2	108.16	31869.7662	-10.4	329.4
306.6	1.1	307.7	291.3	268.96	22386.4594	-16.4	306.6
271.2	0.9	272.1	252.9	368.64	12370.1225	-19.2	271.2
225.6	0.7	226.3	197.9	806.56	3160.80676	-28.4	225.6
171.7	0.5	172.2	149.6	510.76	62.7430748	-22.6	171.7
124.9	0.4	125.3	106	372.49	1272.98729	-19.3	124.9
88.9	0.3	89.2	92.7	12.25	2398.93729	3.5	88.9
59.1	0.1	59.2	81.1	479.61	3669.80886	21.9	59.1
37.2	0.1	37.3	71.7	1183.36	4897.05307	34.4	37.2
28.1	0.1	28.2	64.1	1288.81	6018.49307	35.9	28.1
23.3	0.1	23.4	57.8	1183.36	7035.67781	34.4	23.3
	Σ=	2629	141.6789474	9167.61	195030.712	62.9	

A5. Resultados de modelación hidrológica 4 de julio del 2003.

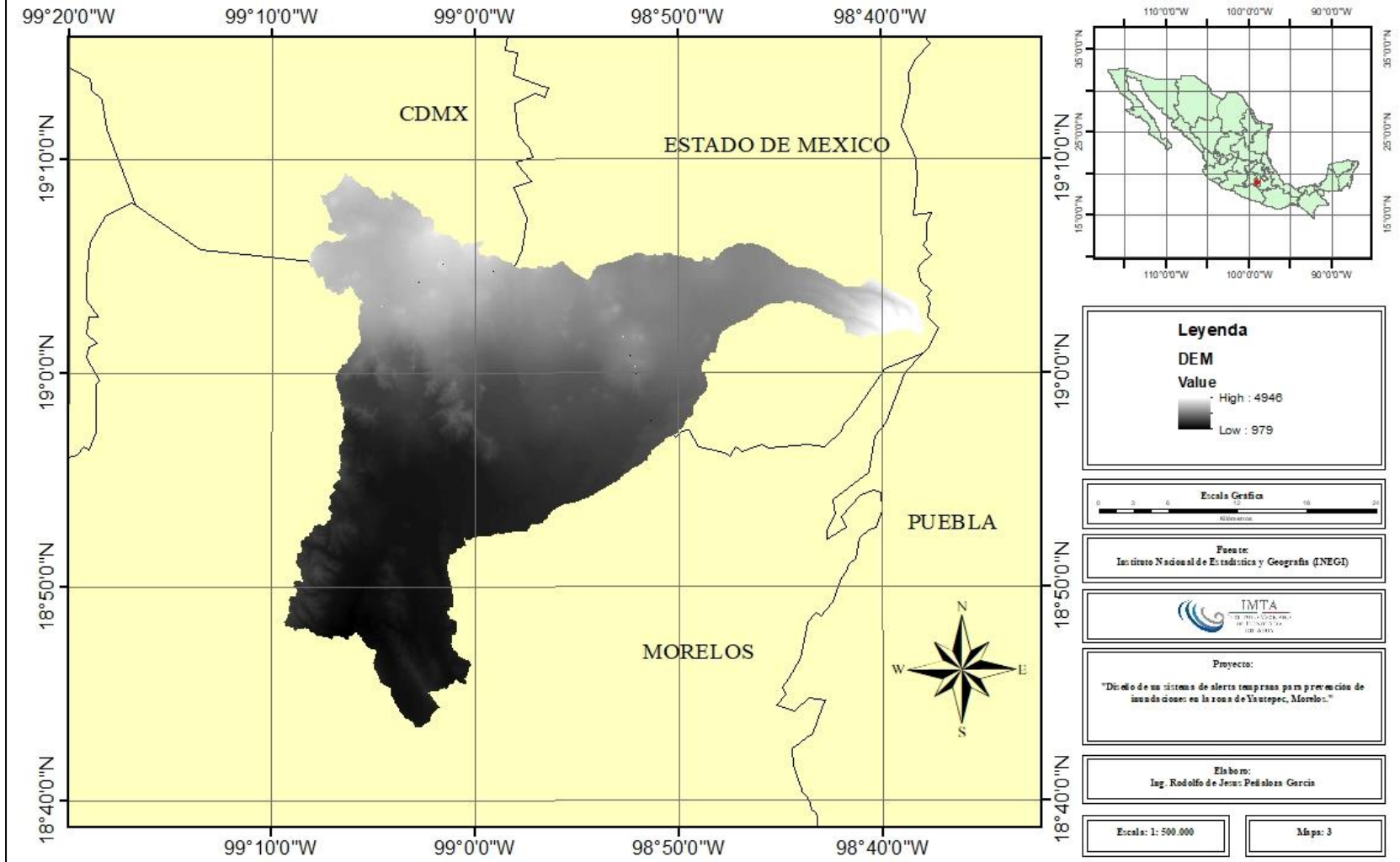
04 de julio del 2003							
R6	S26	R6+S26	Obs Flow			R6-S26	R6
0	0	0	0.8	0.64	5195.5264	0.8	0
0	0	0	2	4	5023.9744	2	0
0.1	0	0.1	4.5	19.36	4675.8244	4.4	0.1
0.4	0	0.4	9.6	84.64	4004.3584	9.2	0.4
1.2	0	1.2	18.8	309.76	2924.6464	17.6	1.2
4.7	0	4.7	33.9	852.64	1519.4404	29.2	4.7
22.4	0	22.4	56.2	1142.44	278.2224	33.8	22.4
64.4	0.1	64.5	85.9	457.96	169.5204	21.4	64.4
119.5	0.1	119.6	120.9	1.69	2305.9204	1.3	119.5
168.8	0.2	169	156.6	153.76	7009.0384	-12.4	168.8
201.8	0.2	202	186.9	228.01	13000.5604	-15.1	201.8
214.6	0.2	214.8	205.3	90.25	17535.0564	-9.5	214.6
202.7	0.2	202.9	207.7	23.04	18176.4324	4.8	202.7
181.5	0.1	181.6	193.5	141.61	14549.1844	11.9	181.5
151.8	0.1	151.9	166	198.81	8671.3344	14.1	151.8
121.3	0.1	121.4	131.1	94.09	3389.5684	9.7	121.3
90.7	0.1	90.8	95.4	21.16	507.1504	4.6	90.7
65.1	0	65.1	63.9	1.44	80.6404	-1.2	65.1
45	0	45	39.4	31.36	1120.9104	-5.6	45
29.2	0	29.2	22.4	46.24	2548.2304	-6.8	29.2
18.6	0	18.6	11.7	47.61	3742.9924	-6.9	18.6
14.5	0	14.5	5.6	79.21	4526.5984	-8.9	14.5
13	0	13	2.5	110.25	4953.3444	-10.5	13
11.9	0	11.9	1	118.81	5166.7344	-10.9	11.9
13.3	0	13.3	0.4	166.41	5253.3504	-12.9	13.3
	Σ=	1757.9	72.88	4425.19	136328.56	64.1	

14.5 MAPAS

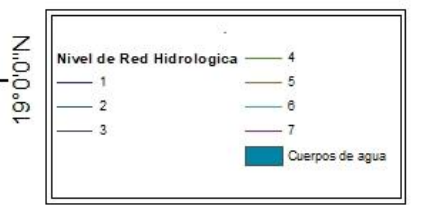
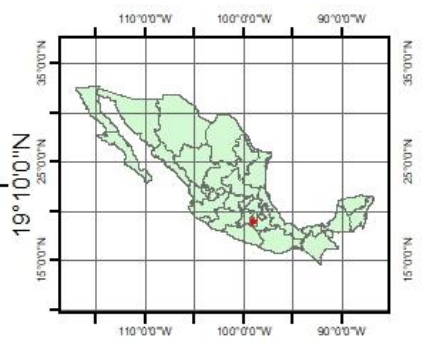
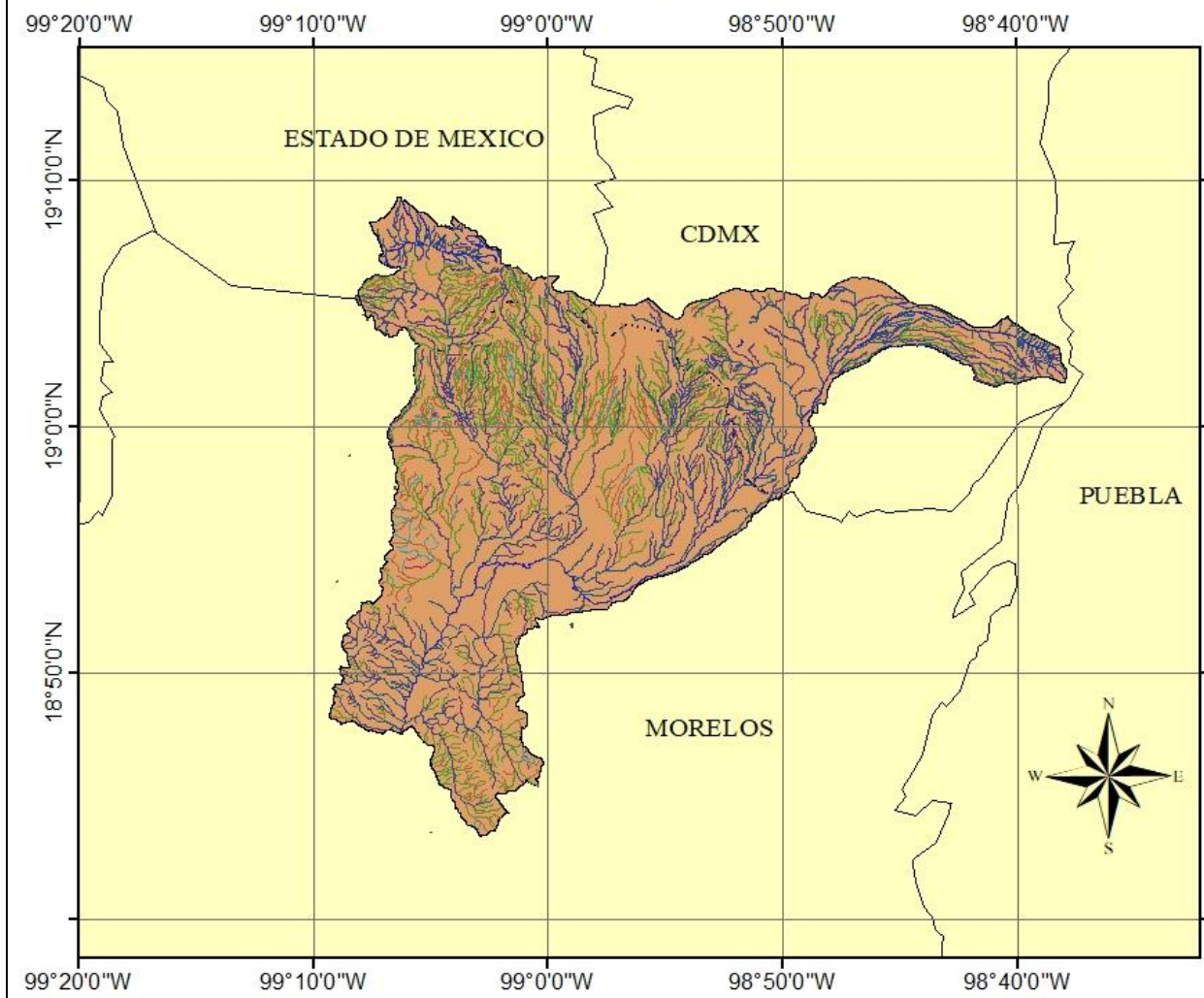
UBICACIÓN DE LA SUBCUENCA YAUTEPEC.



MODELO DIGITAL DE ELEVACIONES



RED HIDROLÓGICA



Fuente:
Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)

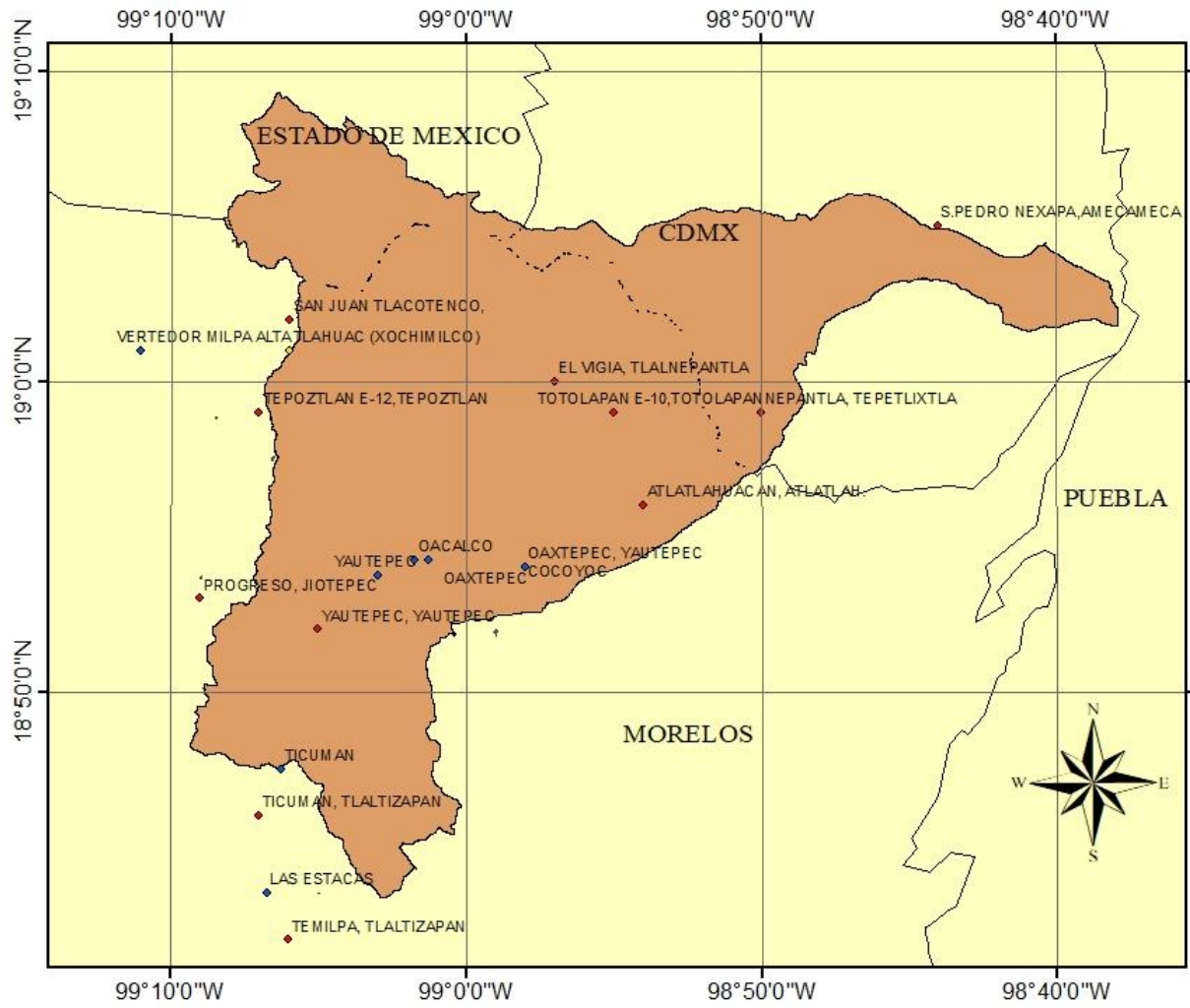


Proyecto:
"Diseño de un sistema de alerta temprana para prevención de inundaciones en la zona de Xatepec, Morelos."

Elaboró:
Ing. Rodolfo de Jesús Peñalosa García

Escala: 1: 500.000 Mapa: 3

ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS E HIDROMÉTRICAS



Leyenda

ESTACIONES HIDROMÉTRICAS	ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS	PROBLEMAS CLIMÁTICOS
• Vertedor Milpa Alta Tlahuac (Xochimilco)	• San Juan Tlacotenco	• El Vigia, Tlalnepantla
• Tepeztlán E-12, Tepeztlán	• Totolapán E-10, Totolapán Nepantla, Tepetlixtla	• Atlatlahuacán, Atlatlah
• Yau Tepic, Oaxcalco	• Oaxtepec, Yau Tepic	• Progreso, Jiotepec
• Yau Tepic, Yau Tepic	• Oaxtepec, Cocoyoc	• Ticumán
• Ticumán, Tlaltizapán	• Las Estacas	• Te Milpa, Tlaltizapán



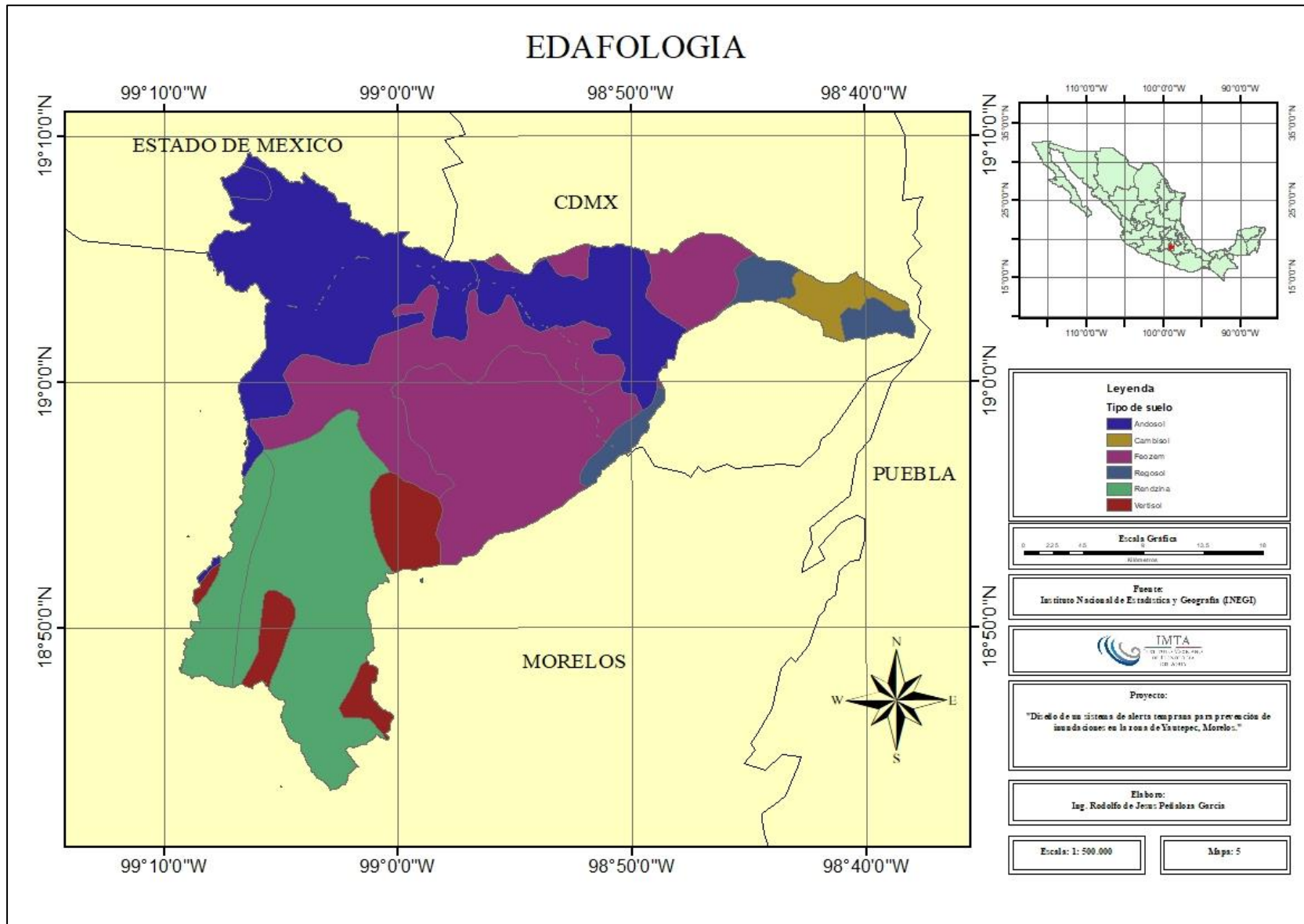
Fuente:
Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)



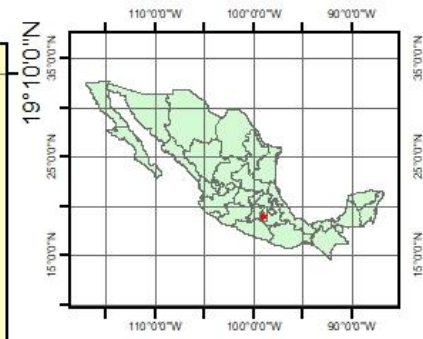
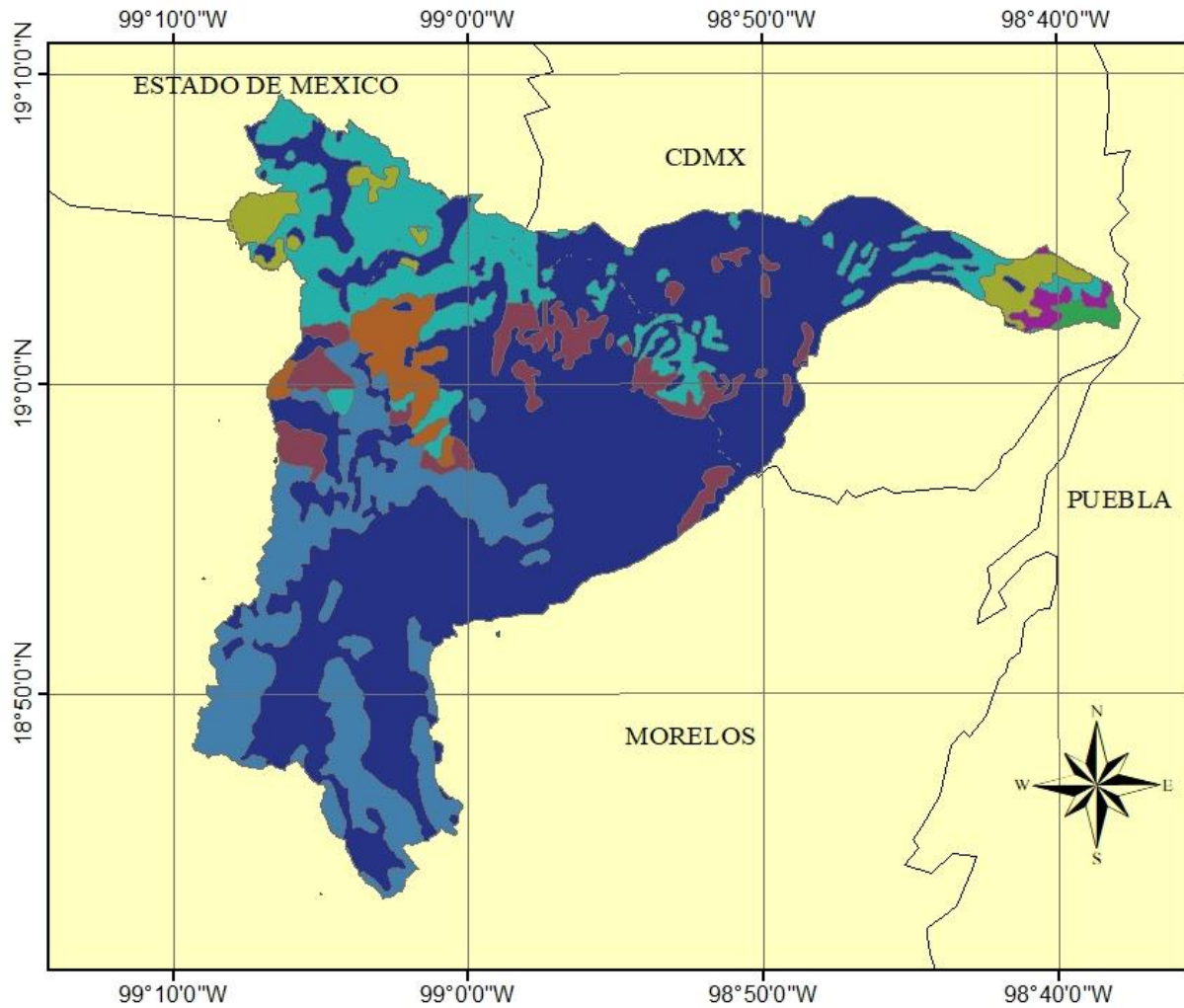
Proyecto:
"Diseño de un sistema de alerta temprana para prevención de inundaciones en la zona de Yau Tepic, Morelos."

Elaboró:
Ing. Rodolfo de Jesús Peñalosa García

Escala: 1: 500.000 Mapa: 4



USO DE SUELO Y VEGETACIÓN



- Leyenda**
- Uso de suelo y vegetación**
- Areas sin vegetación aparente
 - Bosques de coníferas estacionales (Pino)
 - Bosques de arboles
 - Bosques de pino
 - Bosques mixtos de montaña
 - Manejo agrícola, pecuario y forestal (plantaciones)
 - Pastos naturales
 - Selva baja caducifolia y subcaducifolia



Fuente:
Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)

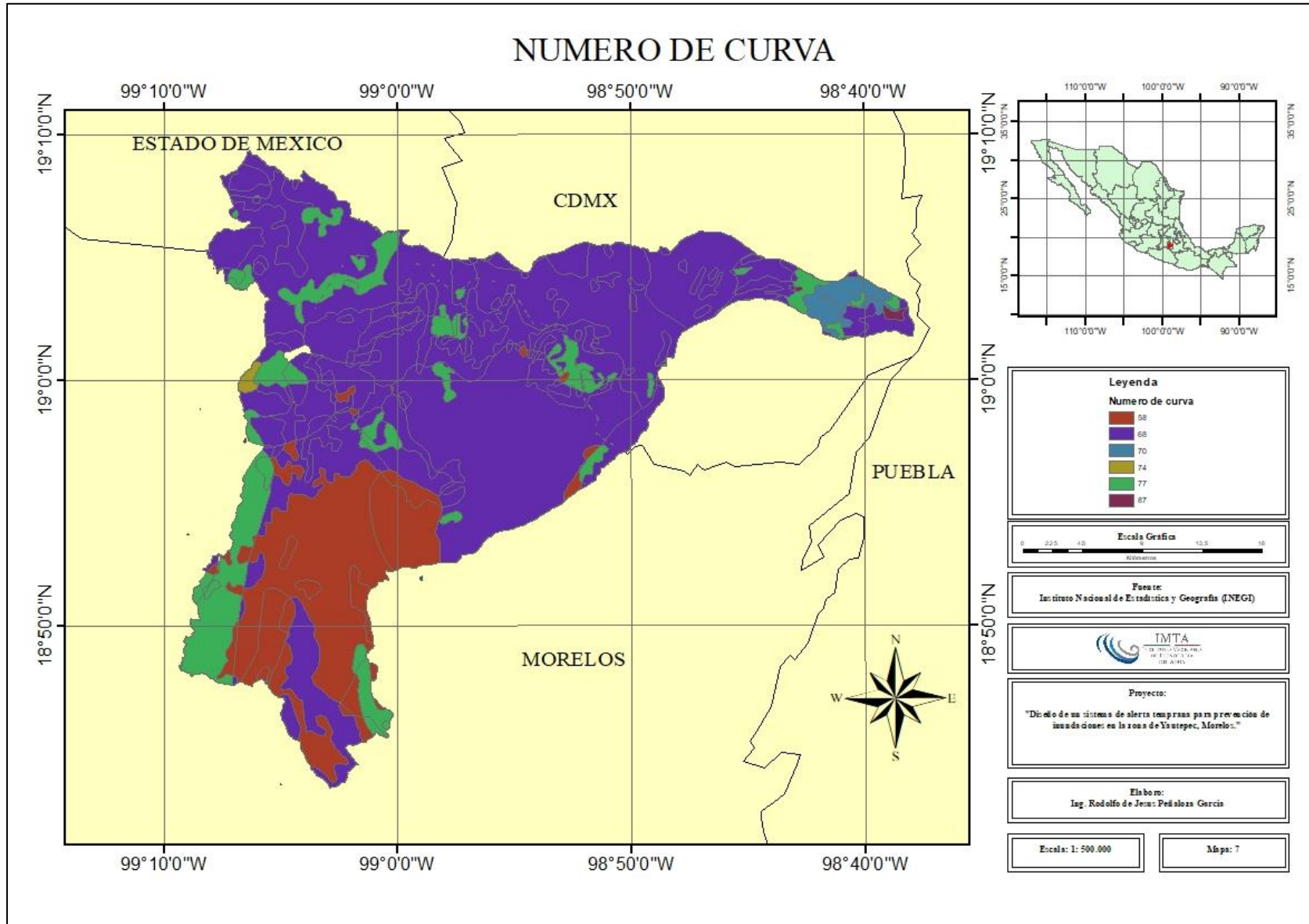


Proyecto:
"Diseño de un sistema de alerta temprana para prevención de inundaciones en la zona de Yustepec, Morelos."

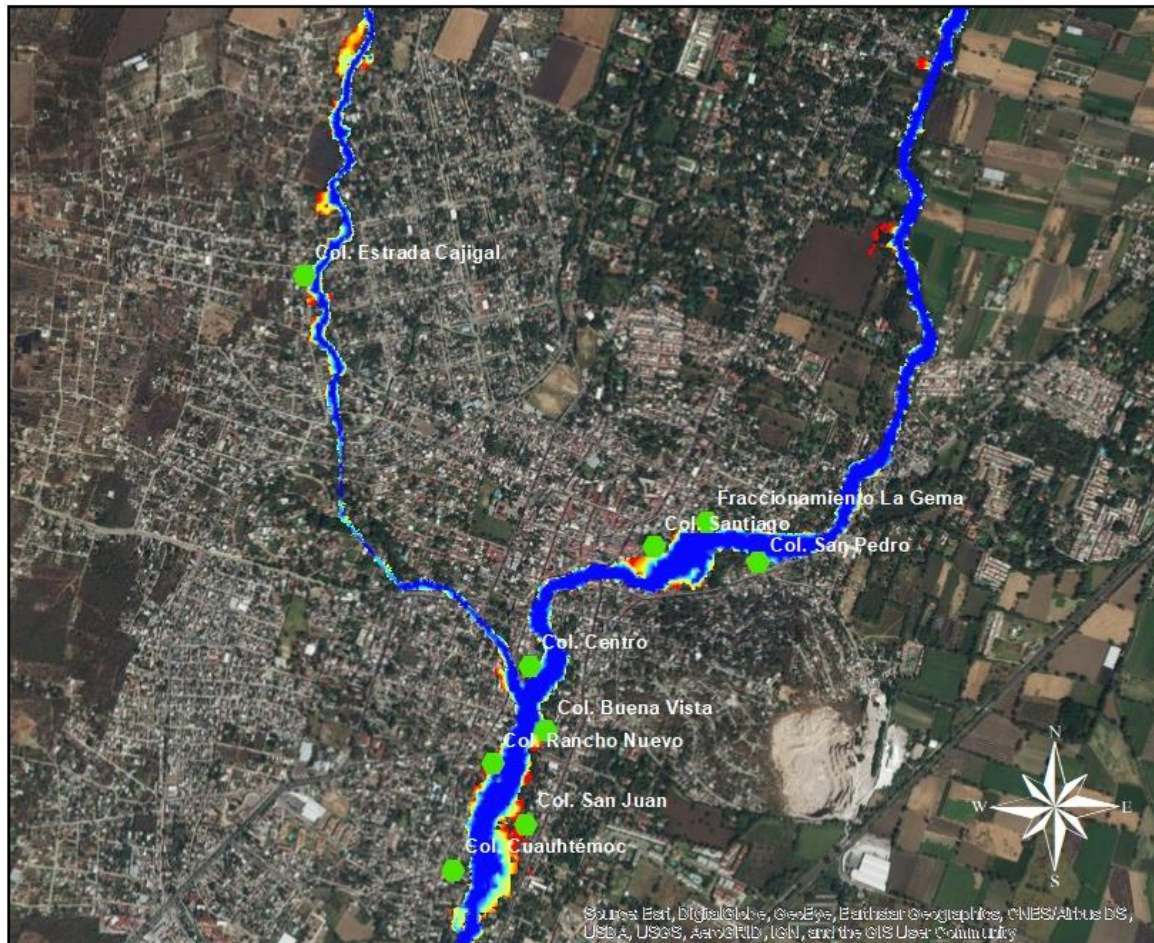
Elaboró:
Ing. Rodolfo de Jesús Peñalosa García

Escala: 1: 500,000 **Hoja:** 6

NUMERO DE CURVA



MAPA DE PELIGRO (4 DE JULIO DEL 2003)



Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community



Fuente:
Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)



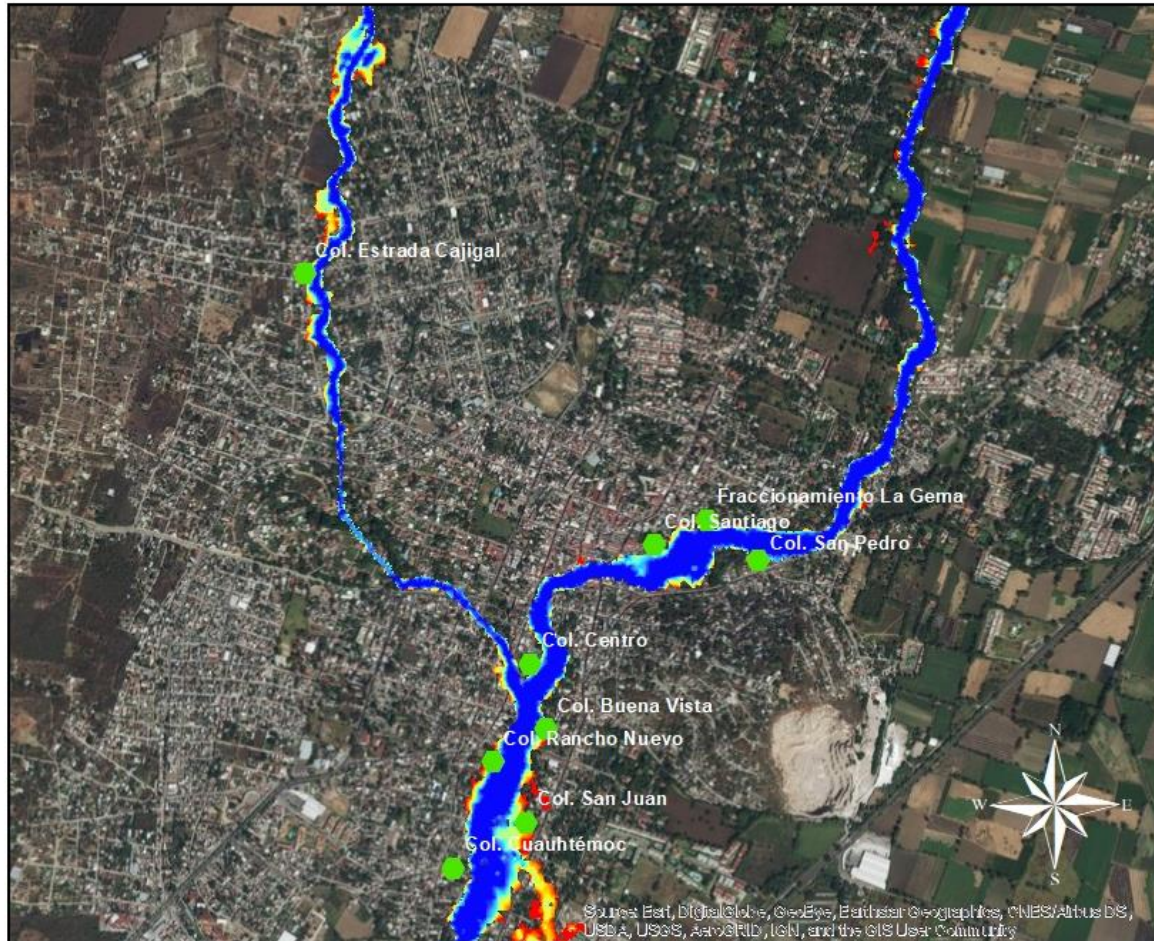
Proyecto:
"Diseño de un sistema de alerta temprana para prevención de inundaciones en la zona de Yaxtepec, Morelos."

Elaboró:
Ing. Rodolfo de Jesús Peñaloza García

Escala: 1: 500.000

Mapa: 8

MAPA DE PELIGRO (17 DE AGOSTO DEL 2010)



Fuente:
Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)



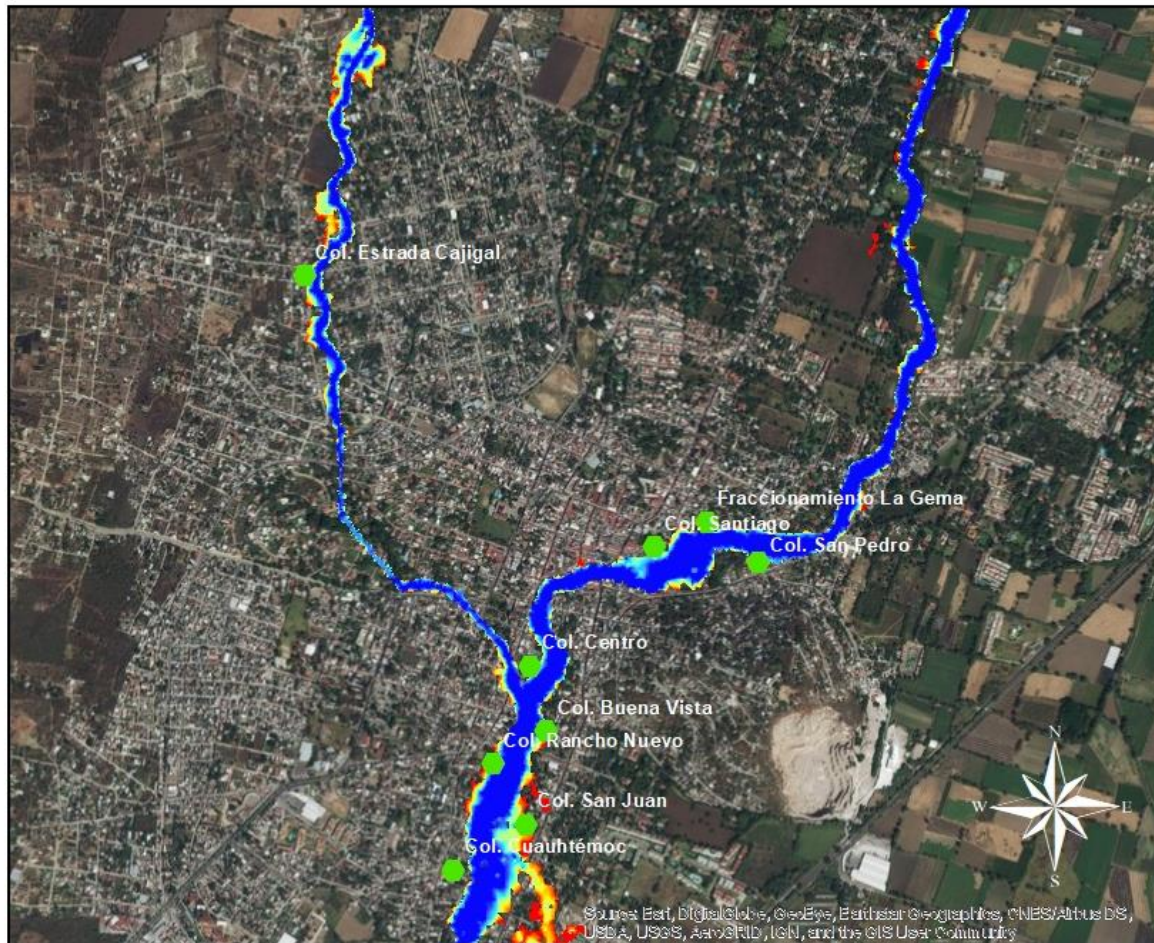
Proyecto:
"Diseño de un sistema de alerta temprana para prevención de inundaciones en la zona de Yustepec, Morelos."

Elaboró:
Ing. Rodolfo de Jesús Peñalosa García

Escala: 1: 500.000

Mapa: 9

MAPA DE PELIGRO (25 DE AGOSTO DEL 2010)



Fuente:
Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)



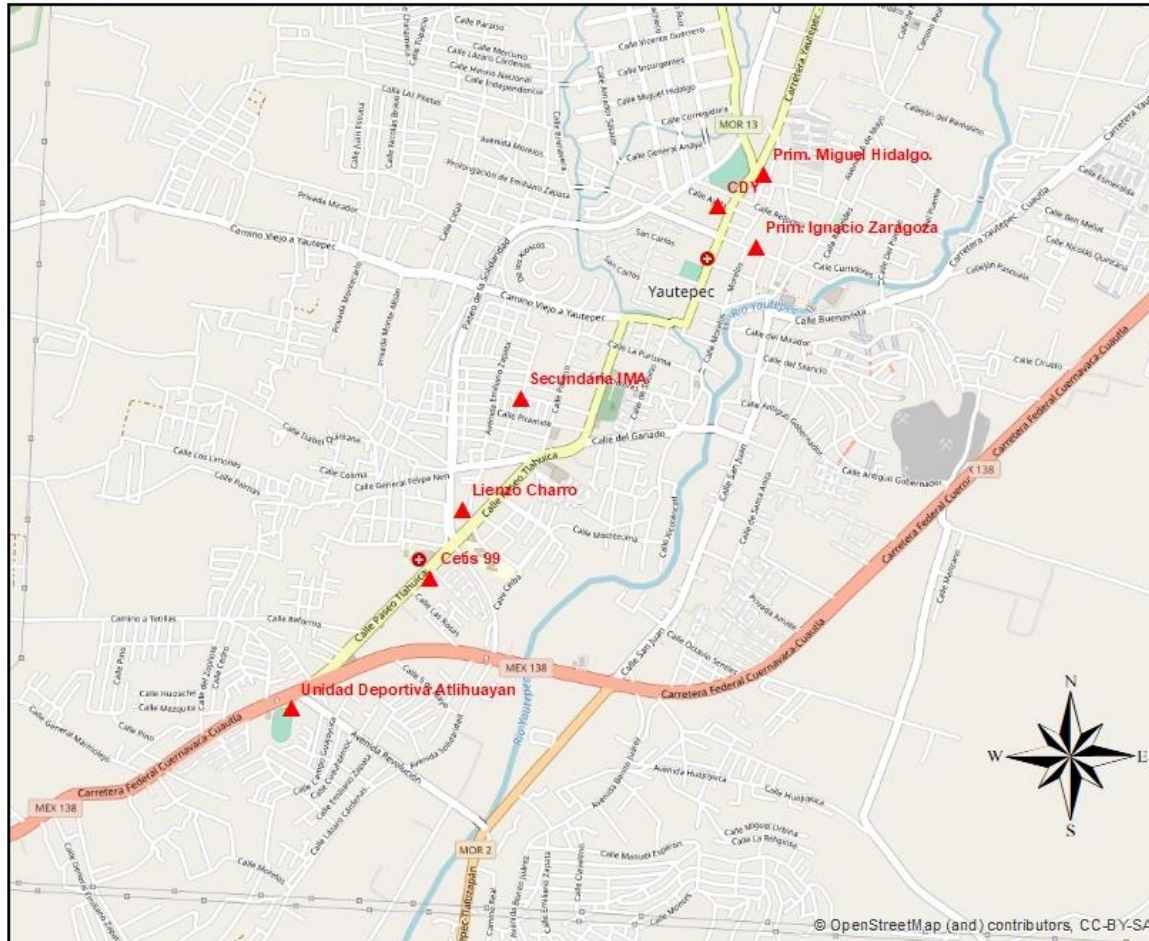
Proyecto:
"Diseño de un sistema de alerta temprana para prevención de inundaciones en la zona de Yaxtepec, Morelos."

Elaboró:
Ing. Rodolfo de Jesús Peñalosa García

Escala: 1:500,000

Hoja: 10

PROPUESTA DE ALBERGUES



Leyenda

▲ Albergues

Escala Grafica

0 0.25 0.5 1.0 1.5

kilometros

Fuente:
Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)

IMTA
INSTITUTO MEXICANO DE TRANSACCIONES AEROPORTUARIAS
AV. EL VALLE 111A
C.P. 50000

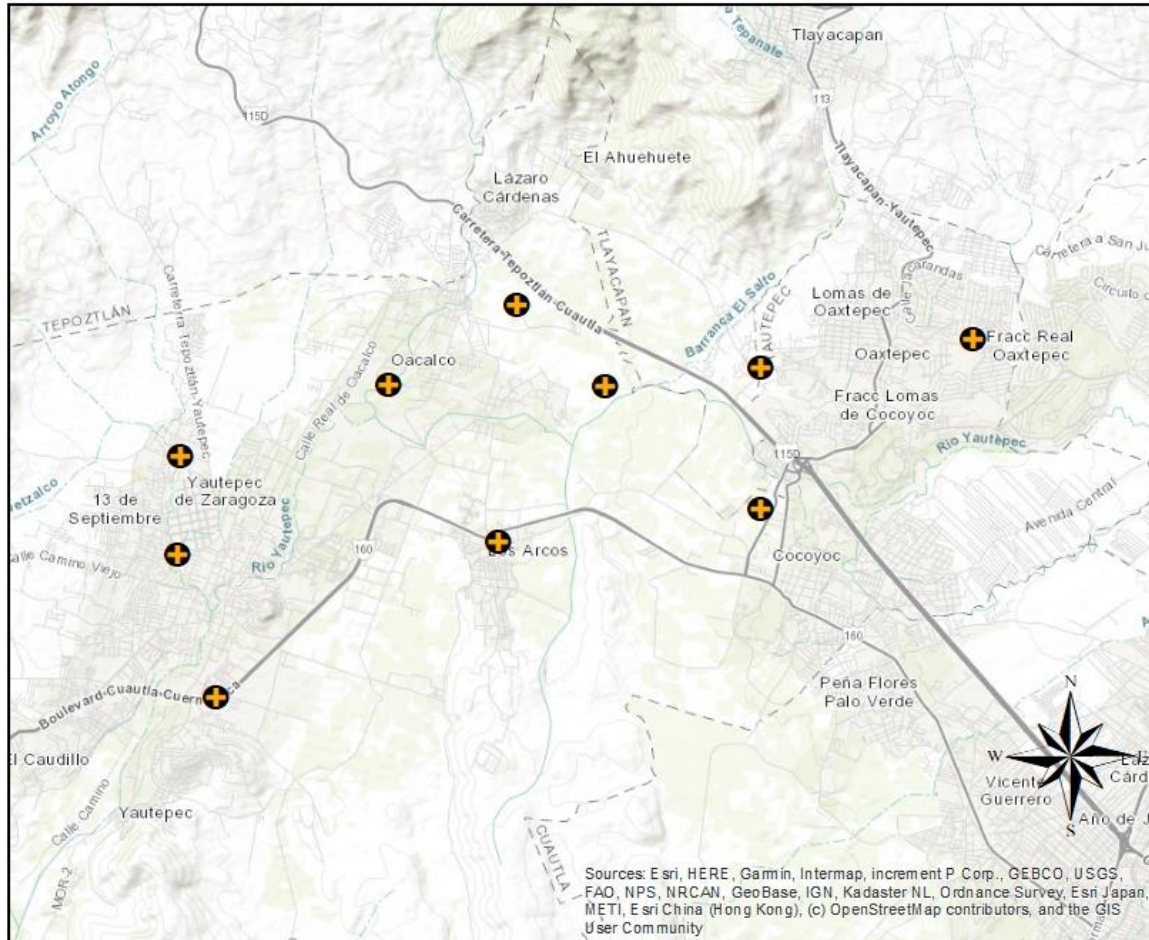
Proyecto:
"Diseño de un sistema de alerta temprana para prevención de inundaciones en la zona de Yautepac, Morelos."

Elaboró:
Ing. Rodolfo de Jesús Peñalosa García

Escala: 1: 500.000

Mapa: 11

RED DE ALARMAS DE EMERGENCIA



Leyenda

- Red de alarmas de emergencia



Fuente:
Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)



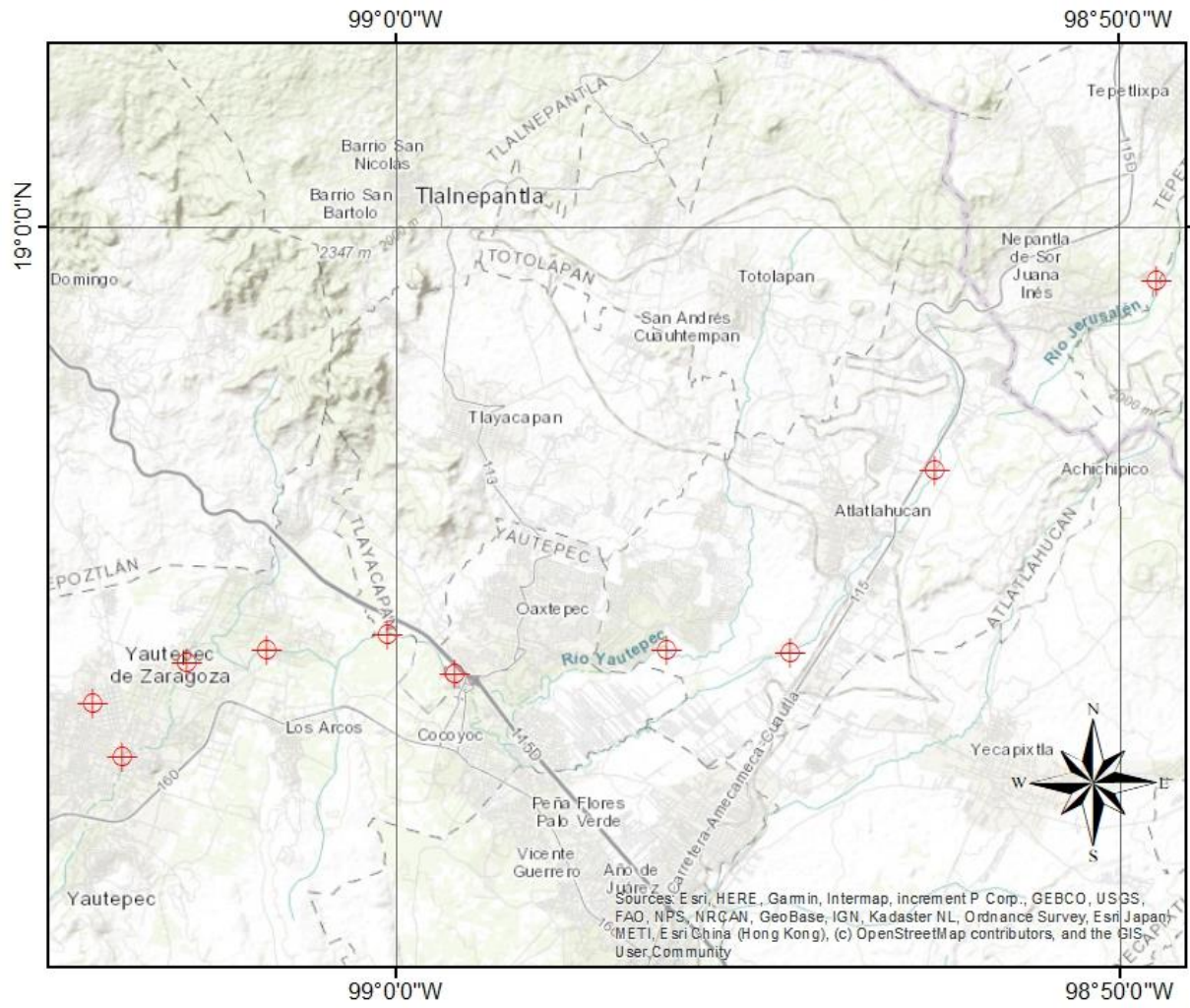
Proyecto:
"Diseño de un sistema de alerta temprana para prevención de inundaciones en la zona de Yauatepec, Morelos."

Elaboró:
Ing. Rodolfo de Jesús Peñalosa García

Escala: 1: 500.000

Mapa: 11

REGLAS LIMNIMÉTRICAS



Leyenda

- Reglas para niveles de cauce



Fuente:
Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)



Proyecto:
"Diseño de un sistema de alerta temprana para prevención de
anegamiento en la zona de Yautepéc, Morelos."

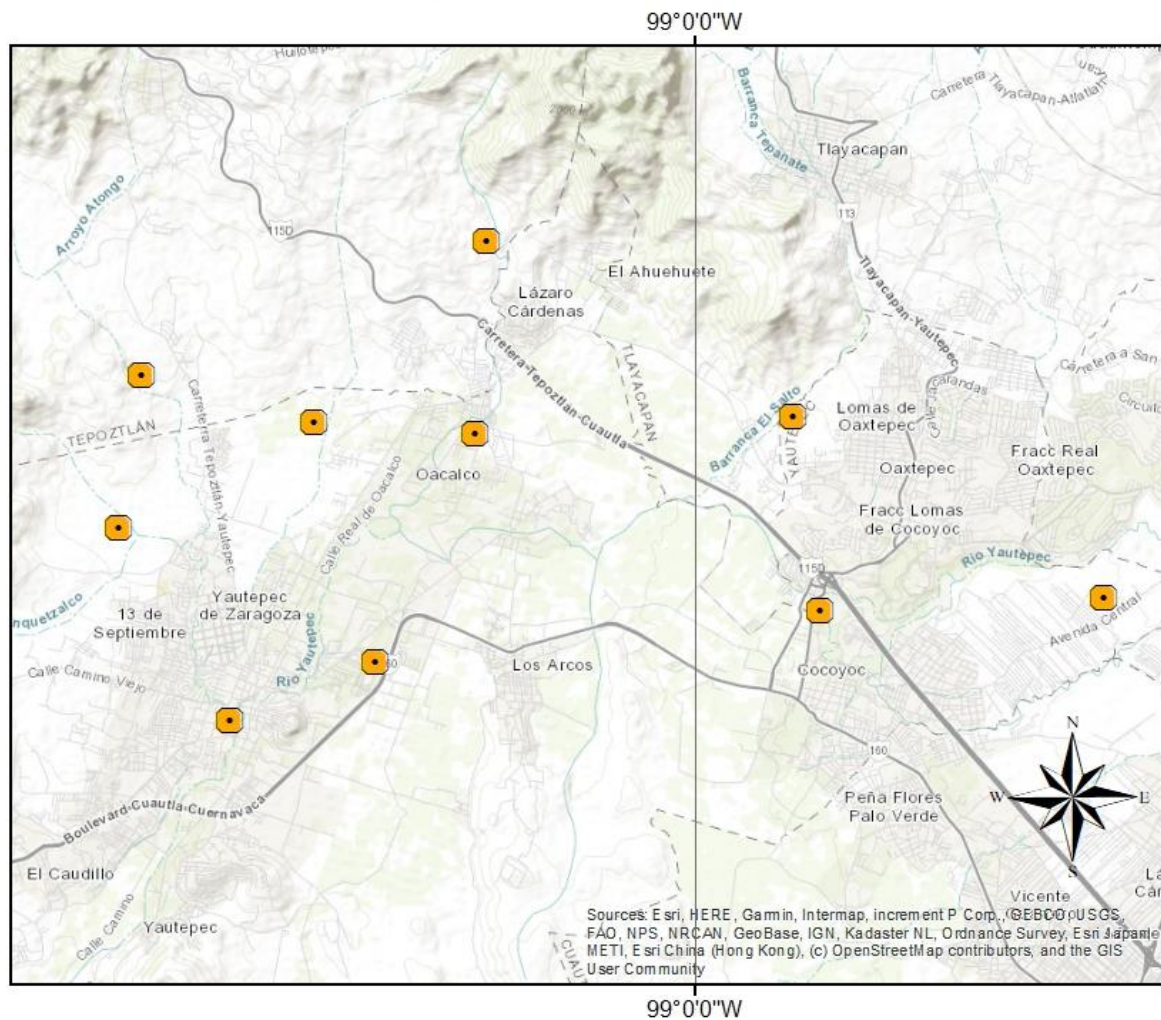
Elaboró:
Ing. Rodolfo de Jesús Peñalosa García

Escala: 1:500,000

Mapa: 13

Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), (c) OpenStreetMap contributors, and the GIS User Community

RED DE CÁMARAS DE SEGURIDAD



Leyenda

- Cámaras de seguridad



Fuente:
Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)



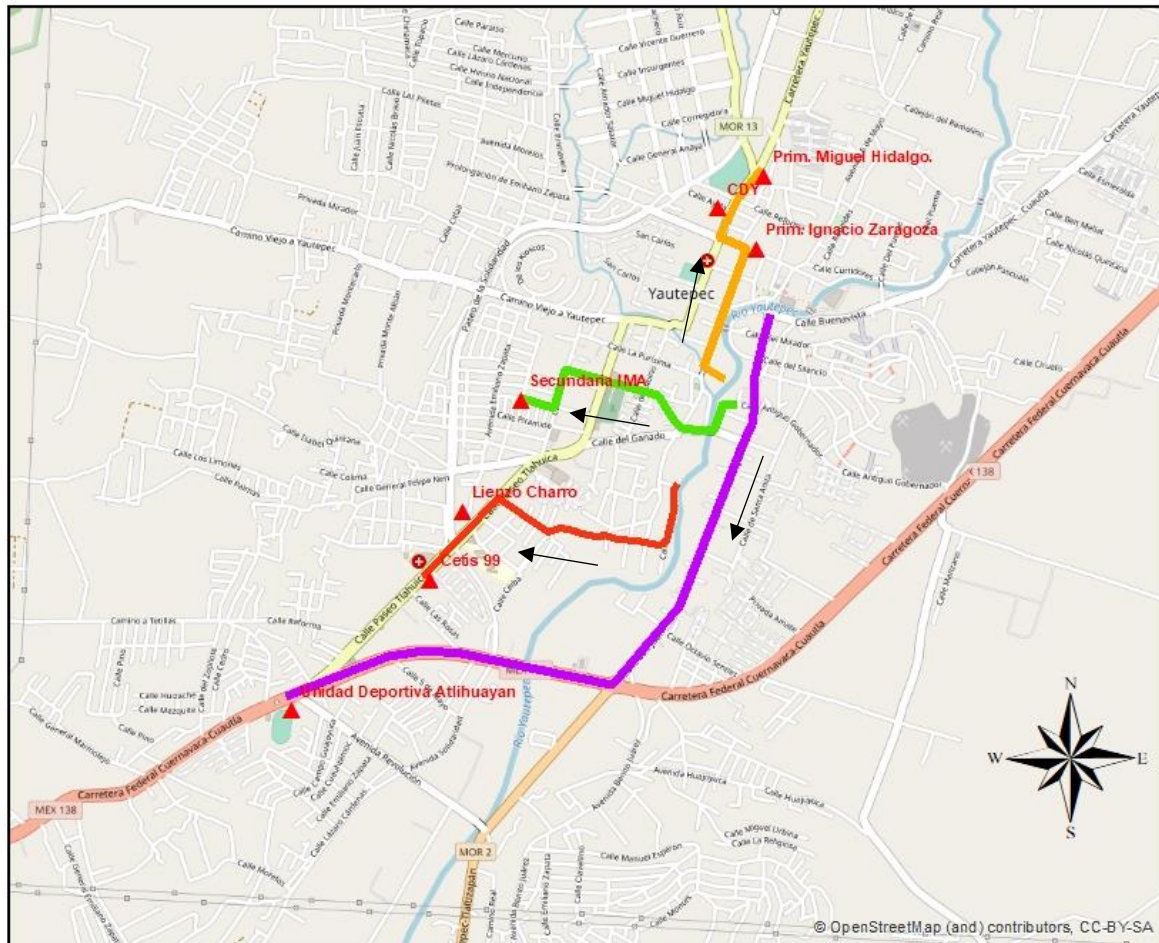
Proyecto:
"Diseño de un sistema de alerta temprana para prevención de inundaciones en la zona de Yautepéc, Morelos."

Elaboró:
Ing. Rodolfo de Jesús Peñalosa García

Escala: 1: 500.000

Mapa: 14

PROPUESTA DE RUTAS DE EVACUACIÓN



Leyenda

- Ruta 1
- Ruta 2
- Ruta 3
- Ruta 4



Fuente:
Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)



Proyecto:
"Diseño de un sistema de alerta temprana para prevención de inundaciones en la zona de Yautepéc, Morelos."

Elaboró:
Ing. Rodolfo de Jesús Peñalosa García

Escala: 1: 500.000

Mapa: 15