



Universidad Veracruzana

UNIVERSIDAD VERACRUZANA FACULTAD DE ECONOMÍA

EVALUACIÓN DEL IMPACTO ECONÓMICO ANTE EL RIESGO DE INUNDACIÓN EN LA CIUDAD DE XALAPA, VERACRUZ

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE MAESTRÍA EN ECONOMÍA AMBIENTAL Y ECOLÓGICA

PRESENTA:

SELENE JANITZIO PÉREZ CÓRDOVA

DIRECTOR:

CARLOS MANUEL WELSH RODRÍGUEZ

XALAPA, VERACRUZ.

JULIO, 2020

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	6
ESTADO DEL ARTE	7
1.1 Sistema de riesgo desde la economía ambiental	7
1.2 Riesgo de desastre	10
1.3 Sistemas de riesgo de inundación	13
1.4 Componentes del riesgo	14
1.5 Descripción de los modelos y componentes	15
1.6 Factores que aumenta el riesgo de inundación	19
1.7 Análisis espacial y la valorización de daños	22
1.8 Fases y medidas para la evaluación de riesgo de inundación	24
1.9 Predicción de inundación	26
ANTECEDENTES	28
1.10 Costos de las inundaciones a nivel global	28
1.11 Afectaciones por fenómenos hidrometeorológicos en el estado de Veracruz	29
1.12 Afectaciones por Inundaciones en Xalapa	30
PROBLEMÁTICA	35
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	38
OBJETIVOS	38
ÁREA DE ESTUDIO	39
1.13 Ubicación del municipio	39
1.14 Características socioeconómicas	40
1.15 Clima e Hidrología	42
1.16 Uso de suelo	42
1.17 Relieve	43
2. MATERIALES Y MÉTODOS	44
Etapa 1. Probabilidad espacial y temporal	45
Etapa 2. Peligro	45
Etapa 3. Vulnerabilidad	47
Etapa 4. Calado-Curva de daños	47

3. RESULTADOS	49
3.1 Análisis temporal y espacial de la precipitación	49
3.2 Microcuencas	52
3.3 Hietograma	54
3.4 Modelación hidrológica e hidráulica	57
3.5 Peligro de inundación y marginación a nivel AGEBS.	60
3.6 Curvas daños y altura de lámina de agua	65
4. CONCLUSIONES	70
5. BIBLIOGRAFÍA	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Actividad Económica en Medio Natural	7
Figura 2. Componente del Riesgo	8
Figura 3. Curva Calado-daños para diferentes usos de suelo de Alemania	18
Figura 4. Componentes básicos para estimación de daños económicos	18
Figura 5. División genérica de los rangos analizados de eventos de inundación	25
Figura 6. Ubicación del municipio de Xalapa, Veracruz	39
Figura 7. Relieve de Xalapa	43
Figura 8. Modelo de riesgos de inundación	44
Figura 9. Sistema de riesgo con nodos	48
Figura 10. Modelo para la curva de daños en viviendas a nivel AGEBS	48
Figura 11. Ubicación de las estaciones meteorológicas	50
Figura 12. Precipitación media mensual (1980-2010)	50
Figura 13. Precipitación máxima mensual (1980-2010)	51
Figura 14. Distribución espacial por medio de Isoyetas de la precipitación máxima mensual (1980-2010)	52
Figura 15. Microcuencas que confluyen en la ciudad de Xalapa, Veracruz	53
Figura 16. Curvas i-d-Tr, Xalapa	54
Figura 17. Curva lluvia acumulada-Duración de la tormenta, Xalapa	54
Figura 18. Hietograma de Diseño Zona Metropolitana de Xalapa	56
Figura 19. Pt de 10 años de 30 minutos	58

Figura 20. Pt de 10 años de 60 minutos	58
Figura 21. Pt de 10 años de 120 minutos	58
Figura 22. Pt de 50 años de 30 minutos	58
Figura 23. Pt de 50 años de 60 minutos	58
Figura 24. Pt de 50 años de 120 minutos	58
Figura 25. Hidrogramas para la ciudad de Xalapa Pt 50	59
Figura 26. Hidrogramas para la ciudad de Xalapa Pt 10	59
Figura 27: MDE de terreno con datos de Lidar con 5 cm de resolución	59
Figura 28. Grado de marginación Urbana en Xalapa, Veracruz por ABEGS	63
Figura 29. Peligro de inundación y marginación de 50 (pt) en la ciudad de Xalapa, Veracruz	64
Figura 30. Peligro de inundación y marginación de 10 (pt) en la ciudad de Xalapa Veracruz	64
Figura 31. Curva de daños de 50 pt	68
Figura 31. Curva de daños de 10 pt	68

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Principales variables utilizadas en la evaluación de riesgos	14
Cuadro 2. Categoría de las inundaciones	21
Cuadro 3. Criterios de peligrosidad	21
Cuadro 4. Categorías de riesgo en función de la combinación de calado y frecuencia de la inundación	21
Cuadro 5. Fenómenos hidrometeorológicos que afectaron al estado de Veracruz del 2005 al 2008	30
Cuadro 6. Fenómenos que afectan a la ciudad de Xalapa, Ver	30
Cuadro 7. Inundaciones en Xalapa del año 1990-2000	31
Cuadro 8. Inundaciones en Xalapa 2001-2012	32
Cuadro 9. Colonias afectadas por inundaciones en el período 2000-2009	34
Cuadro 10. Indicadores económicos	40
Cuadro 11. Características a nivel vivienda	41
Cuadro 12. Servicios de Xalapa, Veracruz	41

Cuadro. 13. Componente y variables de riesgo por inundación a nivel AGEBS_____	43
Cuadro 14. Inundaciones en las microcuencas de la ciudad de Xalapa_____	53
Cuadro 15. Características de las microcuencas_____	54
Cuadro 16. Valores de las intensidades para diferentes duraciones y períodos de retorno _____	55
Cuadro 17. Hietogramas para un período de retorno de 10 años_____	56
Cuadro 18. Hietogramas para un período de retorno de 50 años_____	57
Cuadro 19. Áreas de marginación y peligro de inundación de 50 pt para la ciudad de Xalapa, Veracruz_____	61
Cuadro 20. Áreas de marginación y peligro de inundación de 10 pt para la Ciudad de Xalapa, Veracruz_____	61
Cuadro 21. Tipos de daños_____	65
Cuadro 22. Porcentaje de afectación de acuerdo con altura de lámina de agua_____	66
Cuadro 23. Valoración daños_____	66
Cuadro 24. Costo para 50 pt_____	68
Cuadro 25. Costo para 10 pt._____	68

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Comisión Económica de América Latina y el Caribe (CEPAL), el modelo de desarrollo global es prácticamente insostenible, debido al explosivo crecimiento poblacional, el agotamiento de los recursos naturales y el deterioro del medio ambiente están todas ellas interconectadas. Donde la economía está integrada en el entorno natural y está sujeta en las leyes de las termodinámicas. sin embargo asimilar cada uno de los cambios y el mantener un equilibrio dentro del sistema cada día disminuyen, más allá del colapso como consecuencia del agotamiento de los recursos naturales, se tienen distintos riesgos ambientales (Perman, Ma, McGilvray, & Common, 2002).

Las inundaciones representan el 50% de los riesgos naturales a nivel mundial, que suele ocurrir en zonas con importantes asentamientos urbanos y representa pérdidas humanas, socioeconómicas y ambientales altísimas (Baró *et al.*, 2011). Dentro los componentes principales para definir el sistema de riesgo entran, las variables como la intensidad y la duración de la lluvia, así como el grado de vulnerabilidad de una sociedad o ecosistema, donde los impactos pueden variar hasta convertirse en desastres (Magaña *et al.*, 2004). Las evaluaciones de daños de los peligros naturales proporcionan información elemental para las decisiones y el desarrollo de políticas públicas y México no cuenta con una metodología para este tipo de análisis que permita una estimación de daños económicos potenciales por inundaciones (Baro *et al.*, 2016). Puesto que la gravedad de las inundaciones son más problemáticas por el precio que otros peligros debido al comportamiento incierto en los entornos urbanos (Lamond & Penning-rowsell, 2014).

Este documento revisa un estado del arte e identifica los elementos y el análisis para una evaluación económica por inundación a nivel vivienda para la ciudad de Xalapa, Veracruz, México.

ESTADO DEL ARTE

1.1 Sistema de riesgo desde la economía ambiental

La población humana se ha multiplicado en el último siglo y con ello, la demanda de material hecha por el individuo promedio ha aumentado rápidamente. De la década de 1950 y 1960 hasta la fecha, la producción de bienes y servicios, mayor consumo de energía se ha visto generalmente como la solución a los problemas de la pobreza. Entonces, el crecimiento económico, la mitigación de la pobreza, implica la redistribución de los más ricos a los pobres, que se encuentra resistencia de los más ricos. Entonces, la solución redistributiva al problema de pobreza es imposible, siendo que la base de los recursos del mundo es limitada y contiene un conjunto complejo e interrelacionado de ecosistemas que actualmente exhibe signos de fragilidad (Perman et al., 2002). Es una amenaza constante de serios e irreversibles daños al ambiente (Conferencia de las Naciones Unidas para el Ambiente y el Desarrollo, 1992). Entonces, el sistema económico global puede continuar, sin socavar, los sistemas naturales que lleva a la cuestión del problema de sostenibilidad, donde los elementos como, la sustituibilidad y la irreversibilidad ponen en tela de juicio las políticas del medio ambiente., El agotamiento de stock de recursos es irreversible con implicaciones importantes (Perman et al., 2002).

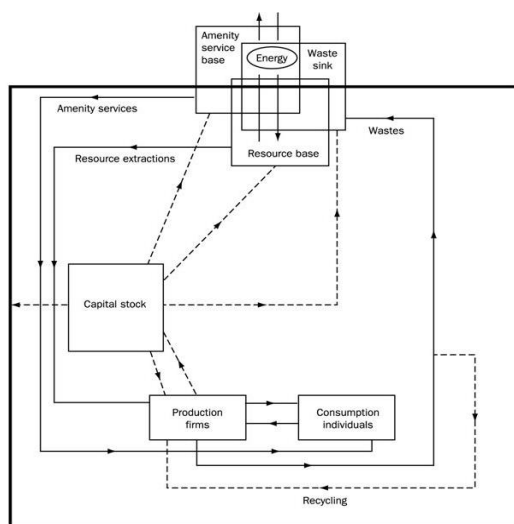


Figura 1. Actividad Económica en Medio Natural. Fuente: Common 1995 en Perman et al., 2002

La actividad económica en el medio natural es representada por medio de una caja (Common 1995); en el exterior, figura el medio ambiente, que es un sistema termodinámicamente cerrado, recibe radiación solar, a través de las flechas, que muestran tres de las funciones relacionadas con la actividad económica (capital stock, producción y consumo), (ver figura 1). Por lo tanto, el entorno funciona de tal manera que los humanos pueden existir en él, donde se considera a la radiación solar, elemento base de los recursos y un servicio ambiental, sin embargo, si se asume de forma directa es dañina para los humanos y otros seres vivos que inclusive puede afectar la fotosíntesis de las plantas (Perman *et al.*, 2002). Para la termodinámica es necesario definir dos tipos de sistema: el abierto y el cerrado. El primero, intercambia energía y materia con su entorno. El segundo, se representa al planeta tierra, y de acuerdo con, la primera ley, la energía no se puede crear ni destruir, sólo se transforma. Pero en la segunda también conocida como: “ley de la entropía”, menciona que el calor fluye espontáneamente de un cuerpo más caliente a uno más frío y no puede transformarse en trabajo con eficiencia. Es decir, no se puede convertir al 100%, pero en cada uno de los cambios, se aumenta la entropía, significa que el trabajo requerido para restaurar el sistema, al estado original, no está disponible, además que se está lejos del equilibrio (Perman *et al.*, 2002). Entonces, es necesaria cierta entrada de energía para mantener su estructura y no desordenarse. Es así, que Georgescu-Roegen (1979), escribió la segunda ley como: “La raíz principal de la escasez económica”. Que lleva a tener un desequilibrio en el sistema (Perman *et al.*, 2002). Sin embargo, el stock de capital natural, los bienes y servicios ecológicos que brinda, son esenciales para el soporte de la vida en la tierra (Osorio & Correa, 2004).

Los servicios ambientales que ofrece el medio ambiente son el soporte de los sistemas biológicos y biofísico (Osorio & Correa 2004). Daly (2004) menciona que el ecosistema no es un vacío y que conforme avance el tiempo podría costar más de lo que vale, ya que, gracias a él, se obtienen múltiples beneficios de manera gratuita, como: el agua, aire, luz solar, oxígeno, etc. Ese costo hace referencia, a que, por cada nueva unidad de expansión económica, se debe renunciar a un servicio importante. Entonces se habla de una utilidad y un costo marginal. El primero, es el beneficio adicional o la satisfacción que se derivan de la obtención de una unidad adicional y el segundo el costo adicional de producir una unidad más. Entonces se concluye, que el derecho de aumentar el costo marginal es similar, al de la utilidad marginal. Que son mecanismos integrados que contribuyen al bienestar humano,

directa o indirectamente y, por lo tanto, forman parte de la valoración económica del planeta. De esta manera, uno de los problemas del modelo económico, es que se exacerba la diferenciación social, que incrementa el espiral negativo de pobreza-deterioro ambiental, posiblemente. Por la explotación de recursos y sobre todo de suelo, ocupando áreas con nula habitabilidad, donde los procesos de desregularización pueden desencadenar catástrofes como aluviones e inundaciones (Provencio *et al.*, 1997).

El valor y servicios de los ecosistemas son infinitos, como reguladores de clima, disturbios, agua, control biológico, formación de suelos, reciclado, refugio, producción de alimentos, materia prima, recursos genéticos, recreación y cultura, etc. (Osorio & Correa, 2004). La interdependencia económica del medio ambiente y los posibles impactos incluyen cambios en los rendimientos de cultivos, disponibilidad de agua, riesgos para la salud y exposición a eventos extremos (Perman *et al.*, 2002). Por lo tanto, las implicaciones de cualquier sustitución dada pueden extenderse más allá de la función ambiental, directamente afectada y los costos evitados por la conservación de un hábitat, un ejemplo sería la protección que genera un bosque contra inundaciones. Es decir, el valor económico que se puede estimar por los costos, que se evitan a la población. Es por ello, que la valoración económica permite obtener un indicador monetario, de la importancia de los recursos naturales, que es, uno de los mayores obstáculos al incorporar las externalidades en el análisis económico de políticas públicas. Es decir, busca conocer el valor de los efectos sobre la infraestructura física, el transporte o una unidad de energía (Delacámara, 2008; Osorio & Correa, 2004; Perman *et al.*, 2002). Entonces, la calidad o el conjunto de características que conlleva el disfrute de los servicios ambientales requieren la asistencia de otros de tipos de bienes. Se puede definir a los costos evitados de la siguiente manera: “permite estimar el valor de la pérdida de bienestar implícita en cualquier externalidad negativa como el coste en que habría sido necesario incurrir si el bien o servicio afectado no se proporcionase o se hiciese en condiciones deficientes (daños a las propiedades evitados por la menor frecuencia e intensidad de inundaciones o costes de salud evitados gracias a la función de tratamiento de la contaminación del agua de los humedales)” (Delacámara, 2008).

Los sistemas naturales pueden ser muy sensibles al cambio climático, como son: los cambios discontinuos en los patrones de circulación oceánica; el calentamiento global acelerado, debido a los efectos de retroalimentación; la liberación de carbono del permafrost, debido a la capacidad de adaptación limitada. Todo lo anterior se asocia directamente a los efectos de los cambios extremos, se espera que caigan de manera desproporcionada sobre el territorio con consecuencias catastróficas y en gran medida irreversibles (Perman *et al.*, 2002). El calentamiento global, inducirá al aumento del nivel del mar, variación de la magnitud y distribución de las precipitaciones, en el aumento en la recurrencia de los fenómenos climáticos extremos (sequías, huracanes, etcétera). La alteración de estos parámetros climáticos tendrá los siguientes impactos sobre la sociedad: (Delacámara, 2008).

- Salud
- Actividades productivas
- Medio construido
- Ecosistemas

Cada una de las alteraciones de los patrones climáticos y ecológicos supone previsiblemente una mayor incidencia de fenómenos climatológicos extremos (inundaciones, ciclones, etc.) y, por tanto, mayores costos de defensa y mitigación de daños. Todo lo anterior, es posible que no cambie conforme avance el tiempo, puesto que actualmente aún se tienen extracción de recursos, contaminación por las emisiones de gases de efecto invernadero aumentando a escala planetaria y que genera un deterioro ecológico (Naredo, 2002).

1.2 Riesgo de desastre

De acuerdo con el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2006): el riesgo, es la probabilidad de ocurrencia de daños, pérdidas o efectos indispensables sobre sistemas constituidos por personas, comunidades o sus bienes, como consecuencia del impacto de eventos o fenómenos perturbadores. La existencia del riesgo implica, la presencia de un agente perturbador ya sea, fenómeno natural o generado por el hombre, que tenga la probabilidad de ocasionar daños sobre el sistema. Otros autores lo definen, como una amenaza externa relacionada con la probabilidad de la ocurrencia de un fenómeno natural específico, cuya intensidad sea capaz de dañar al sistema (Conde & Palma, 2005). El término

tiene distintos significados y dimensiones que se pueden relacionar con cuestiones de seguridad, económicas, ambientales y sociales. Por lo tanto, para su presencia debe existir el peligro (evento iniciador), sin embargo, no precisamente conduce a un resultado perjudicial pero su identificación lleva a la posibilidad de daño, que depende de las condiciones como la exposición y características del receptor (Magaña *et al.*, 2002; Samuels & Gouldby, 2005).

En un sentido más amplio, se puede hablar de desastres derivados de un riesgo, como aquellos procesos o eventos con una connotación negativa que sobre cierto umbral económico, social, ambiental y sobre todo su funcionamiento (Baró *et al.*, 2016). El *riesgo* de desastre de origen natural se define en función de la probabilidad de ocurrencia de amenazas o peligros naturales en zonas vulnerables y de la frecuencia e intensidad de la exposición de la población, ecosistemas e infraestructuras a dichos eventos de acuerdo con el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), (Cavazos, 2015). Así mismo, Cardona (1993) menciona que se encuentra relacionado con la probabilidad, que se manifiesta en consecuencias que pueden llegar a convertirse en desastres debido a la función de la amenaza y de acuerdo con el; Centro de Estudios para América Latina y el Caribe [CEPAL], (2005) está constituida por el fenómeno peligroso, que cuenta con una magnitud y duración, fuerza o energía que representa un peligro potencial. Cada uno de los elementos anteriormente mencionados se confluyen de forma causal de una forma de partida para el análisis integral del riesgo.

Para el Departamento de Asuntos Humanitarios de las Naciones Unidas (UNDHA, 1993 citado en Rosales *et al.*, 2004), el *peligro* es el suceso amenazador (fenómeno natural) que se produce en un período de tiempo y la posibilidad de su ocurrencia en un sitio o región, dada una condición latente de posible generación de eventos perturbadores. También se asocia a las decisiones humanas arriesgadas producto de la vida cotidiana, puesto que vivimos cada vez más expuestos al riesgo generado por la propia progresión de la ciencia y la tecnología (Dettmer, 2002). Los peligros o amenazas naturales asociados a riesgos de desastres pueden ser de origen hidrometeorológico, geológico o biológico, es por ello que para su análisis incluye su caracterización e identificación (Cavazos, 2015; Escuder & Castillo-rodríguez *et al.*, 2016). La *amenaza* se encuentra constituida por fenómenos peligrosos, con cierta magnitud y duración de fuerza o energía que representa su peligro (CEPAL, 2005). Por

otro lado, la vulnerabilidad, es la susceptibilidad o propensión de los sistemas expuestos a ser dañados por el efecto de un fenómeno perturbador y el daño puede ser físico o social. El daño físico es aquel que se puede cuantificar, ya que corresponde a la exposición de infraestructura, servicios, etc. Sin embargo, el daño social se encuentra relacionado con los aspectos económicos, educativos, culturales y el grado de preparación de las personas (CENAPRED, 2006). Otros autores mencionan que la vulnerabilidad, es el grado de exposición de los daños en la población que dependen de la fragilidad o debilidad del sistema que se encuentra conformado a partir de las condiciones sociales, económicas y ambientales del área expuesta. La debilidad o fragilidad se presenta cuando se tiene una pérdida total o parcial de los bienes, los servicios de una parte de la población, o hasta la vida, que involucra varios sectores de la sociedad (Conde y Palma, 2005. CONAPO, 2000 citado en Rosales *et al.*, 2004). Existe una relación directa o proporcional con la susceptibilidad y el valor de los elementos expuestos en terminos de probabilidad (Samuels & Gouldby, 2005). Por lo tanto, el riesgo es una combinación de dos componentes de la *amenaza* y la *vulnerabilidad* (figura 2). Pero tambien en terminos de probabilidad y consecuencias (Escuder *et al.*, 2013).

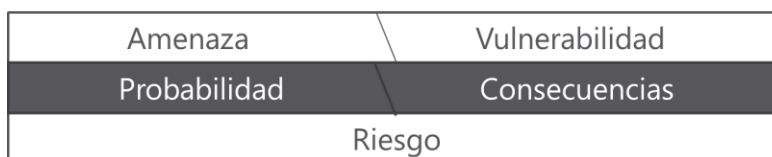


Figura 2. Componente del Riesgo. Fuente: (Escuder & Torres, 2013)

La exposición y la vulnerabilidad se relacionan con la evaluación de consecuencias entonces, el riesgo puede ser entendido como una probabilidad de exposición por lo que puede ser expreado de la siguiente manera:

$$\textbf{Riesgo} = \textbf{Probabilidad} \times \textbf{Consecuencias}$$

La probabilidad describe los eventos probables y la frecuencias de los mismos que se relacionan directamente. Es decir, la probabilidad es la posibilidad de que ocurra un evento en un tiempo específico y la frecuencia es el numero de eventos que puedan ocurrir (Bueno *et al.*, 2013). Las consencuencias representan el impacto economico, social y ambiental (Samuels & Gouldby, 2005).

1.3 Sistemas de riesgo de inundación

Las inundaciones son el más común de los peligros naturales que afectan a las personas y son el resultado de lluvias intensas y continuas que sobrepasan la capacidad de absorción del suelo y la capacidad de carga de los ríos, riachuelos y áreas costeras, provocando que un determinado curso de agua rebase el cauce e inunde tierras adyacentes (OEA, 1993). Hablar de riesgo de inundación consiste en determinar la naturaleza y extensión, mediante un análisis de las amenazas potenciales y la evaluación de las condiciones de vulnerabilidad que causen daños a nivel económicos, sociales y ambientales (Escuder *et al.*, 2010). El riesgo de inundación puede ser representada por unidades de tiempo, donde se consideran a los eventos extremos de precipitación asociados a la frecuencia, la duración período de retorno y extensión; la frecuencia se refiere al número de eventos de igual magnitud que ocurren durante un determinado período en un determinado lugar, ejemplo, cada cinco años; la duración corresponde al tiempo durante el cual permanece la inundación (horas, días, semanas, meses), depende del caudal del río, la pendiente del canal, y las características del clima. El período de retorno es el tiempo promedio entre la ocurrencia del evento de igual magnitud, si es más largo el intervalo de recurrencia, será mayor el período de retorno. La extensión se refiere al área de ocupación de una inundación, y su profundidad está configurada por la magnitud de la descarga y la configuración de la topografía local (OEA, 1993 & Calvo-Rubio, 2000).

Las inundaciones pueden ser repentinas, costeras y locales: las primeras se caracterizan por una rápida acumulación y liberación de aguas de escorrentías, se presentan en regiones montañosas río arriba y son por efecto de lluvias intensas, trombas de agua, deslizamientos de tierras, desprendimiento de una obstrucción de hielo o fallo en las estructuras de control de la inundación. Las segundas o costeras ocurren por potentes sismos mar adentro, mareas altas y mareas de tempestad causadas por depresiones y ciclones tropicales, todo lo anterior se presenta en grandes estuarios, extensiones costeras llanas y terrenos con depresiones a los océanos y el mar. Las locales ocurren por la gran intensidad y duración de las lluvias, causadas por tormentas y depresiones estacionales, agravadas por la saturación del suelo. Pueden generar volúmenes de agua superiores a la capacidad de drenaje

local ocasionando inundaciones locales (Organización Meteorológica Mundial, OMM, 2006).

1.4 Componentes del riesgo

Calvo-Rubio, (2000) identifica tres componentes para la evaluación de las inundaciones:

1. **Hidrológico:** se estudian los caudales máximos, se delimita el área de interés para las distintas probabilidades de ocurrencia, por lo que también incluye reconocimientos históricos y estudios estadísticos sobre datos de precipitaciones (escorrentías, propagación del cauce, infiltración y laminación).
2. **Hidráulico:** sirve para determinar en cada caudal, las alturas que alcanzaría el agua, el comportamiento del flujo y la velocidad, para las elaboraciones en nivel local.
3. **Económico:** se encuentra asociado al uso del suelo que se inunda, así como también de una gran número de variables como el nivel de agua, velocidad y duración de la inundación.

Sin embargo, Castillo-Rodríguez *et al.*, (2016), menciona que los principales componentes para una evaluación integral del riesgo corresponden a la probabilidad, exposición y la vulnerabilidad (ver cuadro 1).

Componentes del riesgo	Variables	Datos hidrológicos	Resultado del riesgo
Probabilidad de inundación	-Excedencia anual de probabilidad -Probabilidades de falla (respuesta del sistema)	-Estudios hidrológicos -Análisis de confiabilidad del sistema	
Exposición	-Profundidad de inundación. -Velocidad de flujo. -Áreas inundadas. -Factor de escombros. -Clasificaciones de peligro.	-Modelado hidráulico	-Población afectada (muerte y lesiones) Daños Económicos
Vulnerabilidad	-Áreas vulnerables -Población afectada (muertas y lesionadas) -Porcentaje de daños -Referencia de costos -Daños económicos	-Datos de uso de suelo. -Usos de suelo. -Análisis de consecuencias	

Cuadro 1. Principales variables utilizadas en la evaluación de riesgos. Fuente: (Castillo-Rodríguez *et al.*, 2016).

1.5 Descripción de los modelos y componentes

Modelo de cuencas

La delimitación de cuencas hidrográficas se hace imprescindible para los análisis territoriales. A tal punto que son consideradas como la unidad del territorio fundamental para la planificación y el manejo de los recursos naturales. No obstante, uno de los principales problemas es la ausencia generalizada de una delimitación de las cuencas.

Análisis hidrológico

La modelación hidrológica o en su caso también podría ser llamado hidrometeorológicos, se encarga de realizar todos los estudios y actuaciones encaminadas a la estimación de los caudales máximos que circulan dentro de una cuenca para distintas probabilidades de ocurrencia (Calvo-Rubio, 2000). Incluye todos los reconocimientos históricos para estudios estadísticos. En síntesis, permite la transformación de lluvia, de producción de escorrentía, de infiltración, de propagación de cauces, de laminación, etc., que puede ser bajo un enfoque de pequeñas cuencas, que permite transformación de lluvia-escorrentía analizando lluvias máximas, definiendo tormentas patrón, convolucionando las tormentas con hidrogramas unitarios para distintos periodos de retorno (Calvo-Rubio, 2000).

Por otra parte, el análisis y modelación de datos georreferenciados, se han extendido con mayor impacto en los países desarrollados (Estrada, Valentina & Pacheco Moya, 2012). Actualmente se utilizan para prevención de inundaciones, y herramienta de prevención servicios de protección civil ante posibles eventos de peligro (Estrada, Valentina & Pacheco Moya, 2012). El Sistema de Modelación Hidrológica del Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los EE. UU. (HEC-HMS por sus siglas en inglés). Ocupa métodos de precipitación-escorrentía para valorar los hidrogramas de escorrentía directa generados por las precipitaciones durante un período y lugar específico.

Análisis hidráulico

Ya reconocida la parte hidrológica de los caudales con los máximos para distintos periodos de retorno, se modelan en un cauce, que tiene forma compleja. Es decir, la geometría, planicies de inundación, muros y defensas (Calvo-Rubio, 2000). En otras palabras, para cada caudal se determina la altura que alcanzara el agua para determinar la peligrosidad de los niveles y velocidades de agua en cuencas. Para ello, se requiere información cartográfica de la zona, así como topográfica con alta resolución con Modelos Digitales de Elevación (MDE), (Calvo-Rubio, 2000).

Análisis Económico

La estimación total del valor del suelo, es decir, el costo que supondría la destrucción total del uso que se encuentran en la zona, se divide según el uso de suelo por metro cuadrado y dependerá de las características socioeconómicas de la zona. Estos costos han sido calculados por Ministerio de Construcción de Japón, así como, el Plan de Acción Territorial de Carácter Sectorial sobre Prevención de Riesgo de Inundación en la Comunidad Valenciana (PATRICOVA). Sin embargo, es un problema complejo, debido a la disponibilidad de información y el detalle de estos, pero el daño depende del nivel alcanzado del agua, su velocidad y la duración de la inundación (Calvo-Rubio, 2000).

Curva de daños

Al conocer el valor económico de las consecuencias directas, donde la mayoría de las metodologías utilizan el calado-daños que relaciona la profundidad de la inundación con el grado de destrucción alcanzado, además de ser el rasgo que mejor define las consecuencias que esta produce, aunque hay otras características como el tiempo de aviso y la duración de una inundación. La estimación de costo aplicando las curvas de daños con una función de tirante de agua máximo, es utilizado en países desarrollados y es la mejor forma, con la que es posible desarrollar una función estándar para algunos usos de suelo (Nascimento, *et al.*, 2007 en Machuca, 2014). Se ha propuesto una clasificación bastante detallada de los daños para cada sector, ya sea vivienda, comercios y servicios, industrial, equipamiento público, infraestructura y patrimonio cultural e histórico, dividiendo los daños tangibles e intangibles, cada uno subdividido en daños directos y daños indirectos para cada uno de los sectores (Baró

& Díaz, C, Ceballos, 2016). La integral o superficie bajo la curva de daños incrementales viene a representar el daño medio anual esperado, que es un indicador robusto (Calvo-Rubio, 2000).

El PATRICOVA propone una curva calado-daños para todos los usos, donde la curva tiene una forma en S, que corresponde a la evolución normal de las consecuencias de la inundación. Se pueden emplear curvas para distintos usos del suelo (Figura 3), por ejemplo, los daños en los cultivos tienen una distribución diferente a los daños en las viviendas. Para ello, estas curvas han sido obtenidas para los usos del suelo más importantes en diferentes zonas, donde los daños de inundaciones han sido estudiados en mayor detalle, sin embargo, en las zonas urbanas se puede mejorar la información mediante encuestas a la población para definir las características de las viviendas. Este método puede ser implementado utilizando mapas digitales de usos del suelo y de las consecuencias de inundación, mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), que facilitan los cálculos y obtienen resultados más exactos (Escuder *et al.*, 2013). Basado en los componentes esenciales al comparar el mapa de calados producidos por la inundación con el de usos del suelo y con las curvas calado daños se obtienen los costes de inundación (Escuder *et al.*, 2013). (Ver figura 4).

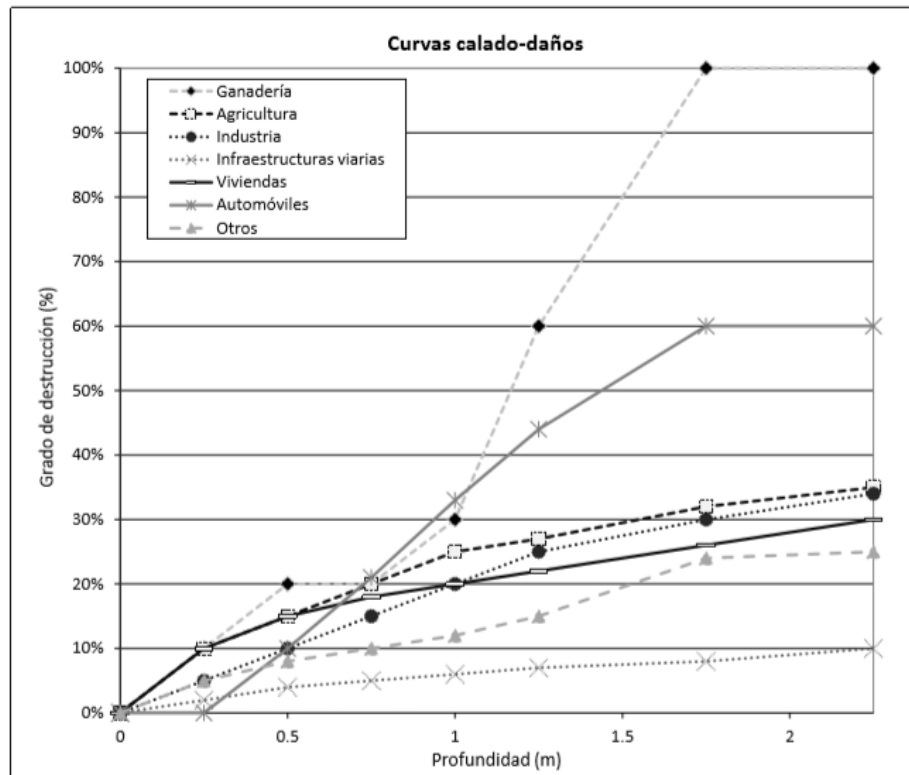


Figura 3. Curva Calado-daños para diferentes usos de suelo de Alemania. Fuente: Escuder *et al.*,2013

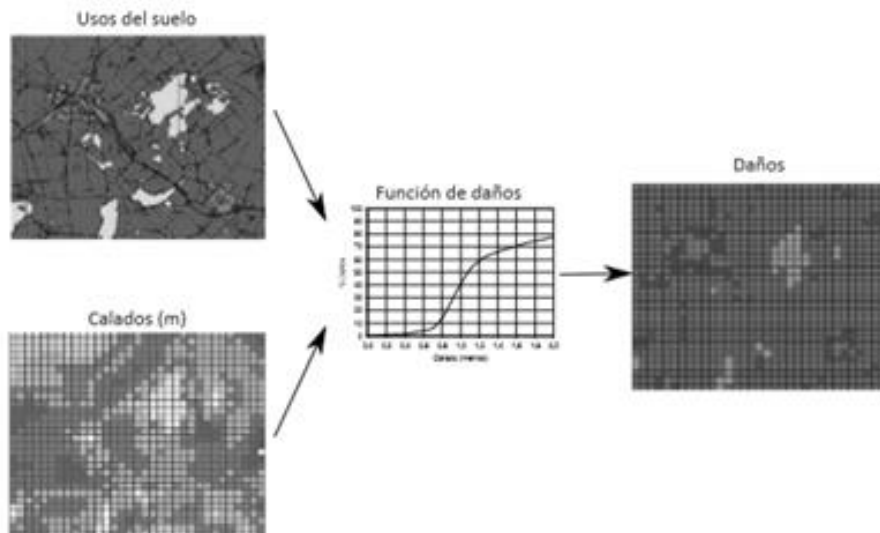


Figura 4. Componentes básicos para estimación de daños económicos. Escuder *et al.*,2013

La curva de daños es utilizada por Díaz-Delgado, Baró, Bedolla y Díaz Espíritu, para estimar el costo de los daños provocados por inundaciones en zonas habitacionales en la colonia del Valle de Chalco Solidaridad en el Estado de México.

1.6 Factores que aumenta el riesgo de inundación

Los principales factores que contribuyen a las inundaciones se clasifican en hidrológicos, meteorológicos y antropogénicos de acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2006):

- Los hidrológicos incluyen el nivel de humedad del suelo; el nivel de agua subterránea antes de la tempestad; la tasa de infiltración en la superficie, misma que está afectada por la vegetación, textura del suelo, densidad, estructura, humedad del suelo, la presencia de una cubierta vegetal. Por ejemplo, nieve o hielo; perfil transversal y rugosidad del cauce; presencia de planicies de inundación o canales de desagüe y sincronización de escorrentías en distintos lugares de la cuenca.
- Meteorológicos incluyen la lluvia, tempestades, ciclones, temperatura, nevada y deshielos.
- Antropogénicos contempla las actividades que pueden provocar alteraciones en el ambiente, y estas comprometen a los patrones normales del drenaje y predisponen algunas áreas a las inundaciones. Estas actividades incluyen la urbanización, las prácticas agrícolas, la deforestación, el uso de técnicas y materiales inapropiados en la construcción de las estructuras de protección de malecones y diques.

Otros factores como: el cambio climático, las industrias que alteran los regímenes hídricos, contaminan los cursos fluviales, alteración del curso de los ríos y la afecta de los ecosistemas, si existe una planicie de inundación esta es ocupada por la población que obstaculiza el flujo de la corriente, disminuye la capacidad hidráulica de los cauces fluviales (OMM, 2006).

Por otra parte, Bitran, (2001) señala que los elementos que atenúan las inundaciones son: cambios en las condiciones hidrodinámicas, los ascensos en el nivel del mar y las intervenciones entrópicas, la deforestación especialmente en laderas que generan grandes

deslizamientos de tierras y escorrentías que ocasionan la sedimentación de los elementos del suelo en los lechos de las corrientes de agua., Aunado a ello, se tiene, la ausencia de una adecuada cobertura vegetal que reduce el tiempo de concentración del agua. Otros factores son; el uso de la ganadería, cultivos y hortalizas, la construcción de vías de comunicación, la posibilidad de obtención de agua y la extracción de materiales, y los establecimientos de población en planicies desnudas sin vegetación que las convierte en zonas peligrosas.

Sin embargo, el daño va a depender del tipo de inundación que se presente, se establece en función de la altura del agua de acuerdo con Témez, 2000 y CEDEX. Donde las características hidráulicas de las inundaciones determinan las consecuencias económicas, se encuentra la profundidad del agua, la velocidad, la tasa de aumento, uso de suelo, etc. (Escuder-Bueno, I; Zechner & Petaccia, 2012). De acuerdo con (Escuder *et al.*, 2013), realizaron un análisis exhaustivo para establecer los criterios de vulnerabilidad, basando sus decisiones en el trabajo de: Denver, Témez hasta Gomes y Russo, Reiter, Quienes muestran la clasificación de acuerdo con los niveles de afectación y toman una segunda variable importante que es la velocidad (cuadro 2). Ellos agregan otras variables que corresponde al arrastre y deslizamiento. Por otro lado, es importante considerar realizar una comparación entre la profundidad y la frecuencia de las inundaciones que atañe a la probabilidad anual de ocurrencia, obtenida como la inversa del período de retorno. En el Plan de Acción Territorial de Carácter Sectorial sobre Prevención del Riesgo de Inundación en la Comunidad Valenciana PATRICOVA (2002), establece seis niveles de peligrosidad y la frecuencia es directamente proporcional a los niveles de peligrosidad (cuadro 3 y 4).

Tipo de Inundación	Características	Altura(m)
Grave	Son peligrosas para integridad de las personas, y afectan un gran porcentaje de bienes ubicados en las plantas bajas. Son inundaciones súbitas	0.8
Moderada	Correspondiente a situaciones intermedias	0.4 y 0.8
Leve	Solo produce daños a escasa importancia	0.4

Cuadro 2. Categoría de las inundaciones. Fuente: Elaboración propia de datos obtenidos de Témez, 2000.

ID	Niveles de inundación	Profundidad y (m) v	Velocidad v (m s⁻¹)
S0	No se esperan víctimas.	< 0.45	<1.50
S1	Baja gravedad Los peatones pueden sufrir pérdida de estabilidad. Personas en peligro.	<0.80	<1.60
S2	Media gravedad Pérdida significativa de estabilidad. Los automóviles pueden perderse	<1.00	<1.88
S3	Alta severidad Alto riesgo para las personas de afuera. Bajo riesgo para edificios.	<1.00	<1.88
S4	Extrema gravedad Daños estructurales en edificios.	<1.00	<1.88

Cuadro 3. Criterios de peligrosidad. Fuente: (Escuder & Torres, 2013).

Nivel de inundación	Frecuencia Baja T = 100 a 500 años	Frecuencia Media T = 25 a 100 años	Frecuencia Alta T < 25 años
Bajo (< 0.80 m)	6 (BAJO)	4 (MEDIO)	3 (MEDIO)
Alto (> 0.80 m)	5 (BAJO)	2 (ALTO)	1 (ALTO)

Cuadro 4. Categorías de riesgo en función de la combinación de calado y frecuencia de la inundación. Fuente: PATRICOVA, 2002.

1.7 Análisis espacial y la valorización de daños

El Análisis espacial, se cargada de estudiar todas las entidades dentro de los modelos que pueden ser topológicas, geométricas o geográficas, elemento sumamente importante para determinar las áreas geográficas de peligro, además fundamentales para la elaboración de planes de emergencia. Variables importantes por definir para valorar los daños, corresponde en primera instancia, determinar la escala de análisis para la evaluación, el factor tiempo o duración del evento. Son elementos determinantes para conocer los efectos negativos de las inundaciones. Cuando se menciona la escala de trabajo, se define de tres tipos, para poder establecer la valoración de daños y se clasifican en tres niveles: *microescala*, *mesoescala* y *macroescala*, que se definen a continuación de acuerdo a: (Messner y Meyer, 2005; Merz *et al.*, 2010 ; Baro *et al.*, 2016).

- **Microescala:** la valoración se realiza a cada elemento único. Ejemplo, viviendas, infraestructura. Es decir, determinar el escenario del riesgo de inundación para poder realizar el cálculo para cada elemento físico.
- **Mesoescala:** por uso de suelo, zonas industriales, agrícolas, etc.
- **Macroescala:** el cálculo a nivel municipal en este caso, las principales fuentes de datos para esta evaluación son las estadísticas oficiales.

Cada nivel de análisis guarda una estrecha relación con los daños, sin embargo, para poder realizar costo-beneficio, es factible utilizar la microescala, puesto que permite realizar, el análisis a nivel individual. Es decir, con la entrada de datos y el más utilizado por las aseguradoras, hay una opción pragmática para elegir bienes, que pueden ser tangibles o intangibles. Los daños tangibles deben incluir todos los daños que puedan evaluarse fácil e indiscutiblemente en términos monetarios, además, los costos de los servicios de emergencia también pueden incluirse (Lamond & Penning-rowsell, 2014; Merz, Kreibich, Schwarze, & Thielen, 2010). Siendo, los servicios de emergencia, elementos necesarios para la protección de la sociedad y son sumamente importantes para un análisis costo-beneficio de la protección contra inundaciones.

Dentro los problemas más grandes para realizar el cálculo de daños, es utilizar el método adecuado. La valoración contingente o el análisis de precios hedónicos no son aceptados por los expertos puesto que presenta una gran sensibilidad respecto a la selección del tipo daño (Mishan, 1971 & UBA, 2007 en Mertz, *et al.*, 2010). Sin embargo, la forma correcta de establecer los daños es utilizar los valores depreciados, pero que nunca se abrevien los valores de stock y de flujo, puesto que el valor de un bien de capital, es el presente del flujo de ingresos que genera durante el resto de su vida útil (Georgescu-Roegen, 1981). Pero también pueden conducir a un doble conteo (Rose, 2004; Van der Veen & Logtmeijer, 2005; Bockarjova *et al.*, 2007). Pero no es posible evaluar cada objeto de manera individual porque no existe información a ese nivel de detalle y para ello se requiere un esfuerzo mayor. Entonces es importante establecer clases de daños para asignar el comportamiento, es decir, el daño relativo de todos los hogares se puede estimar utilizando la misma función de susceptibilidad (Merz, *et al.*, 2010). Dado que existe una heterogeneidad por el uso de suelo donde el impacto de la inundación podría influir en el detalle de la clasificación. Las funciones de daños relativo dependen del tipo de inundación donde cada curva de daño va a cambiar y representan la susceptibilidad de cada elemento, similar a las funciones de curvas de fragilidad, que la mayoría de los modelos de daños por inundación tienen en común: -es el tipo o elemento en riesgo y la profundidad de la inundación (Wind *et al.*, 1999; NRC, 2000 en Mets *et al.*, 2010).

Disponibilidad de información de México

Para el caso de México se cuenta con datos a distintos niveles entre ellos a nivel *Microescala*, se cuenta información a nivel AGEBS, que es un área geográfica determinada por el conjunto de manzanas, delimitadas por calles, avenidas, andadores o cualquier otro rasgo de fácil identificación en el terreno y cuyo uso del suelo es principalmente habitacional, industrial, de servicios, comercial información disponible de forma gratuita en Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Permite establecer los daños tangibles que se encuentran en los bienes existentes dentro de la vivienda (Televisión, radio, refrigerador, teléfono, computadora y automóvil), así como el índice de marginación establecida por Consejo Nacional de Población (CONAPO). La marginación es un fenómeno multidimensional y estructural originado, en última instancia, por el modelo de producción

económica expresado en la desigual distribución del progreso, en la estructura productiva y en la exclusión de diversos grupos sociales, tanto del proceso como de los beneficios del desarrollo” (CONAPO, 2012). El índice de marginación abarca cuatro dimensiones socioeconómicas que son: educación, vivienda, distribución de la población e ingresos monetarios. Que explican la carencia de oportunidades sociales y la inaccesibilidad a bienes y servicios para el bienestar (CONAPO, 2012).

1.8 Fases y medidas para la evaluación de riesgo de inundación

Fases para la evaluación propuesta por los siguientes autores y desarrollada en la Universidad Politécnica de Valencia, España, (Castillo-rodríguez *et al.*, 2016; Escuder-Bueno, I; Zechner & Petaccia, 2012).

- **Fase I.** Alcance del estudio de caso: consiste en definir el detalle requerido, tiempo para modelo y los cálculos del riesgo.
- **Fase II.** Revisión de los datos disponibles: información disponible, es decir, los datos disponibles, su recopilación, visitar al lugar, etc. Entre los que se incluyen elemento como la temporada de lluvias, variaciones en la población, valor de activos, uso de suelo, distribución, áreas inundación, hidráulica e hidrología de área de estudio.
- **Fase III.** Estudio de la situación del sistema: -estudio actual del área de estudio, posibles eventos de inundación bajo diferentes escenarios.
- **Fase IV.** Eventos de inundación: considerar los eventos de inundación, es decir, aquellos obtenidos de estudios hidrológicos y analizados a través de simulaciones hidráulicas para caracterizar la respuesta del sistema y las características de las inundaciones. Así como también el cálculo de la probabilidad anual, que conlleva elemento importante como; el sistema de alerta y gestión de emergencias, sistemas de probabilidad anual, coordinación de servicios de emergencia y comunicación.
- **Fase V.** Arquitectura del riesgo: contempla dos tipos de modelos, el primero es llamado **Modelo A**, que el riesgo de inundación en sistemas no regulados. El segundo es el **Modelo B**, que son sistemas regulados, es decir, que incorpore un análisis de la defensa contra inundaciones que puede ser por presas. Tomando en cuenta que corresponde a un **Modelo A**; se consideran los siguientes nodos:

Momento: la probabilidad que pueda ocurrir en la noche o en el día, puesto que la población afectada cambia según el momento del día.

Temporada: información de acuerdo con diferentes períodos estacionales durante el año, es decir la cantidad de población puede cambiar, por ejemplo, si son vacaciones.

Eventos de inundación: diferentes eventos de inundación por períodos máximo y mínimos de retorno que puede ser de 10, 20 hasta 100 años. La figura 5, muestra los eventos de inundación espaciados en escala logarítmica a lo largo del rango dado de períodos de retorno. Es decir, presenta un rango de inundaciones de 1 a 1000 años en 10 intervalos. Cada intervalo es representado por un AEP, que son valores de los límites altos y bajos. *Respuesta del sistema*: -incluye la lluvia y las descargas de los ríos de los flujos máximos.

Población afectada: información sobre la estimación de las consecuencias en términos de población afectada, lesiones, muertes, y daños económicos en las áreas urbanas.

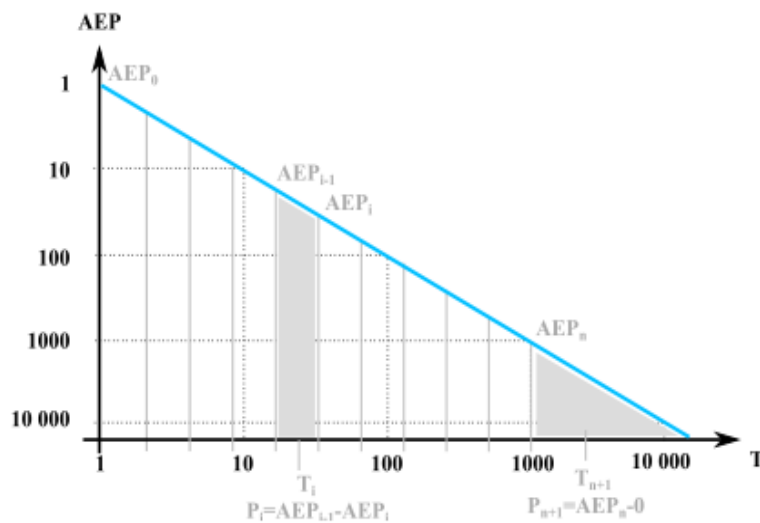


Figura 5. División genérica de los rangos analizados de eventos de inundación. Fuente: (Castillo-rodríguez *et al.*, 2016)

- **Fase VI.** Datos de entrada para el modelo de riesgo: -en un Sistema de información Geográfica (SIG), se contempla la modelización hidrológica e hidráulica. Donde incluye las características de las inundaciones deben estimarse para cada celda en el mapa que representa el área de estudio para diferentes inundaciones (un rango de eventos de inundaciones con períodos de recuperación, al menos, 500 años o de acuerdo con los datos disponibles. La estimación de los daños económicos directos se deriva del método PATRICOVA (Generalitat Valenciana, 2015), que se obtienen utilizando información sobre el tipo de uso de suelo para definir los valores de los activos y aplicando una función de daño en profundidad, es decir, que se realiza la estimación del daño esperado para una profundidad de inundación dada.
- **Fase VII.** Cálculo del riesgo: integración de cada uno de los eventos, así como las consecuencias.

1.9 Predicción de inundación

La predicción forma parte de la estimación de la ocurrencia de un evento futuro, y se convierte en una herramienta de prevención sumamente importante para la reducción del riesgo de inundación, donde se considera el conocimiento del medio ambiente y la recopilación de datos. Para todo lo anterior la predicción se lleva a cabo en dos etapas. La primera consiste en un análisis meteorológico y el uso de nuevas tecnologías para predecir el estado atmosférico, el segundo corresponde a la caracterización de avenidas con condiciones meteorológicas específicas mediante modelos hidrológicos e hidráulicos (Escuder *et al.*, 2010).

La comunicación que se convierte en el papel fundamental para la reducción del riesgo se puede realizar antes y durante el evento de inundación que se centra en el aviso a la población sobre la amenaza de carácter inminente, mediante la utilización de sistemas de alarma. En México debería de ser de manera continua para aumentar los niveles de concientización con respecto al riesgo existente, con el único propósito que es la reducción del riesgo con mayor grado de responsabilidad pública. Pero que también forma parte de sistemas de alarmas para la población y tener procedimientos de evacuación (Escuder *et al.*, 2010). Todo lo anterior sirve para la reducción del riesgo de inundación, y se convierte en una herramienta de protección y planificación (Schanze *et al.*, 2008). Dentro del sistema se

pueden clasificar dos tipos de medidas para la reducción del riesgo propuestas (Escuder *et al.*, 2013). Las medidas no estructurales comprenden las políticas, advertencias, medidas para desarrollo del conocimiento, procesos legislativos y de participación pública y recopilación de información que permiten la reducción del riesgo (Graham, 1999 en Escuder *et al.*, 2013). Se pueden clasificar en cuatro grupos principales:

- Educación Pública
- Sistemas de alerta y gestión de emergencias.
- Coordinación entre las autoridades y los servicios de emergencia.
- Comunicación al público.

Por lo tanto, la aplicación de medidas no estructurales busca la reducción de la vulnerabilidad partiendo de una buena gestión, llevadas a cabo antes, durante y después de la catástrofe. Sin embargo, las medidas estructurales se refieren a las construcciones de obra ingenieril que busca la protección ante un posible evento. Las medidas estructurales engloban todas aquellas construcciones que reducen o evitan el posible impacto de la inundación por lo que también puede evitar las consecuencias (Graham, 1999 en Escude *et al.*, 2013). La evaluación de la funcionalidad de las medidas estructurales se encuentra asociado a la probabilidad, es decir, en caso de producirse un evento mayor o superior al soporte de diseño., la estructura no sería capaz de brindar protección a la población. Pero en combinación con las medidas no estructurales permitirá la reducción de riesgo (Escude *et al.*, 2013)

ANTECEDENTES

1.10 Costos de las inundaciones a nivel global

Las inundaciones en los últimos 20 años han incremento de manera global de acuerdo con el informe del Panel Intergubernamental en Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), representa uno de los peligros más importantes y sus estimaciones en pérdidas son muy altas, tales eventos, se asocian a ciclones tropicales, lluvias torrenciales y huracanes que han aumentado a nivel internacional. A nivel mundial, los peligros de inundación son uno de los más costosos principalmente en países en vías de desarrollo como en África y Asia (Arnell & Gosling 2016; Winsemius *et al.*, 2016 & kebenge, 2017). Uno de los países más pobres en el mundo como Bangladesh, ubicado al sur de Asia, en el año 2010, el 80% de su territorio presentó inundaciones, peligro recurrente lo últimos 35 años (Lavell *et al.*, 2012). En Reino Unido las inundaciones afectan a comunidades urbanas y rurales con graves impactos en la seguridad humana, la economía y su bienestar (Lavell *et al.*, 2012).

México es un país con grandes contrastes al localizarse entre dos grandes océanos el Golfo de México y el Océano Pacífico y sobre todo presenta gran variabilidad climática, junto con una topografía muy compleja, con valles y montañas, que permiten entender la sensibilidad del riesgo de desastre (CENAPRED, 2006). Las pérdidas económicas como consecuencia de los desastres naturales ocurrido en México suman 7,600 millones de pesos anuales. Para el período de 1980 al 2000, la cifra fue de 11,600 millones de pesos, además de 2,000 millones no cuantificables (Bitrán, 2001). Los años que registraron, los fenómenos de mayor magnitud fueron en 1982, 1985, 1988, 1995, 1997, 1998 y 1999 (Pérez, 2011). El número de víctimas fatales acumulado fue alrededor de 2,767 personas, lo que equivale a un promedio anual de cerca de 140 personas y daños totales generados acumulados de 4,537 millones de dólares. Sin embargo, en los últimos años los estudios de cambio climático sugieren aumentos de 4 y 5° en temperaturas máximas (Cavazos *et al.*, 2013 & García-Cueto, 2014). Así mismo el país constantemente se encuentra afectado por precipitaciones producidas por actividad ciclónica y tormentas tropicales durante el verano y otoño, por los

frentes polares en invierno; ocasionando lluvias abundantes en los estados de Chiapas, Puebla, Tabasco, Veracruz y Yucatán (Garnica & Alcántara, 2004).

1.11 Afectaciones por fenómenos hidrometeorológicos en el estado de Veracruz

El estado de Veracruz está sujeto a la influencia de fenómenos meteorológicos, debido principalmente por encontrarse frente al Golfo de México (Portilla *et al.*, 2005). La Comisión Nacional del agua (CNA, 2008), establece sitios identificados con mayor recurrencia de inundaciones: la Cuenca Baja del Río Coatzacoalcos, Cuenca Baja del Río Papaloapan y los Ríos Atoyac, Jamapa, Tecolutla, Nautla y la Antigua. Estos sitios frecuentemente se han expuesto a granizadas, heladas, nieblas, tormentas eléctricas, vientos intensos y precipitaciones altas (Tejeda *et al.*, 1995). En el año 1985, el estado fue afectado por tres huracanes: Gladis, Hilda, Janet (Garnica & Alcántara, 2004), y los municipios que presentaron daños por inundaciones fueron: Álamo, Cosoleacaque, Ixhuatlán, Jáltipan, Minatitlán, Moloacán, Nautla, Las Choapas, Pajapan, Papantla Zaragoza (Bitrán, 2001). En 1999 el huracán Roxanne provocó fuertes inundaciones y alrededor de un 40% de los municipios del estado fueron afectados (Pérez, 2011).

El año 2005 ha sido la temporada más numerosa de ciclones tropicales, se formaron 15 en el Océano Pacífico (CENAPRED, 2006), siendo una de ellas, la tormenta tropical que llegó a convertirse en huracán (Stan), que provocó precipitaciones intensas causando inundaciones por el desbordamiento de los ríos y a su vez propicio centenas de deslizamientos en las zonas montañosas de los estados de Veracruz, Oaxaca y Chiapas (Murcia y Macías, 2009). En el siguiente cuadro 5, se enlista los principales fenómenos hidrometeorológicos que trajeron grandes consecuencias al estado de Veracruz del 2005 al 2008.

Nombre	Fecha	Zona de Impacto
Tormenta tropical Bret	28 - 30 junio 2005	Sur de Tuxpan
Tormenta tropical Gert	23 – 25 Julio 2005	Norte de Tamiahua
Tormenta Tropical José	22 – 23 de agosto 2005	Vega de Alatorre
Huracán Stan	1 – 5 de octubre 2005	Los Tuxtlas
Huracán Dean	13 – 23 de agosto 2007	Tecolutla
Huracán Lorenzo	25 al 28 de septiembre 2007	Tecolutla y Nautla
Tormenta Tropical Marco	6 – 8 octubre 2008	Vega de Alatorre y Nautla

Cuadro 5. Fenómenos hidrometeorológicos que afectaron al estado de Veracruz del 2005 al 2008. Fuente: Pérez, 2011

1.12 Afectaciones por Inundaciones en Xalapa

Los principales fenómenos que afectan a la ciudad de Xalapa son los hidrometeorológicos seguido de los geológicos, que se presentan de manera constante (ver cuadro 6), como son las inundaciones en las colonias como Revolución, Salud y la Veracruz, la Lagunilla y Luz del Barrio (Ver cuadro 7, 8 y 9).

Hidrometeorológico	Geológico
1.Sistemas tropicales. Ondas tropicales	1. Fallas y fracturas
2. Masas de aire. Heladas	2. Peligro sísmico
3. Masas de aire. Nevadas	3. Peligro volcánico
4. Masas de aire. Tormentas eléctricas	4. Peligro por inestabilidad de laderas
5. Sequías	5. Derrumbes
6. Temperaturas máximas extremas	6. Peligro por licuación de arenas
7. Vientos	7. Flujos (lodo, tierra y suelo, avalancha de detritos, lahar)
8. Inundaciones	
9. Peligro por bajas temperaturas y nevadas	

Cuadro 6. Fenómenos que afectan a la ciudad de Xalapa, Ver. Fuente: PACMUND, 2014.

En los siguientes cuadros (7 y 8) se muestran las principales inundaciones que se han tenido en la ciudad de Xalapa, Veracruz de 1992-2012.

Año	Mes	Colonias Inundadas
1992	10 de agosto	• Lomas del Seminario • En la calle Rebsamen No. 229, el nivel de agua dentro de la vivienda llego a 10 cm. • Calle Hortensia y Zoncuantla en la colonia Salud se inundó una casa donde el nivel de agua llego hasta 1 metro. • Colonia Benito Juárez, calle Matamoros No. 6, caída de barda sobre una vivienda, dentro de la casa hay un nivel de agua superior a 60 cm.
1993	20 de junio	• Inundación provocada por lluvias, en la Col. Bella Vista, resultando 2 viviendas afectadas y 6 personas damnificadas.
1993	17 de Julio	• Col. Virginia, 2 de abril, Infonavit, Loma Alta, Ferrer Guardia y Molino de San Roque, dando como saldo 64 viviendas inundadas y 255 personas damnificadas.
1993	30 de agosto	• Calles en la Colonia Unidad del Valle, Salud y Emiliano Zapata se inundarán, llegando los tirantes de agua hasta 30 cm.
1995	12 de septiembre	• Fuertes lluvias provocaron que 56 familias en la colonia “La Lagunilla”, quedaran afectadas, ya que sus viviendas se inundaron.
1996	28 de febrero	• Viviendas de la Col. Rafael Lucio quedaran destechadas.

Cuadro 7. Inundaciones en Xalapa del año 1990-2000. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos del Atlas de Peligros Naturales y Antropogénicos del Municipio de Xalapa, Veracruz, 2009.

Año	Día/ Mes	No.	Evento	Fuente
2001	26/08/2001	1	Alerta preventiva en el municipio por las intensas lluvias y causaron inundación.	La Jornada Desinventar
2002	13/09/2002	1	Desbordamiento del rio Carneros.	La Jornada Desinventar
2003	18/09/2002 al 22/09/2002	1	Emergencia por lluvias atípicas.	Atlas de Peligros Naturales y Antropogénicos del Municipio de Xalapa, Veracruz, 2009 y Protección Civil, Xalapa (APNYAX, 2009)
2005	5/10/2004 al 7/10/2004	2	El municipio fue declarado en desastre debido a la entrada del Ciclón Tropical “Stan” y la Onda Tropical No. 40.	Protección Civil, Xalapa Y APNYAX (2009)
	27/09/2004		Alerta preventiva en el municipio por las intensas lluvias.	La Jornada Desinventar
2006	28/05/2006 al 29/05/2006	2	Desastre por lluvias extrema	Protección Civil, Xalapa Y APNYAX (2009)
	03/08/08		Municipio declarado zona de desastre por la onda tropical No. 22.	La Jornada Desinventar
2007	23/08/2007 al 27/08/2007	2	Los huracanes Dean y Lorenzo y deja al Municipio en Emergencia.	APNYAX (2009) La Jornada Desinventar
	20/09/2007		Varias viviendas dañadas por onda tropical No. 16	
2008	4/06/2008 al 10/06/2008	3	Desastres por lluvias atípicas	Protección Civil, Xalapa Y APNYAX (2009)
	08/09/2008		Frente frío No. 1 y Onda tropical No. 30	La Jornada Desinventar
	21/09/2008		Onda Tropical No. 7	
2009	27/06/2009	3	Inundación de 26 colonias, deslave de 3 cerros y 2 muros desplomados	La Jornada Desinventar

			donde 4 personas resultaron lesionadas.	
	10/09/2009 de septiembre		51 bardas caídas y 112 muros de contención derrumbados	
	12/09/2009		281 calles dañadas, 112 deslizamientos de tierra, 171 hundimientos, 320 alcantarillas y drenajes tapados por la onda tropical número 29.	
2010	27/07/2010	1	Onda tropical no. 17 y 18. La carretera permaneció cerrada por más de 10 horas debido a las inundaciones y los autobuses suspendieron sus corridas	La Jornada
2011	03/07/2011	2	La tormenta tropical José causo el desbordamiento de 42 ríos, arroyos y lagunas, provocaron 223 tramos carretero-dañados y 110 puentes que mantienen a 131 comunidades incomunicadas, 10 mil damnificados y más de 10 mil viviendas afectadas, 55 mil habitantes sin energía eléctrica ni servicio telefónico por la caída de cables y árboles. Se suspenden las clases en todos los niveles. Daños globales (Daños globales ficha 2011-01601).	La Jornada, El Universal (varias fechas) y FONDEN para identificación de algunos municipios.
	13/09/2011		Tormenta tropical Arlene Daños globales ficha 2011-01601.	La Jornada, El Universal (varias fechas) y FONDEN para identificación de algunos municipios.
2012	08/04/2012		El río carneros se salió del cauce e inundo por lluvias torrenciales.	Al calor político

Cuadro 8. Inundaciones en Xalapa 2001-2012. Elaboración propia con datos de protección civil.

Colonia	Casos	Colonia	Casos
Revolución	29	Casa Blanca	7
Salud	11	J. J. Panes	7
Veracruz	10	Higueras	7
La Lagunilla	9	Nacional	7
Luz del Barrio	9	Carolino Anaya	6
Emiliano Zapata	9	Coapexpan	6
Rafael Lucio	8	Sumidero	6

Cuadro 9. Colonias afectadas por inundaciones en el período 2000-2009 en Xalapa Veracruz Fuente: Moguel, *et al.*, 2012.

PROBLEMÁTICA

Las inundaciones son el más común de los peligros naturales (EM-DAT, 2018). En varias ocasiones se convierten en desastres, los cuales son cada vez más inciertos y complejos debido a los cambios ambientales y socioeconómicos a escalas múltiples (Djalante *et al.*, 2013). Un desastre se refiere a los daños y pérdidas que sufre un sistema cuando uno o varios eventos físicos interactúan con zonas vulnerables alterando gravemente el funcionamiento normal de una comunidad (Lavell *et al.* 2012). Sin embargo, es muy difícil calcular los daños directos sobre la infraestructura, los servicios, vivienda, los ecosistemas, la calidad de vida y el nivel cultural (Lavell *et al.*, 2012). Es por ello por lo que los peligros relacionados con fenómenos hidrometeorológicos representan un componente relevante para el desarrollo de las civilizaciones en la historia de la humanidad (Mansanilla 1997; Ayala; 2002 & Diamond 2005).

Los países en desarrollo son los que desafortunadamente presentan con mayor frecuencia esta problemática, las inundaciones han aumentado en ocurrencia y severidad en todo el mundo, debido a factores antropogénicos que causan cambios en el clima, el uso y cobertura de la tierra (Aich *et al.*, 2015) que traen consigo devastación e interrupción de los medios de vida, la seguridad alimentaria y sistemas ecológicos (Armah *et al.*, 2010).

La problemática de la inundación contempla las tres esferas que conforma el sistema (social, ecológico y económico). Al considerar que los procesos como parte integrante de esa versión agregada de la naturaleza (Naredo, 2002), los espacios urbanos y rurales están compuestos por microistemas que interceptan en múltiples formas, colonias, servicios básicos, movimientos con entradas y salidas de energía, donde se tiene una degradación ambiental que se desequilibra lentamente hasta llegar al límite de la elasticidad, el equilibrio se rompe y se manifiestan en desastres en uno o varios puntos del microistema (Fernández, 1996). Las causas socio-naturales de las inundaciones como la deforestación incrementa la escorrentía además de agotamiento de acuíferos, la transformación de bosques en pastizales, el entubamiento de ríos, resulta ser el mismo proceso de urbanización, la ubicación de construcciones y de asfalto en lugares de natural infiltración pluvial, y la ausencia de

suficientes y adecuados sistemas de drenaje pluvial, los factores que más pesan sobre las inundaciones urbanas hoy en día (Allan, 1996).

A pesar de los impactos devastadores de las inundaciones en los medios de vida de las personas existe información limitada, así como la falta de intervención de apoyo, la información ha resultado en una preparación deficiente (Schipper y Pelling 2006). Sin embargo, se tiene carencia de datos, aunado a la capacidad de recolectar la información meteorológica, hidrológica, geomorfológicas y económica (Kebenge, 2017). Dentro de las iniciativas con las que se cuenta es un mapeo de las inundaciones que son demasiado ambiguos pero que es relevantes a nivel nacional, continental y global, mientras carecen de los detalles espaciales necesarios para las intervenciones a escala local. Por lo tanto, es importante tener en cuenta que los gobiernos locales desempeñan un papel clave en la gestión del riesgo y son principales administradores de infraestructura sociotécnica y a través de su responsabilidad planificación física a largo plazo (Bulkeley *et al.*, 2011). El daño no solo depende de la intensidad del peligro sino también de las capacidades institucionales sociales y de gestión para prevención y respuesta ante los desastres (Schanze *et al.*, 2006. Penning-Rowell *et al.*, 2014). Las acentuaciones de cada una de las amenazas de inundación y la aparición de nuevas están relacionadas con el cambio climático, inducidos por la contaminación atmosférica y el efecto invernadero generando cambios en patrones cuantitativos, temporales y espaciales de la precipitación estacional, provocando un aumento en la fuerza y recurrencia de huracanes (Feng *et al.*, 2013; Hulme *et al.* 2001 en Allan, 1996). Los cambios en uso del suelo causan un aumento en la generación de escorrentías superficial y reducción de infiltraciones de aguas subterráneas (Nosetto *et al.*, 2012).

México enfrenta obstáculos para mejorar en esta materia, entre ellos se encuentra la falta de información de las causas biofísicas y socioeconómicas, información fragmentada, es decir, no se genera de manera sistemática, falta lograr una mayor coordinación entre instituciones y sociedad. Así mismo la información espacial y temporal se convierte en una tarea muy difícil de recabar para lograr una buena estimación de costos (Cavazos, 2015). En Xalapa, las zonas que sufren recurrentemente inundaciones, el río carneros por la zona de Coapexpan. Además, se encuentra contaminado por drenajes sin tratar y por basura que atenta contra la salud pública. Por otro lado, se tiene asentamientos irregulares e incremento

de la población en los últimos años y es de 1.3 % (INEGI, 2010). La capacidad de absorción del suelo, en este caso, la capacidad de recuperación y resiliencia juegan un papel fundamental para la recuperación de los desastres por inundaciones. Al hablar de sistemas estos son perturbados principalmente por el hombre además de la intensidad del fenómeno y el espacio que se presente, donde juega un papel muy importante la vulnerabilidad ecológica. Dentro de los principales factores socioambientales que favorecen a las inundaciones, se encuentran el consumo de energía por mayor demanda de la población debido al incremento de ésta, asentamientos en zonas de peligro, modificaciones de los cauces fluviales, contaminación del agua por desechos, deforestación y cambio de uso de suelo.

En la parte económica se tiene una crisis fiscal del estado y de los gobiernos municipales por una falta de servicios públicos adecuados, la eliminación de basura en los cauces de ríos, o en las calles, bloqueando los alcantarillados. Todas estas prácticas constituyen expresiones, vulnerabilidades ambientales ante las inundaciones, destacan la necesidad de asignar responsabilidades a agentes sociales determinados, pero desde el punto de vista de gestión ambiental a nivel urbano es esencialmente un problema económico y político, gracias al crecimiento de la población en asentamientos irregulares derivado de la mala planeación de la ciudad. La concentración de la amenaza es acompañada con la vulnerabilidad a nivel social y del medio ambiente (Allan, 1996).

La problemática de la inundación en Xalapa se debe a la mala planificación de ciudad, asentamiento en zonas de peligro de inundaciones, en este caso cerca de los corrientes fluviales que se ven afectados directamente a las personas de bajos recursos que no pueden cambiar de vivienda., Sin embargo, las políticas de prevención no han tenido un resultado eficiente. El aumento de la temperatura, la intensidad de precipitaciones es lo que no podemos modificar de forma directa, la única manera es por medio de educación ambiental que permita un consumo más racional y una mayor conciencia del riesgo para toma de decisiones futuras tanto a nivel social como gubernamental.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuáles son las afectaciones de riesgos de inundación de nivel vivienda en la ciudad de Xalapa, Veracruz?

OBJETIVOS

General

Evaluar de forma integral las afectaciones a nivel vivienda de riesgo de inundación en la ciudad Xalapa, Veracruz.

Específicos

- Análisis temporal y espacial de la precipitación
- Caracterizar las áreas de peligro y vulnerabilidad ante inundaciones
- Caracterizar la población socioeconómica a nivel AGEBS
- Análisis de las afectaciones en el sector vivienda

ÁREA DE ESTUDIO

1.13 Ubicación del municipio

El Municipio de Xalapa representa el 0.17% de la superficie del Estado y cuenta con 74 localidades y una población total de 502,151 habitantes en el 2017, representa el 6.15% de la proporción estatal (INEGI, 2015). Se localiza entre los paralelos 19° 29' y 19°36' de latitud norte; los meridianos 96° 48' y 96° 58' de longitud oeste; altitud entre 700 y 1 600 m, de acuerdo con el Atlas de Peligros Naturales y Antropogénicos del Municipio de Xalapa, Veracruz (Municipales, 2009). (ver figura 6).

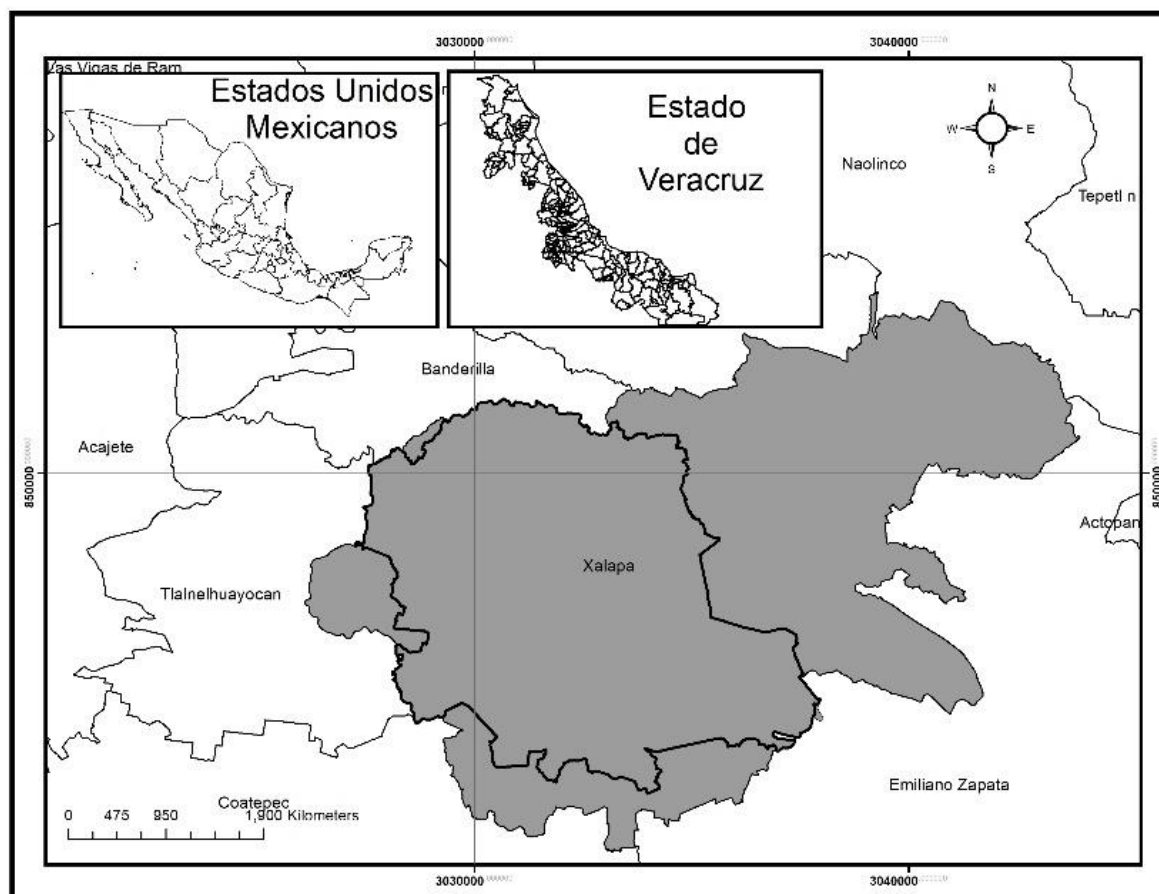


Figura 6. Ubicación del municipio de Xalapa, Veracruz. Fuente: elaboración propia con datos de INEGI.

1.14 Características socioeconómicas

La ciudad de Xalapa tenía 502,151 habitantes en el 2017 representa el 6.15% de la proporción estatal, con una tasa de crecimiento de 1.03 % del 2010 al 2015 (Municipales, 2016). La mayor parte de la población se dedica al sector terciario y en menor al sector primario, ver cuadro 10. Las características de la vivienda muestran es que cerca del 100%, disponen de todos los servicios, el 66% de las viviendas tienen piso de madera o mosaico, y menos de 40% dispone un automóvil, los demás bienes dentro de la vivienda, como televisión y teléfono celular, es que disponen la mayoría, es decir, arriba del 90%. Sin embargo, línea telefónica, computadora e internet disponen menos del 50% (Ver cuadro 11). Dentro de las características urbanas, tiene siete fuentes de abastecimiento de agua y solo una planta potabilizadora de agua (Ver cuadro 12).

EMPLEO, 2015	
Indicador	Valor
Población económicamente activa (PEA)	214,162
PEA ocupada	206,162
PEA desocupada	14,114
Sector primario	1.6%
Sector secundario	15.7%
Sector Terciario	80.9%
Población no económicamente activa	178,541
Estudiantes	71,377
Hogar	73,677
Jubilados y pensionados	16,428
Incapacitados	73,677

Cuadro 10. Indicadores económicos. Fuente: Encuesta Intercensal 2015 en (Municipales, 2016).

CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA	%
Viviendas particulares habitadas	
Con disponibilidad de agua entubada	99.1
Con disponibilidad de drenaje	99.5
Con disponibilidad de energía eléctrica	99.6
Con disponibilidad de sanitario o excusado	99.5
Con piso de:	
Cemento o firme	31.3
Tierra	1.8
Madera, mosaico y otros recubrimientos	66.8
Con disposición de bienes y tecnologías de la información y la comunicación	
Automóvil o camioneta	40.5
Televisor	96.8
Refrigerador	88.8
Lavadora	71.4
Computadora	48.1
Aparato para oír radio	78.6
Línea telefónica fija	46.4
Teléfono celular	90.1
Internet	49.2

Cuadro 11. Características a nivel vivienda. Fuente: INEGI. Encuesta Intercensal 2015 en Municipales, 2016

CARACTERÍSTICAS URBANAS	VALOR
• Fuentes de abastecimiento de agua a/	7
• Volumen promedio diario de extracción (miles de metros cúbicos)	5.6
• Plantas potabilizadoras de agua	1
Capacidad instalada (litros por segundo)	1060
Volumen suministrado anual de agua potable (millones de metros cúbicos)	32
• Tomas domiciliarias de agua potable instaladas	152,609
• Sistemas de drenaje y alcantarillado	8
• Localidades con el servicio de drenaje y alcantarillado	8
• Tomas instaladas de energía eléctrica b/	206,399
• Localidades con el servicio de energía eléctrica	36
<i>a/ Comprende: arroyos, esteros, galerías, lagunas, norias, pozas, presas y ríos.</i>	
<i>b/ Comprende agrícolas, alumbrado público, bombeo de aguas potables y negras, domésticas, industriales y de servicios.</i>	

Cuadro 12. Servicios de Xalapa, Veracruz. Fuente: INEGI. Anuario Estadístico y Geográfico de Veracruz de Ignacio de la Llave en Municipales, 2016

1.15 Clima e Hidrología

La ciudad de Xalapa pertenece a la región hidrológica del Papaloapan, donde concurren las subcuencas de los ríos Jamapa, la Antigua y Actopan. El escurrimiento medio anual en la Región es de 98,930 hm³. Además, confluyen los escurrimientos de Chiltoyac, Ánimas, Xalitic, Techacapan y Tlalmecaan, Sedeño, Carneros, Sordo, Santiago, Zapotillo y el de las Animas (PACMUN, 2014.). Sin embargo, la mayoría de los ríos que cruzan por la ciudad reciben descargas de aguas residuales, generalmente sin tratar y el grado de contaminación limita aprovechamiento del recurso para ciertos usos (Rojas, 2006 & PACMUN, 2014).

Su clima es semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano (54%), semicálido húmedo con lluvias todo el año (44%), cálido subhúmedo con lluvias en verano (1%) y templado húmedo con lluvias todo el año (1%). Su temperatura varía de 18-24 °C, su precipitación pluvial media anual es de 1,509.1 mm (PACMUND, 2014 & Municipales 2016).

1.16 Uso de suelo

El 37% del municipio está dedicado a la agricultura, dentro de los principales cultivos son, la café cereza con 1779.8 ha, caña de azúcar con 473 ha, y maíz de grano 125 ha (Municipales, 2016). De acuerdo con el *Instituto de Ecología* (INECOL), la vegetación de Xalapa, la zona urbana ocupa el 49%, pastizales un 9%, bosque 1% y selva 4% (Municipales, 2016). Así mismo, la ciudad aún mantiene un importante componente vegetal, puesto que árboles y arbustos cubren una importante proporción de su territorio, como lo son el Parque Natura (en conjunto con la Reserva Ecológica El Tejar-Garnica), el parque Macuiltépetl y el Cerro de la Galaxia.

1.17 Relieve

Son lomerío de basalto y sierra volcánica con estratos de volcanes aislados, sobre áreas, donde originalmente había suelos denominados Andosol y Regosol. La altitud máxima corresponde a 1597 msnm, que se distribuyen en la zona norte del municipio donde se ubica el Parque Ecológico Macuiltépetl la altitud media es 1000 a 1250 msnm, se localizan en la Parte suroeste (figura 7).

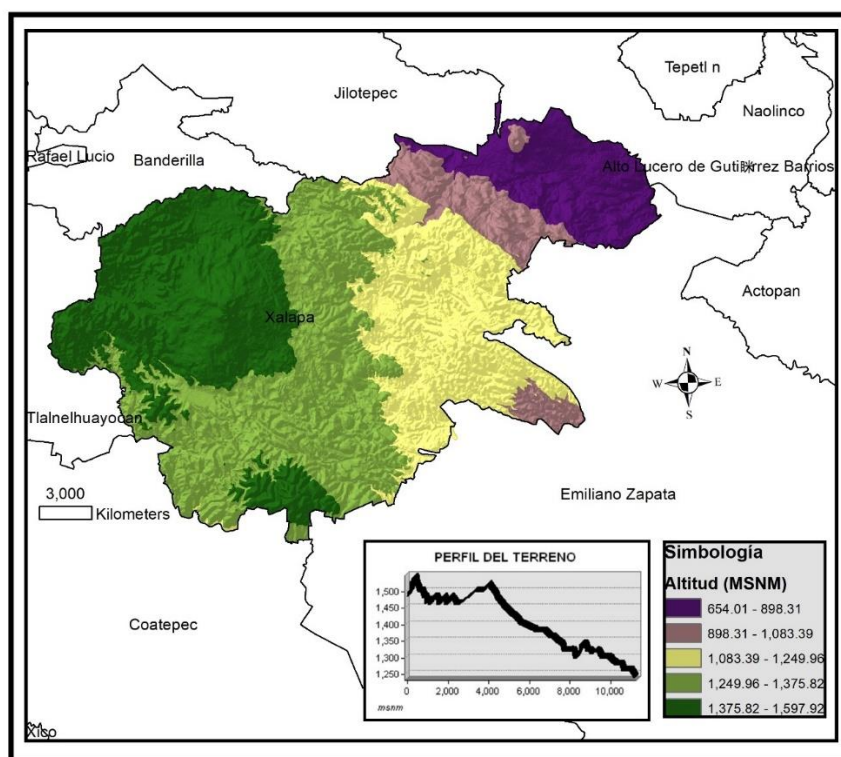


Figura 7. Relieve de Xalapa. Fuente: Imágenes Lidar, Fuente: Elaboración propia de MDE

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En este apartado se describe la propuesta metodológica para evaluar los riesgos de inundación, con el propósito de generar un estudio exploratorio que permita identificar el peligro y la vulnerabilidad para generar una evaluación de los principales daños económicos que se tiene en vivienda. La figura 8 representa el sistema de evaluación de riesgos esquemáticamente y las etapas y los componentes más importantes para su obtención, que conlleva un objetivo primordial que corresponde a la referencia de daños por inundación a nivel AGEBS de la ciudad de Xalapa, Veracruz. Sin embargo, también el modelo propuesto sirve para generar una evaluación más profunda y con mayor detalle.

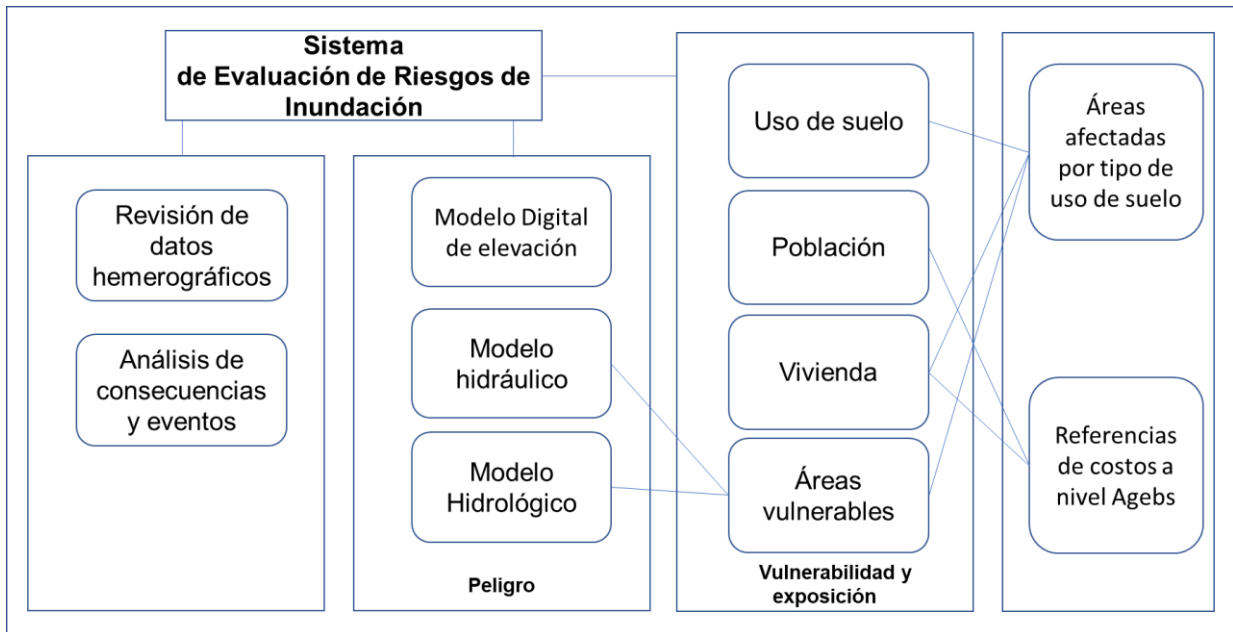


Figura 8. Modelo de riesgos de inundación. Fuente: Elaboración Propia

Componentes del riesgo	Variables	Escala
Datos de probabilidad	• Análisis histórico de inundación (1980-2017) • Pluviometría (1980-2010) • Precipitación máxima (espacial y temporal) • Temperatura Máximas (espacial y temporal)	1: 50,000
Peligro	• Modelo Digital de Elevación (5 cm de resolución). • Modelo de cuencas • Modelo Hidrológicos • Modelo Hidráulicos	1:10,000
Vulnerabilidad	• Estado • Localidades Urbanas • AGEBS Urbanos • Bienes en la vivienda	1:50,000

Cuadro. 13. Componente y variables de riesgo por inundación a nivel AGEBS. Fuente: elaboración propia.

Cada uno de los componente conlleva un desarrollo en específico con cada unas de variables (ver cuadro 13) y se puede desarrollar en etapas para lo cual se propusieron cuatro etapas:

Etapa 1. Probabilidad espacial y temporal

Se dirige directamente al análisis de temporal y espacial de los eventos históricos de inundación más relevantes, así como también reunión de información cartográfica, escorrentía, densidad de población, distribución de usos del suelo y viviendas, mapas topográficos y modelos digitales del terreno.

Etapa 2. Peligro

Para poder implementar el modelo hidrológico se necesitó información fisiográfica de las cuencas que conforman la ciudad de Xalapa, datos hidrometeorológicos de las estaciones disponibles, imágenes Lidar con cinco centímetros de resolución, cada procesamiento se realizó en un Sistema de Información Geográfica (SIG).

Caracterización de la cuenca urbana y red hidrográfica: inicia con la delimitación de su territorio y continúa con la obtención de “parámetros morfométricos” como la

superficie, pendiente, forma, red de drenaje, etc. Permite obtener las áreas de drenaje superficial donde la lluvia tiende a ser drenada hacia un mismo punto de salida (Instituto Nacional de Ecología de México, 2005). de acuerdo con (Garay & Agüero, 2018) “La delimitación de una cuenca hidrográfica consiste en definir la línea de divortium aquarum (divisoria de aguas), la cual es una línea curva definida por las altitudes y que tiene su punto de cierre en la zona más baja de la cuenca. La longitud de la línea divisoria es el perímetro de la cuenca y la superficie que encierra dicha curva es el área”.

La información se obtuvo del MDE con imágenes LIDAR de 5 cm de resolución, se delimitaron las subcuencas se realizó a partir de criterio topográficos e hidrográficos que contempla red de drenaje superficial, aplicando un método la dirección del drenaje del agua. Para lo cual fueron necesarios al menos diez Modelos Digitales de Elevación Lidar para poder cubrir las áreas urbanas de Xalapa.

Modelo hidrológico: conlleva varias etapas para su construcción, para lo cual se necesitan datos de series temporales de lluvia para la construcción de eventos de precipitación a partir de información globalizada en curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para establecer el período de retorno, que corresponde a la precipitación (mm/h) y duración (empírica o analíticamente). Las curvas IDF sirven para la construcción de un *hietograma* con Hydrologic Modeling System (HEC-HMS), se realizó la simulación de los sistemas de la cuenca, basado en Rojas (2006), para la zona urbana de Xalapa, quien estableció un *hietograma* base. El *hietograma* aporta información en términos de precipitación total, pero gran parte de la precipitación total se pierde en fenómenos de evapotranspiración, interceptación, almacenamiento en depresiones o infiltración. La infiltración es el fenómeno es el más importante de todos, puesto que en las áreas urbanas es menor debido al asfalto de la ciudad. Este modelo utiliza métodos de precipitación-escorrentía para efectuar los *hidrogramas*, que sirven para estimar la escorrentía directa generada por la precipitación en una cuenca durante un período de tiempo específico (período de retorno)., Se construyeron seis *hietogramas* para dos períodos de retorno con duraciones de tormentas de 30, 60 y 120 minutos.

Análisis hidrológico: permitió obtener las características de los escenarios de inundación establecidos en el programa IBER para lo cual se ocupará el hidrograma y MDE, donde se obtuvieron las siguientes variables:

- Área inundada (A).
- Altura de la inundación (h).
- Desarrollo del hidrograma de llegada.

Etapas 3. Vulnerabilidad

Una vez obtenidas el área inundada; y la altura de inundación se caracterizó la vulnerabilidad por medio de un SIG y análisis espacial para obtener los siguientes elementos basado en datos geoestadísticos del Censo de Población y Vivienda (INEGI 2010) e índice de marginación (CONAPO, 2010).

- Porcentaje de área inundada a nivel AGEBS.
- Área distintas alturas de inundación a nivel AGEBS.
- Caracterización socioeconómica de la población a nivel AGEBS (CONAPO e INEGI).

Resaltando la importancia de la altura o lámina de agua en una inundación, tomado como un indicador que se expresa en metro por metro cuadrado, que corresponde a una variable discreta y se utiliza para establecer el porcentaje de afectación que pudiera obtener cada bien que se encuentran dentro de una vivienda para poder generar una regresión exponencial (Machuca, 2014).

La escala de análisis para las ciudades en México corresponde a nivel AGEBS (Área Geoestadística Básica) conformada por un grupo de manzanas, los cuales se cuenta datos nivel vivienda y de marginación.

Etapas 4. Calado-Curva de daños

Basado en el modelo “Sistema de Riesgo”, con tres nodos, propuesto por (Castillo-rodríguez *et al.*, 2016), se puede utilizar para analizar el riesgo de inundación para las zonas urbanas afectadas por las inundaciones de los ríos de sistemas no regulado (ver figura 9).

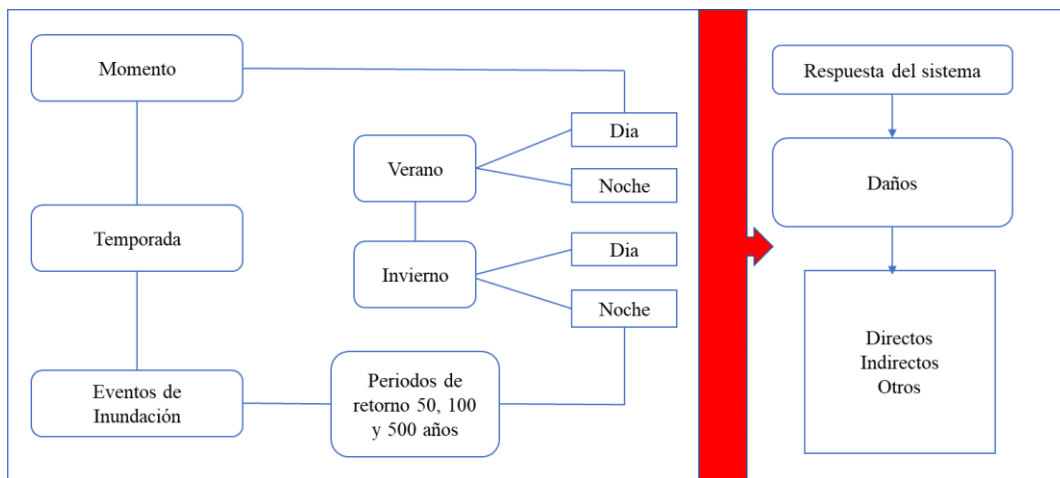


Figura 9. Sistema de riesgo con nodos. Fuente: Elaboración propia basado en el modelo de Castillo-rodríguez *et al.*, 2016.

En el modelo se pueden generar varios supuestos, sin embargo, en este trabajo únicamente se basó en los daños directos tangibles que se refiere a las consecuencias en las viviendas producidas por el contacto con el agua se construye la curva de daños potenciales, para lo cual, se identificaron los bienes en la vivienda de acuerdo con el Censo de Población y Vivienda 2010 a nivel AGEBS. Donde la altura de lámina de agua versus valor de los bienes de una vivienda. Finalmente se realizó la suma de daños en pesos mexicanos que presenta inundaciones, basado en supuesto de precios promedios para cada tipo de bien (Figura 10).

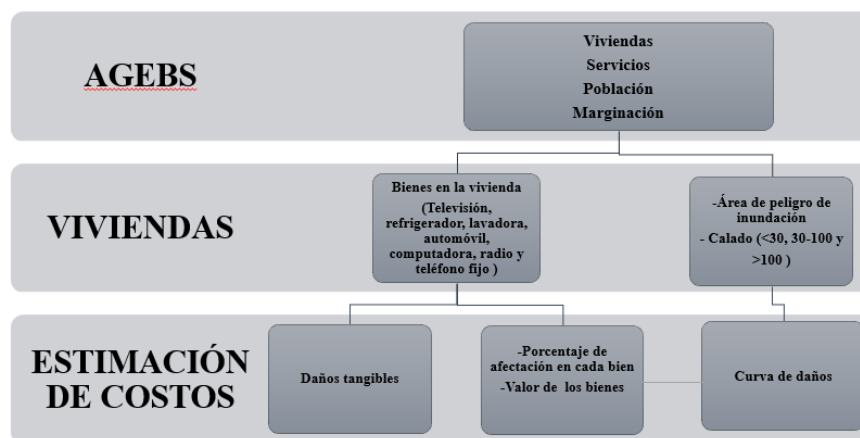


Figura 10. Modelo para la curva de daños en viviendas a nivel AGEBS. Fuente: Elaboración propia.

3. RESULTADOS

Los principales factores que contribuyen a las inundaciones se clasifican en hidrológicos, meteorológicos y antropogénicos (CENAPRED, 2006). Las inundaciones que son ocasionadas por lluvias intensas producidas por ciclones tropicales, paso de frentes fríos, tormentas convectivas, tsunamis y oleaje de tormentas han sido de los eventos más destructivos en México y el mundo. Se posicionan en el segundo lugar de los desastres asociados a fenómenos naturales que causan el mayor número de muertes en el país (Cavazos, 2015). Además, los elementos que determina la vulnerabilidad social, es la falta de planificación y su implementación en el desarrollo social y económico, poblacional en zonas de peligro, sistemas de drenaje pluvial incompletos o inexistentes en el caso de áreas urbanas, pobreza y desigualdad social y las pocas o nulas estrategias para la prevención de desastres. De acuerdo con los antecedentes históricos de Xalapa se presentan cada año de forma recurrente, al menos dos en promedio, con daños importantes (Protección Civil, CENAPRED y Desinventar y periódicos).

3.1 Análisis temporal y espacial de la precipitación

Para el análisis espacio temporal de la precipitación y la temperatura de la ciudad de Xalapa, se georreferenciaron cinco estaciones meteorológicas. Se obtuvo el climograma y el mapa de isoyetas para el período 1980-2010 (figura 11,12 y 13). Las estaciones se ubican en los municipios de Jilotepec, Coatepec, Emiliano Zapata y dos estaciones dentro de la ciudad. Se analizaron cuatro elementos: la precipitación media, máxima mensual en comparación con la temperatura media y máxima mensual. Los meses con precipitaciones máximas son mayo-septiembre, la precipitación media es de 119 mm, de acuerdo con los datos analizados. Las estaciones ubicadas al noroeste registraron 329 a 279 mm, en la parte sureste, 230-205mm de máxima mensual. De acuerdo con la precipitación media mensual, de julio-septiembre corresponde a los meses con mayor peligro para la presencia de inundación y coincide con los meses de precipitaciones máximas (Figura 14).

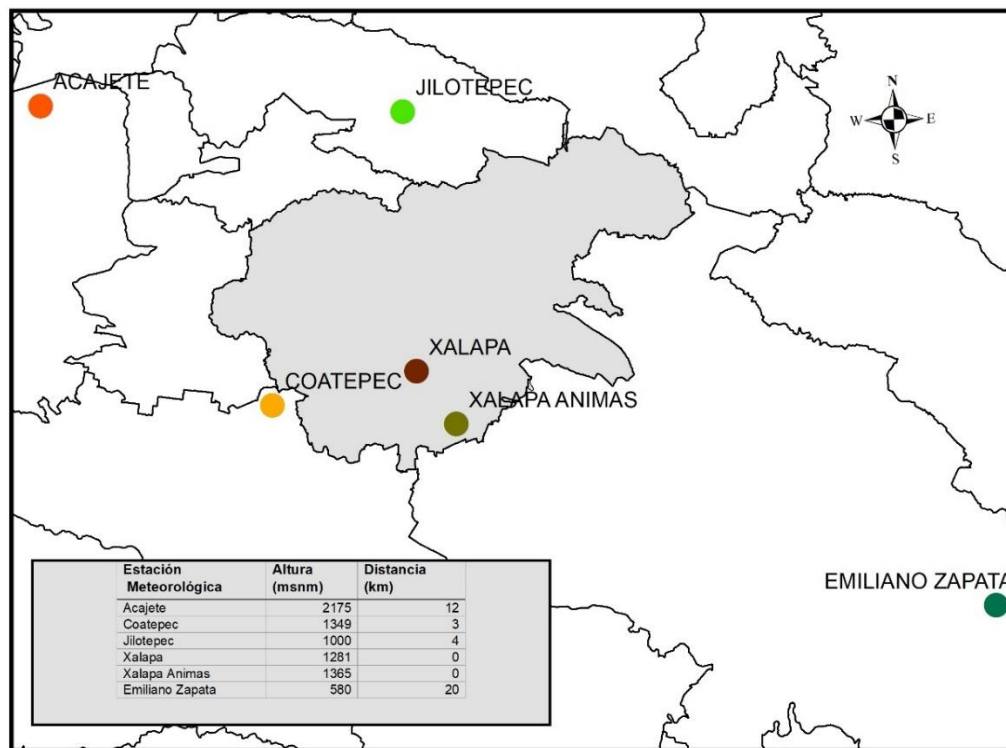


Figura 11. Ubicación de las estaciones meteorológicas. Fuente: Elaboración propia

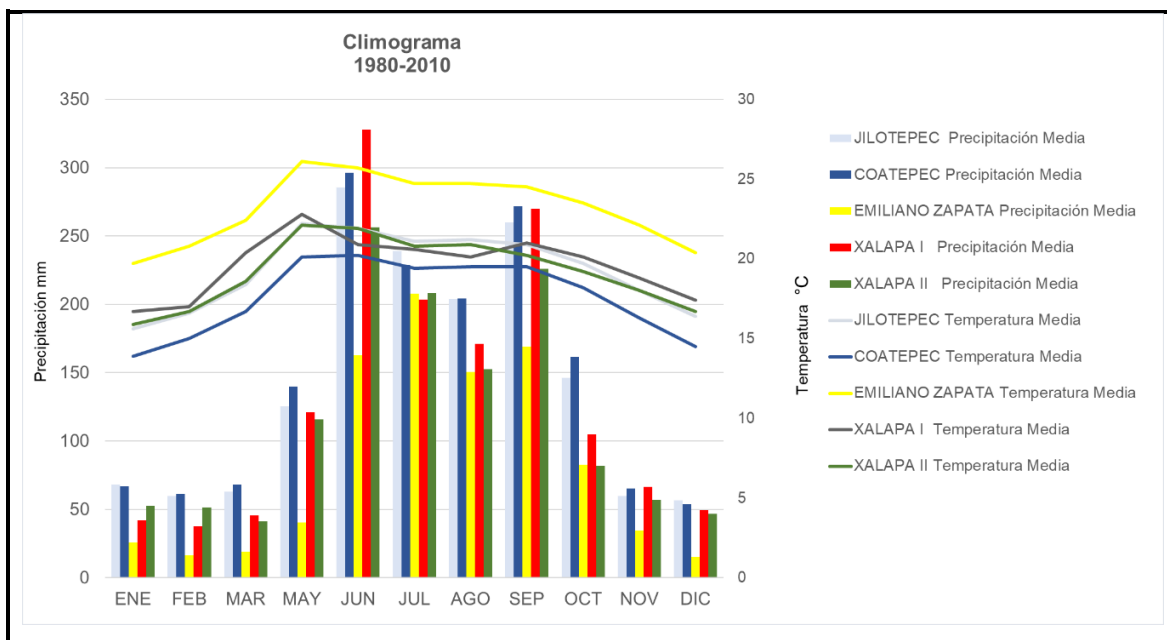


Figura 12. Precipitación media mensual (1980-2010). Fuente: Elaboración propia con datos de CNA

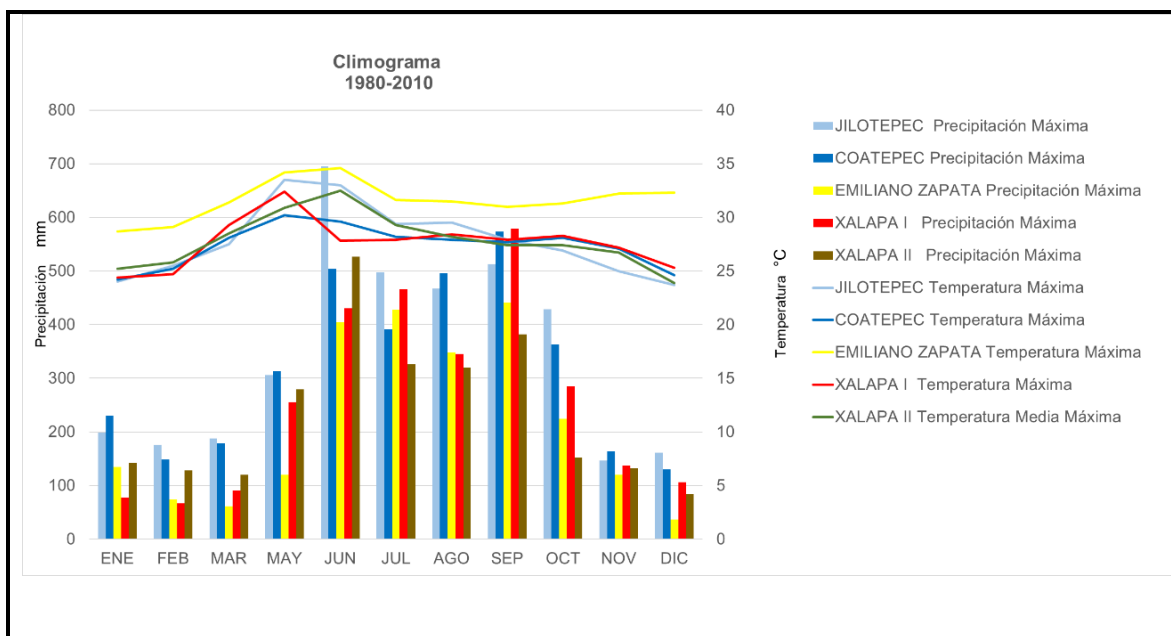


Figura 13. Precipitación máxima mensual (1980-2010). Fuente: Elaboración propia con datos de CNA

El comportamiento de la lluvia y su distribución espacial se realizó por medio de isoyestas (Figura 14). Se observa que precipitación máxima es de 279-329 mm se registra en la estación de Jilotepec y Coatepec que se ubicada en la parte noroeste de la ciudad. En el centro, la precipitación es de 255 a 279 mm. Sin embargo, para el sur la precipitación disminuye llegando a tener un registro de 230-205 mm.

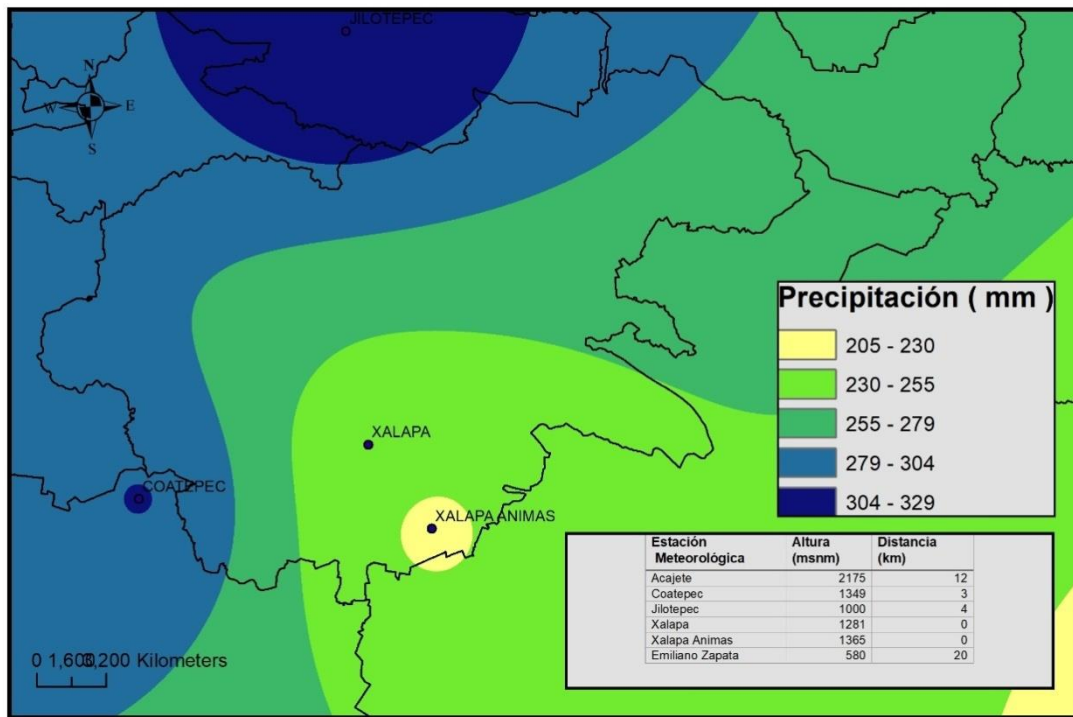


Figura 14. Distribución espacial por medio de Isoyetas de la precipitación máxima mensual (1980-2010).
Fuentes: Elaboración propia con datos de CNA.

3.2 Microcuencas

Xalapa pertenece a la región hidrológica del Papaloapan donde convergen los escurrimientos de los ríos Chiltoyac, Ánimas, Xalitic, Techacapan y Tlalmecaan, Sedeño, Carneros, Sordo, Santiago, Zapotillo y el de las Animas. La figura 15 y cuadro 14 muestran las microcuencas y sus características físicas de la Ciudad de Xalapa que se elaboraron en ArcGis 10.5 con MDE de imágenes Lidar. El cuadro 15 muestra un análisis de las inundaciones historias en la ciudad en relación con su ubicación y precipitación máxima (1980-2010). Siendo el norte, este y oeste de la ciudad, las microcuencas mayormente expuesta a inundaciones.

Microcuencas	Colonias con antecedentes de inundaciones	Precipitación Máxima Mensual
RH28BJ0	La revolución, La lagunilla, Luz del barrio y Carolino Anaya	279-329 mm
RH28BF01	Luz del Barrio. Emiliano Zapata y Coapexpan	279-329 mm
RH28BG03	Carolino Anaya, Nacional	255-279 mm
RH28BG02	Sumidero, Higueras	230-279 mm
RH28BG01	Sin registro	205-230 mm

Cuadro 14. Inundaciones en las microcuencas de la ciudad de Xalapa. Fuente: Elaboración propia de datos

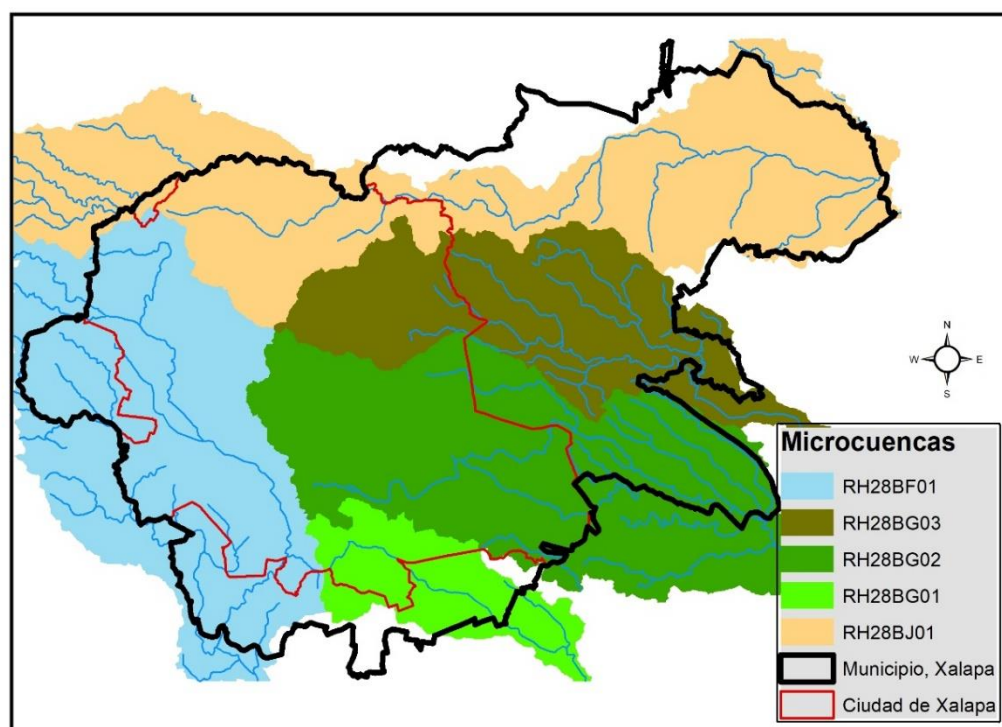


Figura 15. Microcuencas que confluyen en la ciudad de Xalapa, Veracruz. Fuentes: Elaboración propia con datos de CNA e INEGI.

PROPIEDADES	RH28BF01	RH28BJ01	RH28BG03	RH28BG02	RH28BG01
Elevación máxima	2000m	3011m	1299m	1340m	1392m
Elevación media	1599m	1925m	1123m	1141m	1238m
Elevación mínima	1198	840m	947m	943m	1085m
Longitud	17120m	37901m	13205	15598m	8612m
Pendiente Media	4.68%	5.72%	2.66 %	2.5451%	3.56%
Tiempo de Concentración	114.52 (minutos)	192.90 (minutos)	115.73 (minutos)	37.04 (minutos)	71.20 (minutos)
Área Drenada	49.64 km ²	60.43 km ²	23.98 km ²	37.04 km ²	7.69 km ²

Cuadro 15. Características de las microcuencas. Fuente: Elaboración propia con datos de SIATL.

3.3 Hietograma

Las curvas IDF para la ciudad de Xalapa fueron elaboradas por (Rojas, 2006), las cuales muestran la precipitación para distintos períodos de retorno que se basa en los datos de 1927-2002 (Ver figura 16-17).

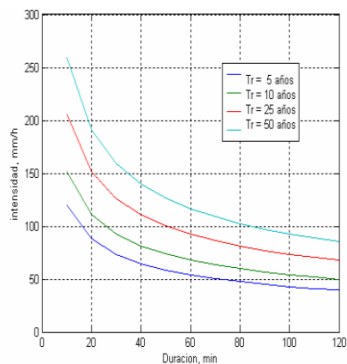


Figura 16. Curvas i-d-Tr, Xalapa. Fuente: (Rojas, 2006).

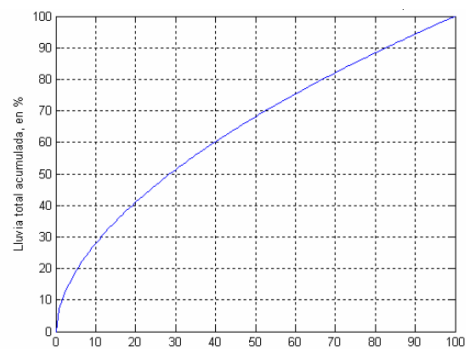


Figura 17. Curva lluvia acumulada-Duración de la tormenta, Xalapa. Fuente: (Rojas, 2006).

La distribución de la lluvia media de una tormenta se determina por medio de un hietograma de diseño, a través de las curvas de masas acumulada de precipitación, asociada a un área de análisis y un período de retorno, basado en el método de bloques alternos se observa en la figura 12, se representa en 10 intervalos constantes, en la parte central, se ubica el de mayor valor y se va alternando de forma descendente para izquierda y derecha (Garcia, 2006).

Para el caso de Xalapa (cuadro 16) presentan los valores de las intensidades para diferentes duraciones y periodos de retorno de 10 y 50 años, pero únicamente se utilizaron los valores para 60, 90 y 120 minutos que se transformaron en lluvia efectiva para el cálculo de los hietogramas unitarios. Por medio del hietograma base (Figura 18), el cual, se divide en 10 barras, de 0 a 100%. Para el primer intervalo se tiene una lluvia de 6%, la segunda de 7%, hasta llegar al pico máximo de 28% y después disminuye hasta terminar en 5%. Tomando en cuenta los valores para los tiempos anteriormente mencionado (60, 90 y 120 minutos), la lluvia en milímetros se distribuye de manera porcentual y se obtienen los hietogramas unitarios que se observan en los cuadros 17 y 18 que fueron necesarios para el procesamiento en HEC-HMS.

T(min)	Tr 10 (mm/h)	Tr 50 (mm/h)
10	151.298	259.431
20	111.058	190.432
30	92.683	158.924
40	81.521	139.784
50	73.797	126.54
60	68.033	116.656
70	63.512	108.904
80	59.839	102.606
90	56.777	97.355
100	54.17	92.885
110	51.915	89.019
120	49.939	85.63

Cuadro 16. Valores de las intensidades para diferentes duraciones y períodos de retorno. Fuente: -García, 2006.

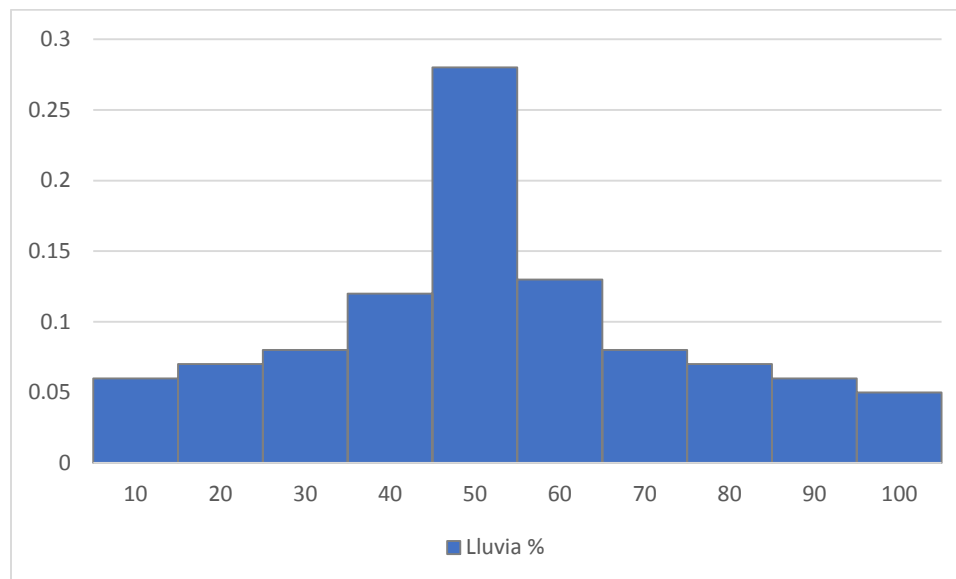


Figura 18. Hietograma de Diseño Zona Metropolitana de Xalapa. Fuente: García, 2006

t (%d)	Pt 10	t (%d)	Pt 10	t (%d)	Pt 10	t (%d)	Pt 10
30 minutos	46.34	60 minutos	68.03	90 minutos	85.16	120 minutos	99.87
0.3	2.78	0.6	4.08	0.9	5.10	1.2	5.99
0.6	3.24	1.2	4.76	1.8	5.96	2.4	6.99
0.9	3.70	1.8	5.44	2.7	6.81	3.6	7.98
1.2	5.56	2.4	8.16	3.6	10.21	4.8	11.98
1.5	12.97	3	19.04	4.5	23.84	6	27.96
1.8	6.02	3.6	8.84	5.4	11.07	7.2	12.98
2.1	3.70	4.2	5.44	6.3	6.81	8.4	7.98
2.4	3.24	4.8	4.76	7.2	5.96	9.6	6.99
2.7	2.78	5.4	4.08	8.1	5.10	10.8	5.99
3	2.31	6	3.40	9	4.25	12	4.99

Cuadro 17. Hietogramas para un período de retorno de 10 años. Fuente: Elaboración propia con datos de Rojas (2006)

t (%d)	Pt 50	t (%d)	Pt 50	t (%d)	Pt 50	t (%d)	Pt 50
30 minutos	79.462	60 minutos	116.65	90 minutos	146.03	120 minutos	171.2
0.3	4.76	0.6	6.99	0.9	8.76	1.2	10.27
0.6	5.56	1.2	8.16	1.8	10.22	2.4	11.98
0.9	6.35	1.8	9.33	2.7	11.68	3.6	13.69
1.2	9.53	2.4	13.99	3.6	17.52	4.8	20.54
1.5	22.24	3	32.66	4.5	40.88	6	47.93
1.8	10.33	3.6	15.16	5.4	18.98	7.2	22.25
2.1	6.35	4.2	9.33	6.3	11.68	8.4	13.69
2.4	5.56	4.8	8.16	7.2	10.22	9.6	11.98
2.7	4.76	5.4	6.99	8.1	8.76	10.8	10.27
3	3.97	6	5.83	9	7.30	12	8.56

Cuadro 18. Hietogramas para un período de retorno de 50 años. Fuente: Elaboración propia con datos de Rojas (2006).

3.4 Modelación hidrológica e hidráulica

En el programa Hydrologic Modeling System (HEC-HMS), se procesaron los hietogramas con los siguientes resultados que se observan en las figuras 19-24, se definieron las áreas y las pendientes de cada subcuenca (Figura 8 y cuadro 14). Por medio del método de “SCS Curve Number”, que básicamente toma en cuenta la precipitación y la transforma en un caudal.

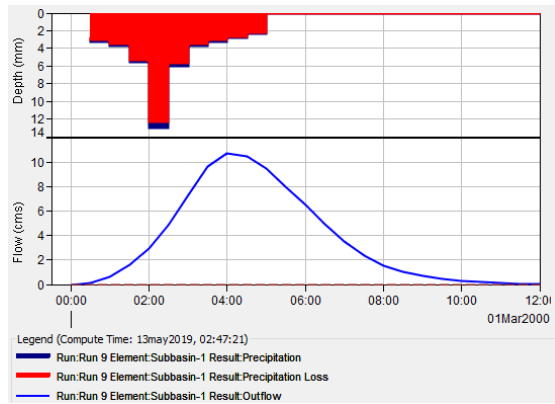


Figura 19. Pt de 10 años de 30 minutos.

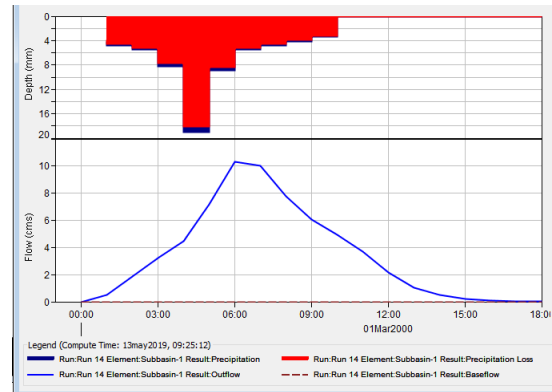


Figura 20. Pt de 10 años de 60 minutos.

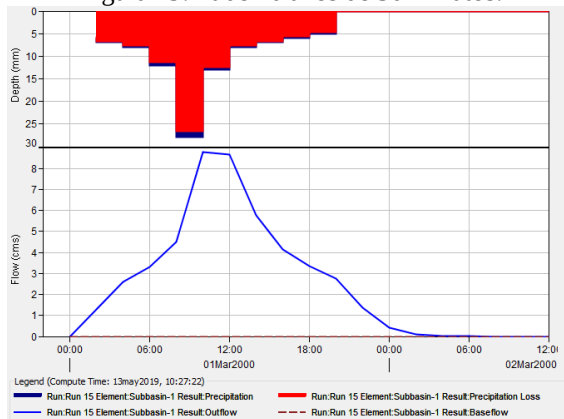


Figura 21. Pt de 10 años de 120 minutos.

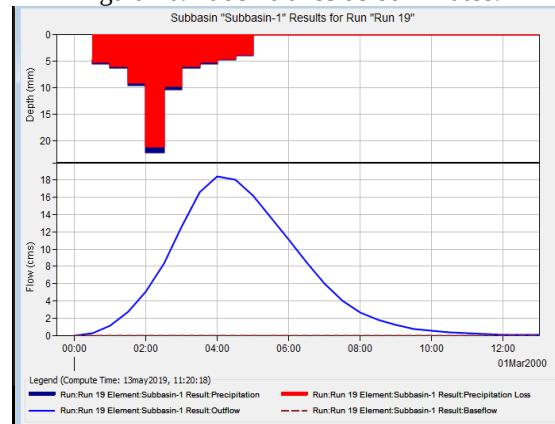


Figura 22. Pt de 50 años de 30 minutos.

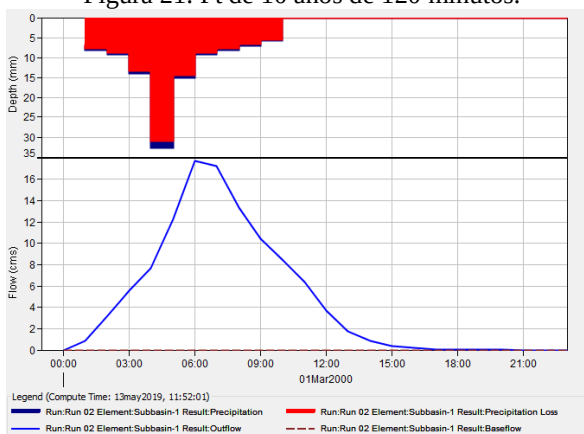


Figura 23. Pt de 50 años de 60 minutos.

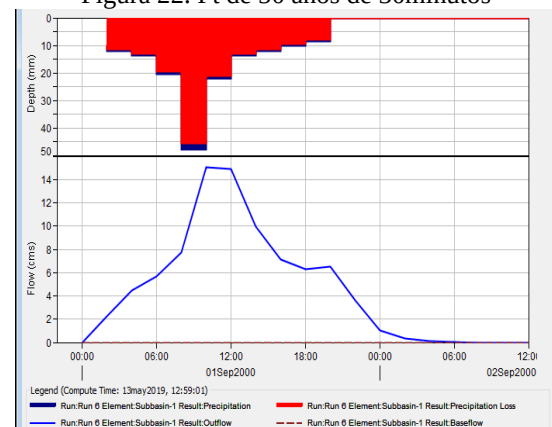


Figura 24. Pt de 50 años de 120 minutos.

Los hidrogramas muestran las pérdidas de precipitación en metros cúbicos sobre segundo y; se elaboraron a partir de los resultados que se obtuvieron en HEC-HMS (Anexos 1-5). Para esta evaluación sólo se utilizaron dos períodos de retorno de 10 y 50 años para un tiempo de 30 minutos. Ambos hidrogramas muestran un comportamiento de lluvia similar. Sin

embargo, para 50 pt alcanza los $18 \text{ m}^3/\text{s}$, siendo menor para 10 pt con $11 \text{ m}^3/\text{s}$ (ver figuras 25 y 26).

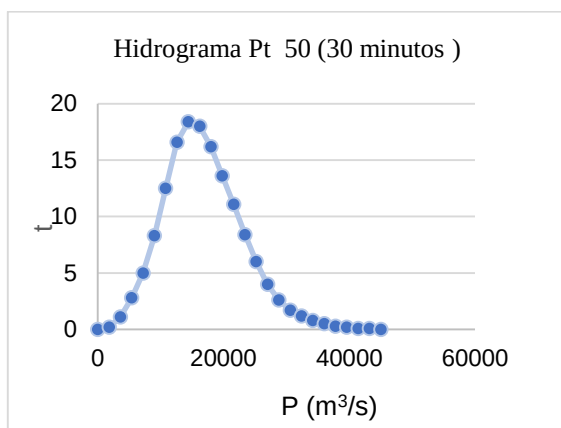


Figura 25. Hidrogramas para la ciudad de Xalapa Pt 50. Fuente: Elaboración propia

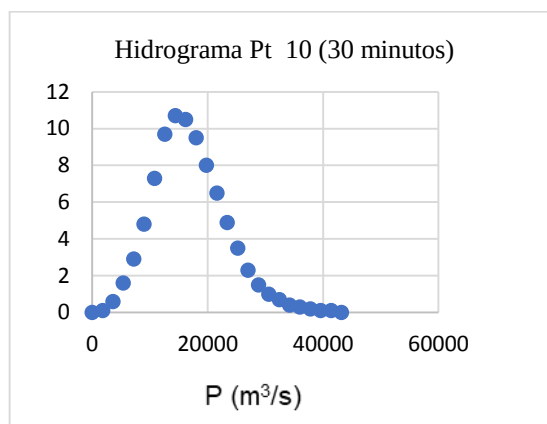


Figura 26. Hidrogramas para la ciudad de Xalapa Pt 10. Fuente: Elaboración propia

Cada hidrograma se procesó en las subcuencas que conforman la ciudad de Xalapa, donde se utilizó el MDE con 5 cm. En la siguiente figura 27 se muestra el modelado del terreno que se realizó en *Iber* (anexo 6-13). Para lo cual, se definió, la entrada y salida de hidrograma. Es decir, se ubica el punto más alto de la cuenca y la salida, así como el uso de suelo, se determinó el coeficiente Manning para áreas de infiltración.

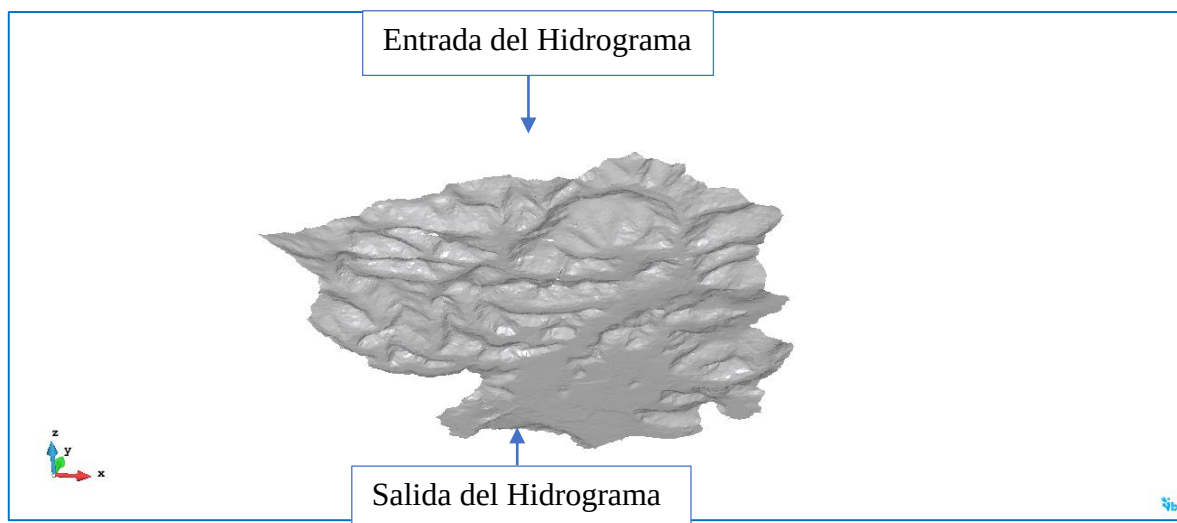


Figura 27: MDE de terreno con datos de Lidar con 5 cm de resolución. Fuente Elaboración propia.

3.5 Peligro de inundación y marginación a nivel AGEBS.

De acuerdo con el Consejo de Población de Vivienda (CONAPO, 2010), son 218 ABEGS urbanos que conforman la ciudad de Xalapa, de los cuales, sólo 20 presentan un índice de marginación muy alto, 55 índice medio y 49 muy bajo. Por lo que se puede decir, que -1.5 de marginación de la ciudad de Xalapa la cataloga con un grado de marginación muy bajo (figura 28).

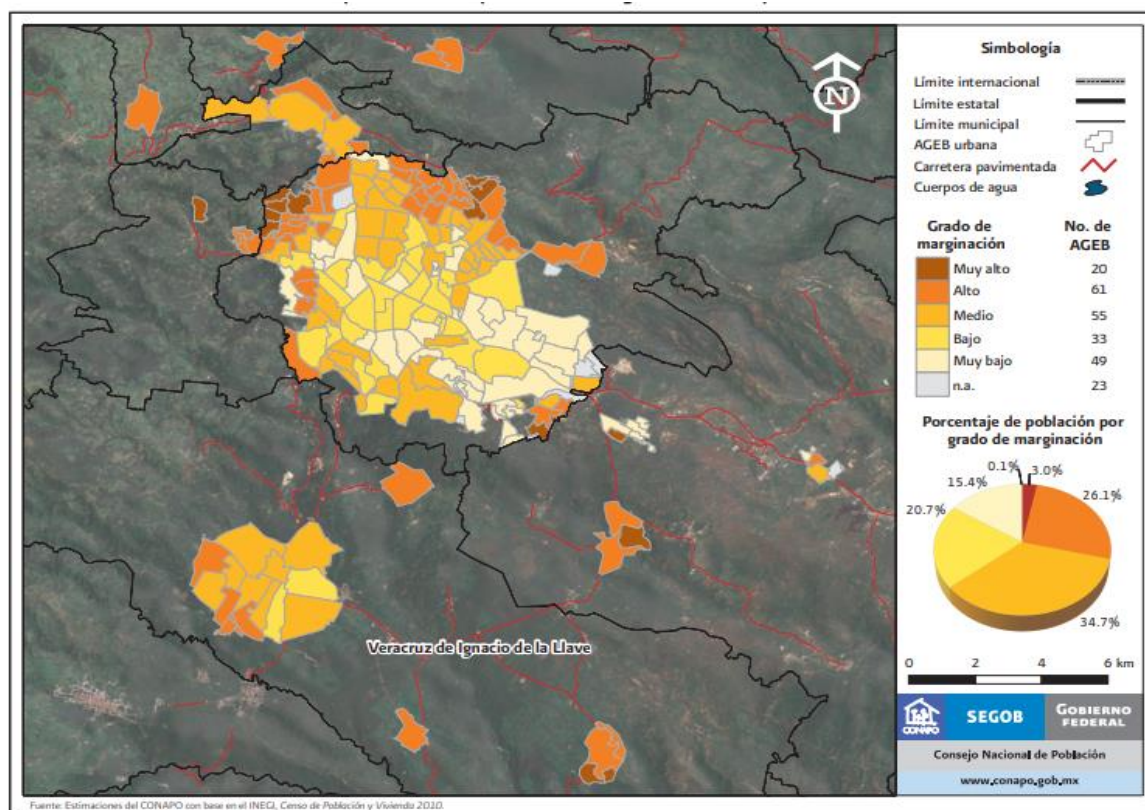


Figura 28. Grado de marginación Urbana en Xalapa, Veracruz por ABEGS Fuente: CONAPO, 2010

El peligro de inundación muestra las zonas y las alturas del agua de la ciudad de Xalapa, bajo una clasificación mostrando como mínimo, el primer intervalo de <1 a 30 cm, el segundo de 60 -100 cm y el tercero <100, para dos períodos de retorno de 10 y 50 años. Una vez establecidos los modelos hidráulicos para cada una de las subcuencas de la ciudad, se identificaron los AGEBS ubicados en zonas inundables.

Los resultados del peligro de inundación muestran lo siguiente: se observa que se tiene un área mayor de afectación con una lámina menores a 30 cm, para la lluvia de 50 pt, se asume un área de 1.3 km², mientras que, para la 10pt, afecta a 0.97 km², pero en áreas coinciden con la lámina de agua de 30 a 100 cm que corresponde a 0.63km². Se concluye de manera más puntual en los siguientes cuadros relacionados con la extensión y la marginación y la altura de inundación en los siguientes cuadros 19 y 20.

La ciudad de Xalapa se considera con índice de marginación muy bajo, de acuerdo con la CONAPO, sin embargo, las zonas que presentan inundación corresponden principalmente a índices de marginación muy alto, alto y medio (Figuras 29 y 30). Así mismo corresponden a colonias que han tenido un crecimiento desordenado y con carencias de servicios. El porcentaje de afectación a nivel AGEBS alcanza hasta 22% del área total máxima, pero en promedio se afecta de un 3% al 9%.

Altura de lámina de agua (cm)	50 años período de retorno (km)	Áreas de marginación y peligro				
		Muy alto	Alto	Medio	Bajo	Muy Bajo
<30	1.3	0.02	0.27	0.41	0.20	0.10
30-100	0.63	0.02	0.18	0.25	0.10	0.06
>100	0.34	0.002	0.07	0.18	0.06	0.01

Cuadro 19. Áreas de marginación y peligro de inundación de 50 pt para la ciudad de Xalapa, Veracruz.
Fuente: Elaboración propia.

Altura de lámina de agua (cm)	10 años período de retorno (km)	Marginación y peligro de inundación				
		Muy alto	Alto	Medio	Bajo	Muy Bajo
<30	0.97	0.01	0.25	0.41	0.18	0.09
30-100	0.63	0.05	0.20	0.25	0.10	0.05
>100	0.38	0.05	0.08	0.19	0.07	0.03

Cuadro 20. Áreas de marginación y peligro de inundación de 10 pt para la Ciudad de Xalapa, Veracruz.
Fuente: Elaboración propia.

Los mapas de peligro de inundación y la marginación en AGEBS (figuras 26 y 27), se observa que al norte de la ciudad se encuentran las colonias que presentan inundaciones y coincide con los datos históricos: La lagunilla, La Revolución, La Nacional, Carolino Anaya. Al Este se encuentran las colonias de Luz del Barrio, Los pinos, Veracruz y Salud para ambos periodos de retorno. Sin embargo, son colonia que presentan un índice de marginación Muy alto, Alto y Medio para ambos periodos de retorno, para 50pt aumenta en algunas zonas de inundación.

De acuerdo con la nueva propuesta de Ordenamiento territorial de la ciudad de Xalapa (2019); menciona que las colonias que constantemente presentan inundaciones corresponden al crecimiento desordenado de la población y además que presenta carencias de servicios que coinciden con el índice establecido por la CONAPO, puesto que son AGEBS con un índice de marginación muy alto. Significa que tiene carencia en educación; analfabetismos o personas que no cuenta con la primaria; A nivel vivienda; sin drenaje, agua entubada y sin piso de tierra y los ingresos monetarios son hasta dos salarios mínimos (CONAPO 2010).

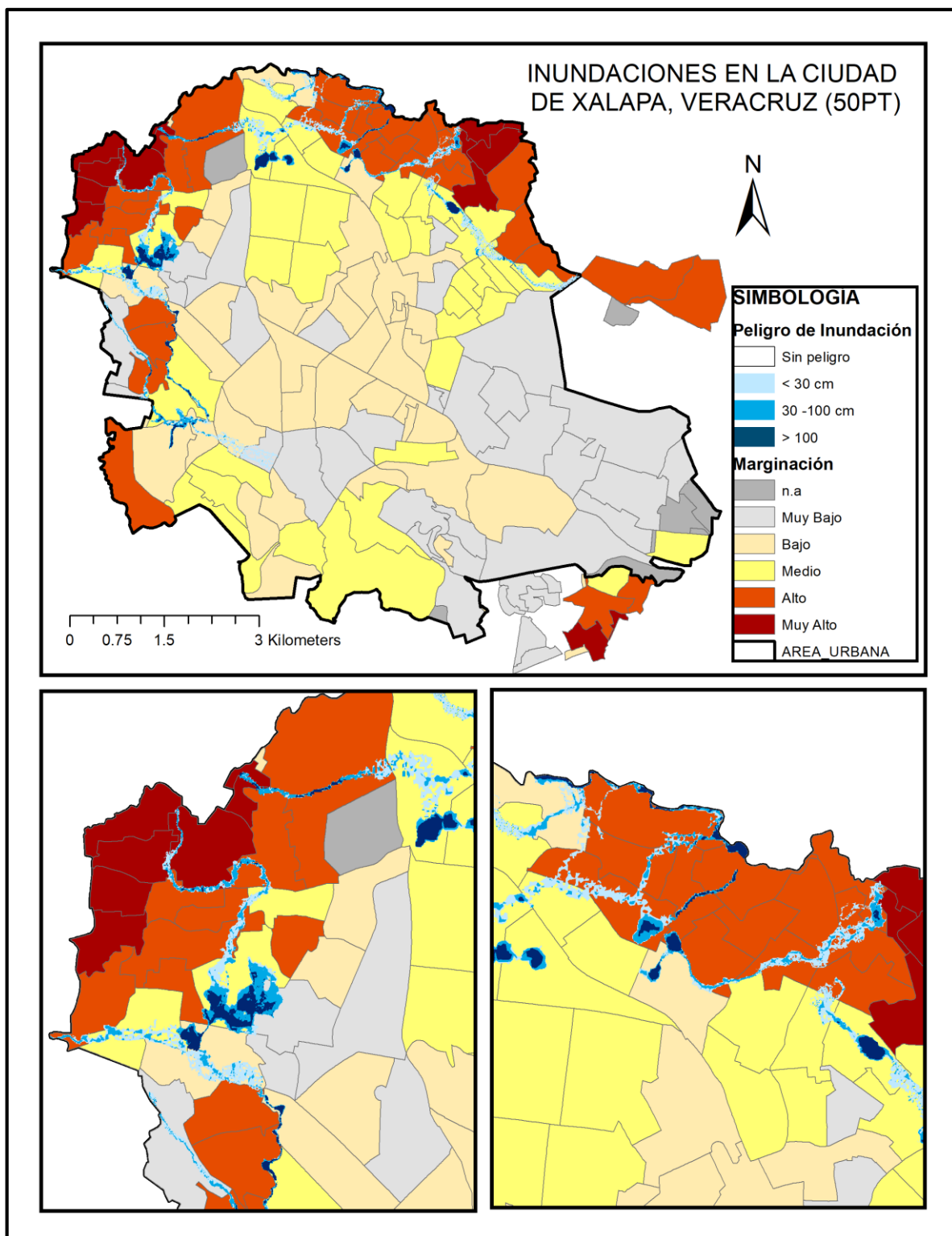


Figura 29. Peligro de inundación y marginación de 50 (pt) en la ciudad de, Veracruz. Fuente: elaboración propia

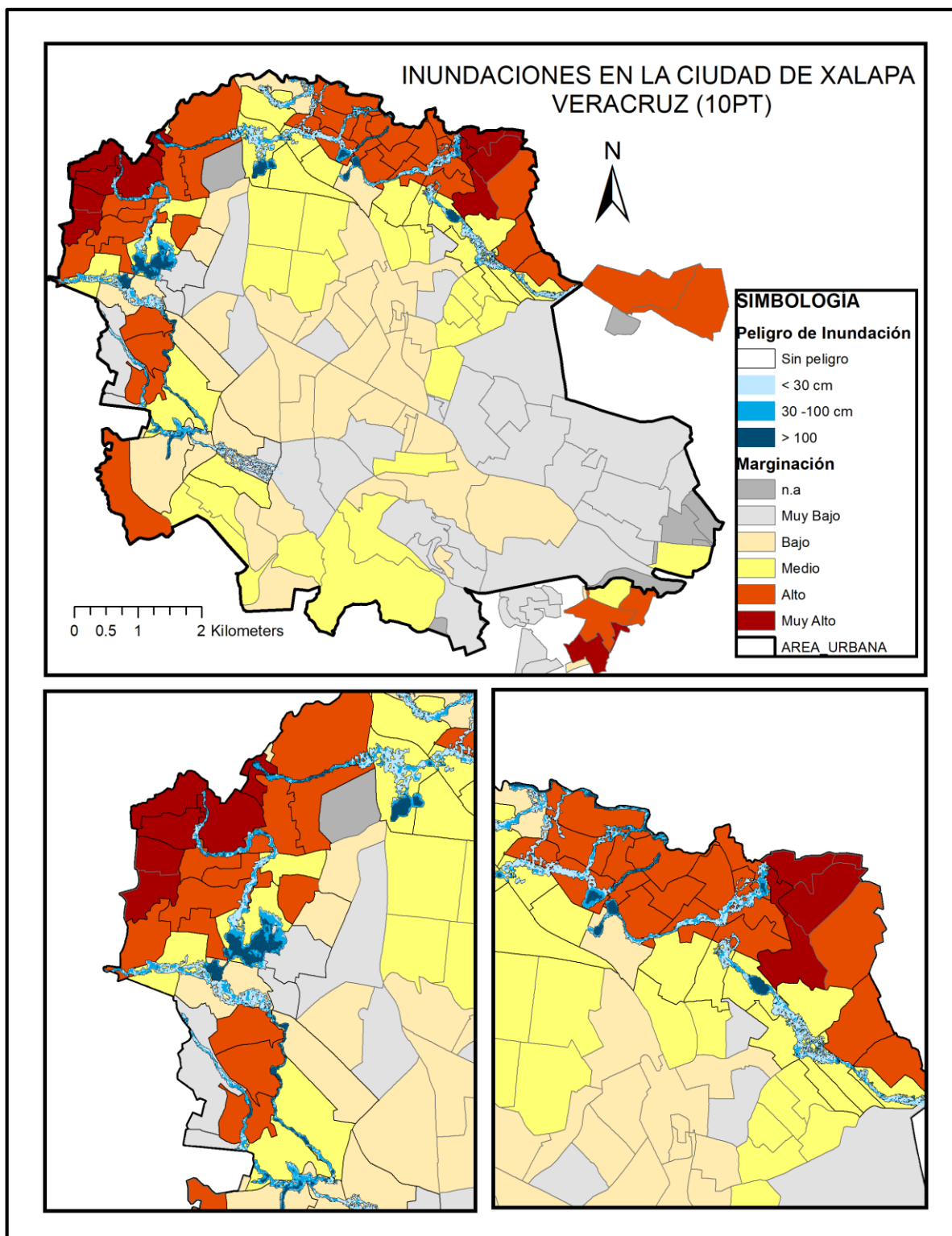


Figura 30. Peligro de inundación y marginación de 10 (pt) en la ciudad de Xalapa, Veracruz. Fuente: elaboración propia.

3.6 Curvas daños y altura de lámina de agua

Los daños pueden ser diversos, uno de ellos contemplar la pérdida de vidas humanas, los daños a las personas, como el número de heridos de mayor o menor gravedad, pero es difícil cuantificarlo, entonces suele centrarse en el primer aspecto, por lo tanto, se considera un daño directo intangible. Los daños económicos directos, son los ocasionados directamente por el impacto de la inundación y son los más visibles. Los daños económicos indirectos; se dan tras el impacto del evento y refleja la interrupción de la economía y otras actividades en la zona. Otros daños, son los medioambientales, el trastorno social, la pérdida de reputación, la afección al patrimonio histórico o culturales., todos ellos difícilmente cuantificables y por lo tanto tratados habitualmente de forma cualitativos (Escuder *et al.*, 2010). (ver cuadro 21).

	Tangibles	Intangibles
Directos	Viviendas Agricultura Infraestructura Instalaciones publicas Interrupción de negocios en el área inundada Operaciones de rescate y evacuación Reconstrucción Limpieza	Muertes Heridos Animales Servicios públicos y de comunicación Perdidas culturales e históricas Ambientales
Indirectos	Empresas fuera del área Producción fuera del área Viviendas temporales Sistemas de recursos hídricos Sistema eléctrico	Gobierno Trastorno social

Cuadro 21. Tipos daños. Fuente: (Escuder *et al.*, 2010).

La información a nivel AGEBS, cuenca con datos de los bienes a nivel vivienda, donde se calculó el valor correspondiente con base al costo de cada bien en pesos, de acuerdo con los precios promedios en el Índice Nacional de Precios (INPC) de INEGI (2019), basado en el trabajo de Baro *et al* 2011, quienes se determinaron el porcentaje de afectación de estos bienes en función del nivel alcanzado del agua dentro de la vivienda, sin embargo para este estudio únicamente se establecieron tres intervalos de la lámina de agua, para lo cual se consideró la altura de la lámina de agua de <30, 30-60 y >100 cm (ver cuadro 22). Únicamente se ocuparon esas alturas, puesto se los daños alcanzan 100 % de afectación o

pérdida total cuando se tiene una inundación de mayor que 100 cm. Esto realizó con el objetivo de tener una cuantificación más realista del valor del daño producido por el contacto directo con el agua, éste se multiplicó por el valor de cada uno de los bienes.

Bienes en vivienda a nivel AGEBS	Porcentaje de afectación por inundación de acuerdo con altura de la lámina de agua (cm)		
	<30	30-60	>100
Televisión	50	80	100
Radio	50	80	100
Computadora	50	80	100
Lavadora	40	80	100
Refrigerador	50	80	100
Automóvil	10	60	100

Cuadro 22. Porcentaje de afectación de acuerdo con altura de lámina de agua. Fuente: elaboración propia

Este análisis permitió cumplir con el último objetivo de esta tesis, que corresponde a una estimación económica del valor del daño producido por el contacto por el agua a nivel vivienda por la altura de la lámina de agua donde se obtuvieron las curvas de daños para pt de 50 y 10 años (ver cuadro 23).

AGEBS	PELIGRO DE INUNDACIÓN
Área de AGEBS (km ²)	% de área inundada
Número de Viviendas	% Viviendas
Bienes en la vivienda	% Bienes

Cuadro 23. Valoración daños. Elaboración propia

$$\sum \text{bienes en Agebs} * \text{Daño porcentual en bienes} = \text{Total de daños}$$

Los siguientes cuadros 24 y 25 muestran: los costos totales (precios promedio) por cada uno de los bienes dentro de la vivienda con respecto a la lámina de agua. Siendo el intervalo de (0.30-1.00 m) el mayor costo, debido a que ocupar mayor área y por lo tanto mayor cantidad de viviendas afectadas, sin embargo costo aumenta en bienes con la altura de 1.00 m puesto que se espera que la destrucción corresponde al 100%. La curva de calado-daños que relacionan la profundidad de la inundación con el grado de destrucción alcanzado.

Las diferencias son mínimas en daños debido a que modelo una tormenta de 30 minutos. Para la 50 pt la lluvia tiene un comportamiento gradual, sin embargo, para 10 pt aumenta la intensidad en los primeros minutos. Entonces, la variable de intensidad-duración de una tormenta representa elementos fundamentales para determinar la peligrosidad, además del terreno y determina la diferencia en los costos. Para ambos periodos de retorno se muestra un comportamiento gradual de costos, para esta curva únicamente se muestran cuatro puntos que corresponden a los tres intervalos de la clasificación respecto a la lámina de agua, donde cada intervalo muestra la sumatoria de los costos totales en todos los bienes. Entonces el comportamiento muestra los resultados de las curvas de daño (Ver figura 31 y 31)

, a una menor lámina de agua las consecuencias son menores, a partir de 0.60 metros las consecuencias se disparan hasta llegar a 1.00, se toma los daños constantes, pero el grados de destrucción va a depender de los materiales construcción, es por ello que la afectación es distinta. Por otro lado, existen otros elementos que pueden influir en estas curvas o las consecuencias, de acuerdo a (Baro *et al.*, 2010), se tienen tres:

1. **Tiempo de aviso:** donde los habitantes organizan las partencias en lugares altos.
2. **Duración de la tormenta:** lo daños pueden aumentar por el deterioro producido por el agua.
3. **Velocidad del agua:** la dinámica de los movimientos del agua puede causar daños a las estructuras y la profundidad.

Altura de la lámina de agua (cm)	Costo de los Bienes en (MXN) 50 pt					
	Refrigerador	Lavadora	Automóvil	Radio	Televisión	Computadora
0.01-0.30	\$5,777,319.66	\$5,416,595.48	\$23,775,399.57	\$1,065,073.48	\$4,727,814.82	\$5,103,469.73
0.30-1.00	\$5,057,096.90	\$5,883,343.32	\$76,021,113.08	\$950,837.57	\$4,207,109.70	\$4,188,337.71
>1.01	\$3,405,521.38	\$3,964,464.30	\$65,745,596.55	\$636,774.03	\$2,824,582.23	\$2,735,748.24

Cuadro 24. Costo para 50 pt. Fuente: elaboración propia

Altura de la lámina de agua (cm)	Costo de los Bienes en (MXN) 10 pt					
	Refrigerador	Lavadora	Automóvil	Radio	Televisión	Computadora
0.01-0.30	\$5,617,546.54	\$5,265,928.33	\$23,111,018.22	\$1,033,765.18	\$4,590,613.05	\$4,963,991.78
0.30-1.00	\$5,156,453.79	\$5,979,189.29	\$77,212,822.10	\$970,062.88	\$4,297,741.77	\$4,224,983.13
>1.01	\$3,649,341.91	\$4,267,606.54	\$71,777,269.47	\$680,766.88	\$3,015,948.56	\$3,002,092.96

Cuadro 25. Costo para 10 pt. Fuente: elaboración propia

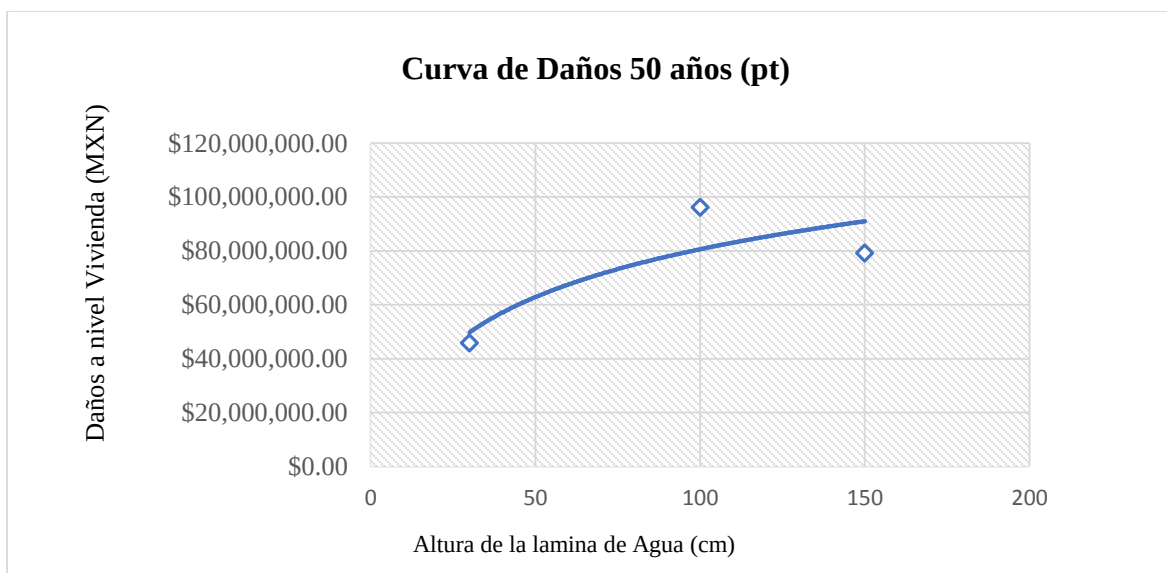


Figura 31. Curva de daños de 50 pt. Fuente: elaboración propia

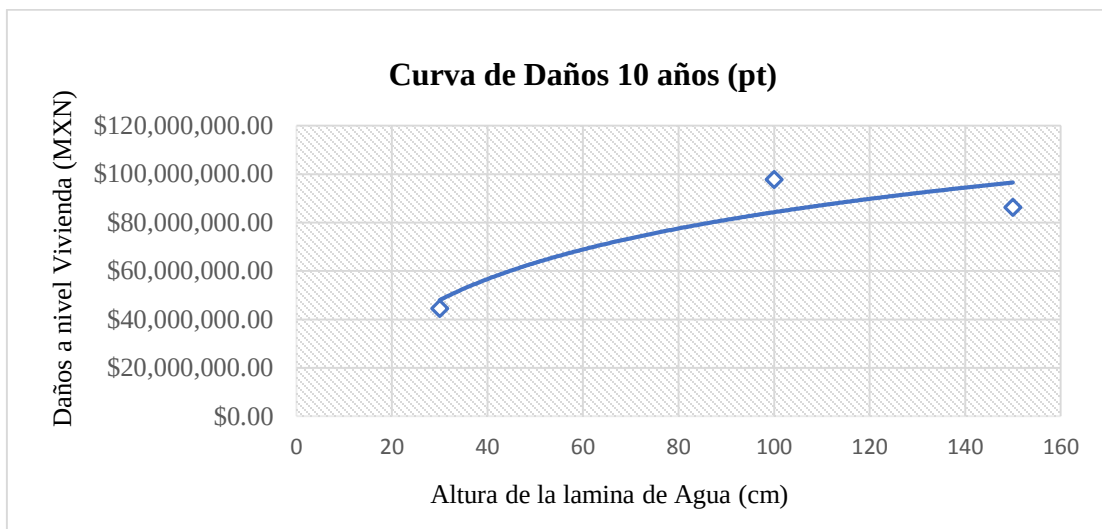


Figura 32. Curva de daños de 10 años (pt). Fuente: elaboración propia.

4. CONCLUSIONES

A nivel internacional se reconoce la necesidad de llevar a cabo el análisis de riesgo de inundación, pero es necesario reforzar los procesos para el resto de los países con el propósito de generar información integrada y sistemática de forma que permita la mitigación de las amenazas naturales, puesto que en los últimos años ha ganado mucha importancia por su frecuencias y los daños provocados, sin embargo se busca una implementación basada en aspectos como la sostenibilidad, participación ciudadana y resiliencia. El análisis de riesgo ha puesto un cambio de paradigma que ha permitido avanzar en la evaluación y gestión de riesgos de inundación. El análisis espacio-temporal que sirve como herramienta de planeación a nivel local y estatal, además ser útiles en todas las fases de prevención, emergencia, rehabilitación y reconstrucción. Los componentes de probabilidad, peligro y vulnerabilidad son elementos esenciales y se pueden adaptar a cualquier análisis de riesgos por inundación y no sólo para el caso de la ciudad de Xalapa.

Cuando se habla de desastre por inundación se espera que se derive una gama de consecuencias, entre ellos daños económicos, sociales, políticos, psicológicos, ecológicos y ambientales (Baró & Díaz, C, Ceballos, 2016). Pero lo importante es definir los daños provocados en daños tangibles e intangibles, directos e indirectos; (Jonkman, 2007; Nascimento *et al.*, 2007; Parker, Green y Thompson, 1987; Smith y Greenaway, 1994 en Baro *et al.*, 2016). Las estimaciones por daños económicos han tomado gran importancia los últimos años principalmente en países en desarrollo, como es el caso de México (Baró, 2010; Merz, *et al.*, 2010). El cálculo de los costos directos se puede cuantificar con mayor facilidad que los costos indirectos, puesto que las inundaciones consideran variables de Intensidad-Duración de una tormenta. Mientras que los daños tangibles directos e indirectos representa un alto grado de complejidad, ya que se debe agregar el valor a la vida humana, estrés, ansiedad, daños a la salud e interrupción de servicios (Merz *et al.*, 2010). La estimación de los daños indirectos es muy complicada y compleja, por los diversos factores que intervienen, como es el factor tiempo, ya que, a diferencias de consecuencias directas, los daños aparecerían dilatados en el tiempo (Merz *et al.*, 2010).

El modelo para estimar los daños provocados a nivel vivienda, costos de los picos de crecidas, es fundamental para la toma de decisiones en el desarrollo de políticas públicas, relacionadas

con la prevención de desastres, naturales, ordenamientos territoriales y los planes de adaptación ante el cambio climático (Castillo & Bueno, 2017; Merz *et al.*, 2010; Escuder *et al.*, 2010). La propuesta metodológica con los modelos hidráulicos e hidrológicos resulta fundamental puesto que ambos análisis se realizan a nivel de cuencas hidrológicas bajo un modelo de elevación de la superficie que permite conocer a la superficie del área de la lámina de agua y la profundidad de una inundación. Sin embargo, la falta de información de uso de suelo es crucial para la estimación de los daños y costos que genera cada tipo de inundación.

Por otro lado, la calidad de los resultados obtenidos depende de los datos de entrada en el proceso. La aplicación de cada uno de los modelos es muy compleja y ambiciosa puesto que se requiere una evaluación a nivel de cuencas, donde lo ideal sería contar con mapas de peligro para distintos periodos de retorno de 100, 200 y 500 años. Además de contar con Observatorios Hidrológicos a nivel de cuencas como el del Instituto de Ingeniería de la UNAM que cuenta con 55 estaciones para monitorear en tiempo real la precipitación en la CDMX. Permitiría la estimación de los daños provocados a nivel vivienda, costos de los picos de crecidas, resultando una herramienta fundamental para la toma de decisiones en el desarrollo de políticas públicas para la prevención de desastres, naturales, ordenamientos territoriales y los planes de adaptación ante el cambio climático (Tamara, Rodr, & Bueno, 2017; Merz, *et al.*, 2010; Escuder-bueno, I. Morales, A Castillo, 2010).

5. BIBLIOGRAFÍA

- Aich,V., Liersch,S., Vetter, T.,Andersso, J., Muller, E., Hattermann, F. (2015).Climate or land use? attribution of changes in river flooding in the Sahel Zone. Water .2796 p.
- Allan, L. (1996). Degradación Ambiental, riesgo y desastre urbano. Problemas y Conceptos: hacia la definicion de una agenda de investigación. America Latica: La Red.
- Armah F., Yawson, D., Yengoh,Gt., Odoi, J., Afrifa, E. (2010). Impact of floods on livelihoods and vulnerability of natural resource dependent communities in Northern Ghana. Water 2:120-139.
- Arnell, N.W & Gosling, S.N. (2016). The impacts of climate change on river flood risk at the global scale. ClimChange 134:387–401. doi:10.1007/s10584-014-1084-5.
- Ayala, F. & Olcina, J. (2002). Introducción al análisis y gestión de los riesgos. En F.J. Ayala Carcedo, y J. Olcina Cantos, (Coords). Riesgos naturales. Barcelona. 133-144 pp.
- Atlas de Peligros Naturales y Antropogénicos del Municipio de Xalapa, Veracruz, 2009. Gobiernos del Estado de Veracruz. México.
- Baró, E., Diaz, C., Ceballos, A. (2016). Estimación de pérdidas económicas directas provocadas por inundación. aplicación de las curvas inundación-daños en países en desarrollo. Investigaciones Geograficas. Universidad de Alicante. No.65. pp. 169 – 180. ISSN: 0213 - 4691. eISSN: 1989 - 9890. DOI <http://dx.doi.org/10.14198/INGEO2016.65.10> Investigaciones.
- Baró-Suárez, J. E., Díaz-Delgado, C., Calderón-Aragón, G., Esteller-Alberich, M. V., & Cadena-Vargas, E. (2011). Costo más probable de daños por inundación en zonas habitacionales de México. Tecnología y Ciencias Del Agua. 2(3), 201–218.
- Bitrán D. (2001). Características del impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México en el período 1980-99. Secretaría de gobernación y centro nacional de prevención de desastres. 107 pp.

- Bockarjova, M., Steenge, A. E., and van der Veen, A. (2007). Structural economic effects of large-scale inundation, in: Flood risk management in Europe, edited by: Begum, S., Stive, M. J. F., and Hall, J. W., Innovation in policy and practise, Advances in Natural and Technological Hazards Research, Springer, Dordrecht, The Netherlands. 131-154.
- Bulkeley, H., Schroeder, H., Janda, K., Zhao, J., Armstrong, A., Chu, S.Y., Ghosh, S. (2011). The role of institutions, governance, and urban planning for mitigation and adaptation. *Cities Clim.*
- Castillo-rodríguez, J. T., Escuder-bueno, I., Perales-momparler, S., Analysis, R., Puerto, A., Management, G. B., ... Ajuntament, P. (2016). Enhancing local action planning through quantitative flood risk analysis: a case study in Spain, 1699–1718. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-1699-2016>
- Cardona, O. D. (1993). Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo. Elementos para el ordenamiento y la planeación del desarrollo”. En: Los desastres no son naturales. Compilador: Andrew Maskrey. Bogotá, Colombia.
- Cavazos, T. (Ed.), (2015): Conviviendo con la Naturaleza: El problema de los desastres asociados a fenómenos hidrometeorológicos y climáticos en México. REDESClim, México, Ediciones ILCSA, 143 pp.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). (2006). Conceptos Básicos sobre Peligro Riesgo y su Representación Geográfica en: Guía Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. 87 p.
- Comisión Nacional del Agua (2008). Comunicado de prensa No. 129-08. México, DF.
- CONAGUA (2018). Normales Climatológicas. Estación de Xalapa 1980-2010. Información Estadística Climatológica. México.
- CONAGUA (2018). Normales Climatológicas. Estación de Coatepec (1980-2010). Información Estadística Climatológica. México.
- CONAGUA (2018). Normales Climatológicas. Estación de Emiliano Zapata (1980-2010). Información Estadística Climatológica. México.

- CONAGUA (2018). Normales Climatológicas. Estación de Banderilla (1980-2010). Información Estadística Climatológica. México.
- CONAPO. (2012). Capítulo 1. Concepto y dimensiones de la marginación. México. 11 - 16.
- Conde, C., Palma, B. (2005). Escenarios de riesgos para el territorio Veracruzano ante un posible cambio climático.
- Daly, H. E. (2004)). Ecological economics. Principles and applications.
- Delacámara, G. (2008). Guía para decisores Análisis económico de externalidades ambientales. (N. Unidas, Ed.) (Comisión E). Santiago de Chile.
- Dettmer, J. (2002). Educación y desastres: reflexiones sobre el caso de México. Revista Latinoamérica de Estudios educativos. México. Vol XXXII, num 2. ISSN 0185-1284. Pp 43-72.
- Diamond, J. (2005) Collapse. How Societies Choose to Fail or Succeed. Peinguin Group, New York, NY, pp. 575.
- Djalante, R., Holley, C., Thomalla, F., Carnegie, M. (2013). Pathways for adaptive and integrated disaster resilience. Natural Hazards. 2105 - 2135.
- Desinventar (2018). Sistema de inventario de efectos de desastres. Bases de datos de inundaciones 1950-2016. <https://www.desinventar.org/es/>
- Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente (OEA). (1993). Definición de llanuras e inundaciones y evaluación del peligro de inundaciones. Secretaria Ejecutiva para Asuntos Económicos y Sociales. Washington. D.C. US.
- EM-DAT (2009). The international disaster database. Emergency Events Database. Université Catholique de Louvain, Brussels. Centre for research on the epidemiology of disaster (CRED) Disponible para World Wide Web: www.emdat.be.
- EM-DAT (2018). Natural Disaster an Opportunity to Prepare. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). Natural Disasters 2018. https://emdat.be/sites/default/files/adsr_2018.pdf

- Escuder-Bueno, I., Zechner, S., Petaccia, G. (2012). System Sciences A quantitative flood risk analysis methodology for urban areas with integration of social research data, 2843–2863. <https://doi.org/10.5194/nhess-12-2843-2012>
- Escuder, I., Torres, A. M. Morales, T.A., Castillo, J.T. Altarejos, G. L. (2013). Metodología completa y cuantitativa de análisis del riesgo de inundación en zonas urbanas. Universidad Politécnica de Valencia. España. SBN: 978-84-9048-121-9.
- Escuder, I., Morales, A., Castillo, J., T. Perales, S. (2010). SUFRI Strategies of Urban Flood Risk Management. Universidad Politécnica de Valencia. Instituto de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente. España. 182p.
- Estrada, V., Pacheco, Mo, R. M. (2012). Modelación hidrológica con HEC-HMS en cuencas montañosas de la región oriental de Cuba Hydrological modeling with HEC-HMS in mountainous basins of, XXXIII(1), 94–105.
- Calvo-Rubio, Francisco. (2000). Necesidad de una visión integral del problema de inundaciones. Riesgos de Inundación y Régimen Urbanístico del Suelo. Consorcio de Compensación de Seguros. 357p.
- Garay, D., Nicolás, J., Agüero, G. (2018). Delimitación Hidrográfica y Caracterización Delimitación Hidrográfica y Caracterización Morfométrica de la Cuenca del Río Anzulón.
- García-Cueto, R., T. Cavazos, P. de Grau., Santillán, N. (2014) Analysis and modeling of extreme temperatures in several cities in northwestern Mexico under climate change conditions. Theoretical and Applied Climatology. DOI: 10.1007/s00704-013-0933-x, Online ISSN 1434-4483.
- Garay, D., Nicolás, J., Agüero, G. (2018). Delimitación Hidrográfica y Caracterización Delimitación Hidrográfica y Caracterización Morfométrica de la Cuenca del Río Anzulón.
- Garnica, R. & Alcantara, I. (2004). Riesgos por inundación asociados a eventos de precipitación extraordinaria en el curso bajo del río Tecolutla, Veracruz.

- Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM ISSN 0188-4611, Núm. 55, pp.
- Georgescu-Roegen, N. (1979) Energy analysis and economic valuation. *Southern Economic Journal* 1023 -1058.
- INEGI (2010). Censos de Población y Vivienda 2010. Xalapa, Veracruz. México.
- INEGI (2016). Anuario Estadístico y Geográfico de Veracruz de Ignacio de la Llave (2016). Municipio de Xalapa, Veracruz. México.
- INEGI (2018). Cartas Topográficas E1416B
- Lamond, J., & Penning-rowsell, E. (2014). Climate Risk Management The robustness of flood insurance regimes given changing risk resulting from climate change. *Climate Risk Management*, 2, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2014.03.001>
- Lavell, A., M. Oppenheimer, C. Diop, J. Hess, R. Lempert, J. Li, R. Muir-Wood, and S. Myeong. (2012). Climate change: new dimensions in disaster risk, exposure, vulnerability, and resilience. En: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J.Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. 29. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- Magaña, V. O., J. L. Vazquez, J. L. Perez, and J. B. Perez, 2003: Impact of El Nino on precipitation in México. *Geosica Internacional*, 42, 313-330.
- Masanilla, L. (1997) Early urban societies: challenges and perspectives. En: *Emergence and Change in Early Urban Societies* [L. Masanilla, Ed.], Springer, New York, NY, pp. 316.
- Machuca, Breña, R. O. (2014). *Viviendas Por Inundaciones Durante La Ocurrencia Del Fenómeno El Niño: Caso Norte Peruano* ”. Universidad Nacional del Callao. Peru. 109p.

- Messner, F., Meyer, V. (2005). Flood damage, vulnerability and risk perception challenges for flood damage research. En UFZ Discussion Paper 13/2005. 24. Recuperado de https://www.ufz.de/export/data/2/26222_Disk_Papiere_2005_13.
- Merz, B., Kreibich, H., Schwarze, R., & Thieken, A. (2010). Review article “assessment of economic flood damage.” *Natural Hazards and Earth System Science*, 10(8), 1697–1724. <https://doi.org/10.5194/nhess-10-1697-2010>
- Moguel, A., Tejeda Martínez, A., Garcia, V. (2012). Propuesta para evaluación de riesgos por inundación: caso Xalapa Veracruz. En Tejeda Martínez, Virgilio Arenas, Las inundaciones 2010 en Veracruz. La biosfera, escenarios y herramientas, Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico, Mexico
- Cuadernillos Municipales, C. (2016). Xalapa. Sistema de Información Municipal, Xalapa, Veracruz. Gobierno del Estado de Veracruz. <http://ceieg.veracruz.gob.mx/wpcontent/uploads/sites/21/2016/05/Xalapa.pdf>
- Naredo, J. (2002). Economía y sostenibilidad: la economía ecológica en perspectiva. *Polis Revista Latinoamericana*. <http://journals.openedition.org/polis/7917>
- Nosetto, M., Jobba'gy, E., Brizuela, A., Jackson, R. (2012). The hydrologic consequences of land cover change in central Argentina. *Agric Ecosyst Environ.* 2 – 11
- Osorio, J., Correa, F. (2004). Valoración económica de costos ambientales: marco conceptual y métodos de estimación. *Semestre Económico*. Medellin, Colombia. vol. 7, núm. 13. pp. 159-193.
- Plan de Acción Climática Municipal Xalapa Enriquez. (PACMUN, 2014). ICLEI-Gobiernos Locales por la Sustentabilidad. Instituto Nacional de Ecología Secretaría de Medio Ambiente. Gobierno del Estado de Veracruz. Consultora de Mitigación de Cambio Climático en la Unidad de Cambio Climático. México. 97p.
- Plan de Acción Territorial de Carácter Sectorial sobre Prevención de Riesgo de Inundación en la Comunidad Valenciana (PATRICOVA). (2002) Conselleria d'Obres Públiques, Urbanisme i Territori, Valencia, Spain.

- Perman, R., Ma, Y., McGilvray, J., & Common, M. (2002). Natural Resource and Environmental Economics.
- Portilla, E., Sánchez, A., Hernández, D. (2005). Impacto de los huracanes en la biodiversidad del estado de Veracruz.
- Provencio, E., Giner de los Rios, F., Vega, E., Carbias, J. (1997). Economía Ambiental: lecciones de América Latina (Instituto). Mexico.
- García, R. A (2006). Hietogramas de diseño en zonas urbanas. División de Ciencias Básicas e Ingeniería Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica Ingeniería Hidrológica Proyecto. Casa Abierta al Tiempo. 76p.
- Rosales, J., Uribe, J., Urban, G., Hiparco, E. (2004). Guía metodológica para la elaboración de atlas de peligros naturales a nivel de ciudad. Subsecretaría De Desarrollo Urbano Y Ordenación del Territorio. Dirección General de Desarrollo Territorial. en Convenio de Colaboración con El Consejo de Recursos Minerales Subdirección de Investigación y Planeación.
- Rose, A. (2004). Economic Principles, Issues, and Research Priorities in Hazard Loss Estimation. In: Okuyama Y., Chang S.E. (eds) Modeling Spatial and Economic Impacts of Disasters. Advances in Spatial Science. Springer, Berlin, Heidelberg
- Samuels, P., & Gouldby, B. (2005). FLOODsite Integrated Flood Risk Analysis and Management Methodologies: Language of Risk.
- Schanze, J., Zeman, E., Marsalek, J. (2006). Flood Risk Management: Hazards, Vulnerability, and Mitigation Measures. Springer, Dordrecht.
- Schanze, J., Zeman, E., Marsalek, J. (2006). Flood Risk Management: Hazards, Vulnerability, and Mitigation Measures. Springer, Dordrecht.
- Schipper L & Pelling, M. (2006) Disaster risk, climate change and international development: scope for, and challenges to, integration. Disasters 30:19–38
- Tejeda, A., Mora, I., Jáuregui, compiladores. (1995). La Ciencia y Hombre No 21. Número monotemático sobre riesgo por fenómenos naturales en el estado de Veracruz. 253 p.

- Témez, J. R. (2000) Áreas Inundables, Zonas de Dominio Público y Zona de Política. Riesgos de Inundación y Régimen Urbanístico del Suelo. Consorcio de Compensación de Seguros. Pag. 51-74.
- Van der Veen, A., Logtmeijer, C. (2005). Economic hotspots : visualizing vulnerability to flooding, Nat. Hazards. 65-80.
- Venkatachalam, I. (2007). La economía ambiental y la economía ecológica: ¿Donde pueden converger? Elsevier B.V.
- Winsemius, H.C., Aerts, J., Ludovicus, P. H., Van Beek, F.P. Bierkens, Bouwman, A., Jongman, B., Kwadijk, J., Ligtoet, P. L. Lucas, Detlef, P. Vuuren, J. W. (2016) Global drivers of future river flood risk. Nature Clim Change. Macmillan Publishers Limited. 41 p.

ANEXOS

Anexo 1. Hidrograma Pt 10 (30 minuto)					
Precipitación (MM)	Pérdida (MM)	Exceso (MM)	Flujo Directo (m3/s)	Flujo Base (m3/s)	Total Flujo (m3/s)
2.78	2.64	0.14	0.1	0	0.1
3.24	3.08	0.16	0.6	0	0.6
3.71	3.52	0.19	1.6	0	1.6
5.56	5.28	0.28	2.9	0	2.9
12.98	12.33	0.65	4.8	0	4.8
6.02	5.72	0.3	7.3	0	7.3
3.71	3.52	0.19	9.7	0	9.7
3.24	3.08	0.16	10.7	0	10.7
2.78	2.64	0.14	10.5	0	10.5
2.32	2.2	0.12	9.5	0	9.5
0	0	0	8	0	8
0	0	0	6.5	0	6.5
0	0	0	4.9	0	4.9

0	0	0	3.5	0	3.5
0	0	0	2.3	0	2.3
0	0	0	1.5	0	1.5
0	0	0	1	0	1
0	0	0	0.7	0	0.7
0	0	0	0.4	0	0.4
0	0	0	0.3	0	0.3
0	0	0	0.2	0	0.2
0	0	0	0.1	0	0.1
0	0	0	0.1	0	0.1
0	0	0	0	0	0

Anexo 2

Anexo 2. Hidrograma Pt 10 (60 minutos)					
Precipitación (MM)	Pérdida (MM)	Exceso (MM)	Flujo Directo (m3/s)	Flujo Base (m3/s)	Total de Flujo (m3/s)
4.08	3.88	0.2	0.5	0	0.5
4.76	4.52	0.24	1.9	0	1.9
5.44	5.17	0.27	3.2	0	3.2
8.16	7.76	0.41	4.5	0	4.5
19.05	18.1	0.95	7.2	0	7.2
8.84	8.4	0.44	10.3	0	10.3
5.44	5.17	0.27	10	0	10
4.76	4.52	0.24	7.8	0	7.8
4.08	3.88	0.2	6.1	0	6.1
3.4	3.23	0.17	4.9	0	4.9
0	0	0	3.7	0	3.7
0	0	0	2.2	0	2.2
0	0	0	1	0	1
0	0	0	0.5	0	0.5
0	0	0	0.2	0	0.2
0	0	0	0.1	0	0.1

0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

Anexo 3. Hidrograma Pt 10 (120 minutos)					
Precipitación (MM)	Pérdida (MM)	Exceso (MM)	Flujo Directo (m3/s)	Flujo Base (m3/s)	Total de Flujo (m3/s)
5.99	5.69	0.3	1.3	0	1.3
6.99	6.64	0.35	2.6	0	2.6
7.99	7.59	0.4	3.3	0	3.3
11.98	11.39	0.6	4.5	0	4.5
27.96	26.57	1.4	8.8	0	8.8
12.98	12.33	0.65	8.7	0	8.7
7.99	7.59	0.4	5.8	0	5.8
6.99	6.64	0.35	4.1	0	4.1
5.99	5.69	0.3	3.3	0	3.3
4.99	4.74	0.25	2.8	0	2.8
0	0	0	1.4	0	1.4
0	0	0	0.4	0	0.4
0	0	0	0.1	0	0.1
0	0	0	0	0	0

Anexo 4. Hidrograma Pt 50 (30 minutos)					
Precipitación (MM)	Pérdida (MM)	Exceso (MM)	Flujo Directo (m3/s)	Flujo Base (m3/s)	Total de Flujo (m3/s)
4.77	4.53	0.24	0.2	0	0.2
5.56	5.28	0.28	1.1	0	1.1
6.36	6.04	0.32	2.8	0	2.8
9.54	9.06	0.48	5	0	5
22.25	21.14	1.11	8.3	0	8.3
10.33	9.81	0.52	12.5	0	12.5
6.36	6.04	0.32	16.6	0	16.6
5.56	5.28	0.28	18.4	0	18.4
4.77	4.53	0.24	18	0	18
3.97	3.77	0.2	16.2	0	16.2
0	0	0	13.6	0	13.6
0	0	0	11.1	0	11.1
0	0	0	8.4	0	8.4

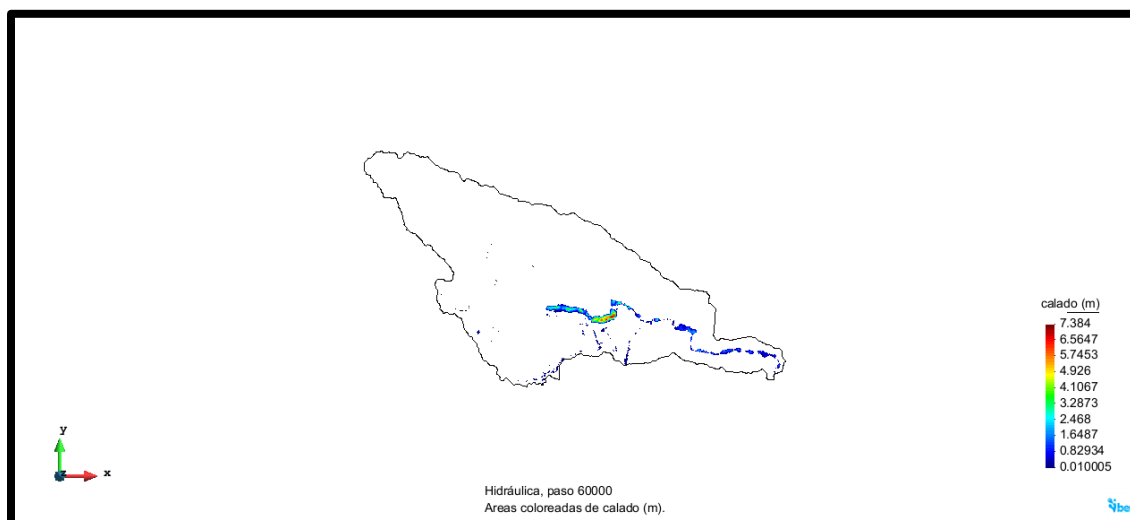
0	0	0	6	0	6
0	0	0	4	0	4
0	0	0	2.6	0	2.6
0	0	0	1.7	0	1.7
0	0	0	1.2	0	1.2
0	0	0	0.8	0	0.8
0	0	0	0.5	0	0.5
0	0	0	0.3	0	0.3
0	0	0	0.2	0	0.2
0	0	0	0.1	0	0.1
0	0	0	0.1	0	0.1
0	0	0	0	0	0

Anexo 5. Hidrograma Pt 50 (60 minutos)					
Precipitación (MM)	Pérdida (MM)	Exceso (MM)	Flujo Directo (m3/s)	Flujo Base (m3/s)	Total de Flujo (m3/s)
			0	0	0
7	6.65	0.35	0.8	0	0.8
8.17	7.76	0.41	3.2	0	3.2
9.33	8.87	0.47	5.5	0	5.5
14	13.3	0.7	7.7	0	7.7
32.66	31.03	1.63	12.3	0	12.3
15.16	14.41	0.76	17.7	0	17.7
9.33	8.87	0.47	17.2	0	17.2
8.17	7.76	0.41	13.3	0	13.3
7	6.65	0.35	10.4	0	10.4
5.83	5.54	0.29	8.4	0	8.4
0	0	0	6.3	0	6.3
0	0	0	3.7	0	3.7
0	0	0	1.8	0	1.8
0	0	0	0.9	0	0.9
0	0	0	0.4	0	0.4
0	0	0	0.2	0	0.2
0	0	0	0.1	0	0.1

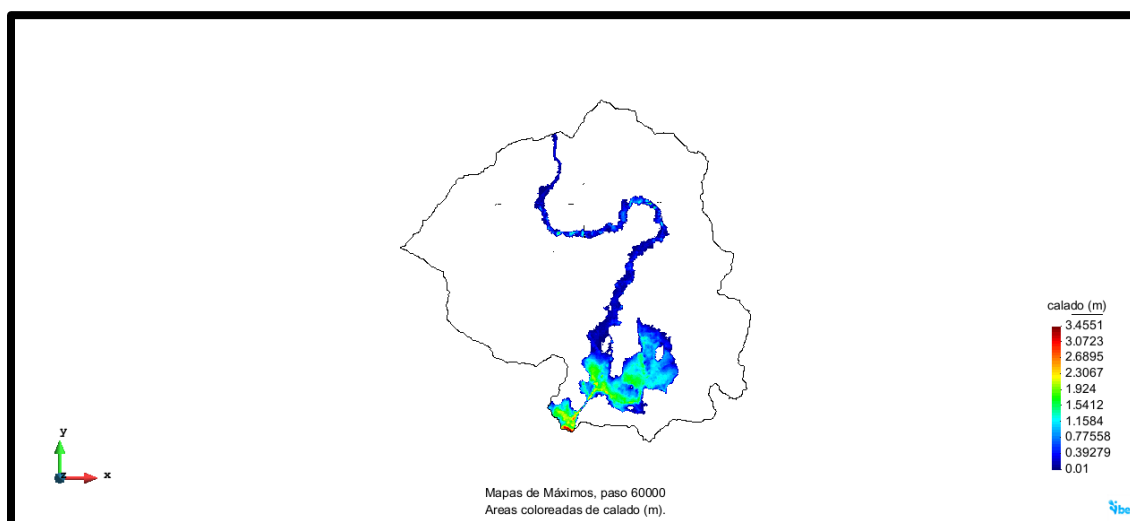
0	0	0	0	0	0
---	---	---	---	---	---

Anexo 5. Hidrograma Pt 50 (120 minutos)					
Precipitación (MM)	Pérdida (MM)	Exceso (MM)	Flujo Directo (m3/s)	Flujo Base (m3/s)	Total de Flujo (m3/s)
			0	0	0
10.27	9.76	0.51	2.2	0	2.2
11.98	11.38	0.6	4.5	0	4.5
13.7	13.01	0.68	5.7	0	5.7
20.54	19.52	1.03	7.7	0	7.7
47.94	45.54	2.4	15	0	15
22.26	21.14	1.11	14.9	0	14.9
13.7	13.01	0.68	9.9	0	9.9
11.98	11.38	0.6	7.1	0	7.1
10.27	9.63	0.64	6.3	0	6.3
8.56	7.83	0.73	6.5	0	6.5
0	0	0	3.6	0	3.6
0	0	0	1	0	1
0	0	0	0.3	0	0.3
0	0	0	0.1	0	0.1
0	0	0	0	0	0

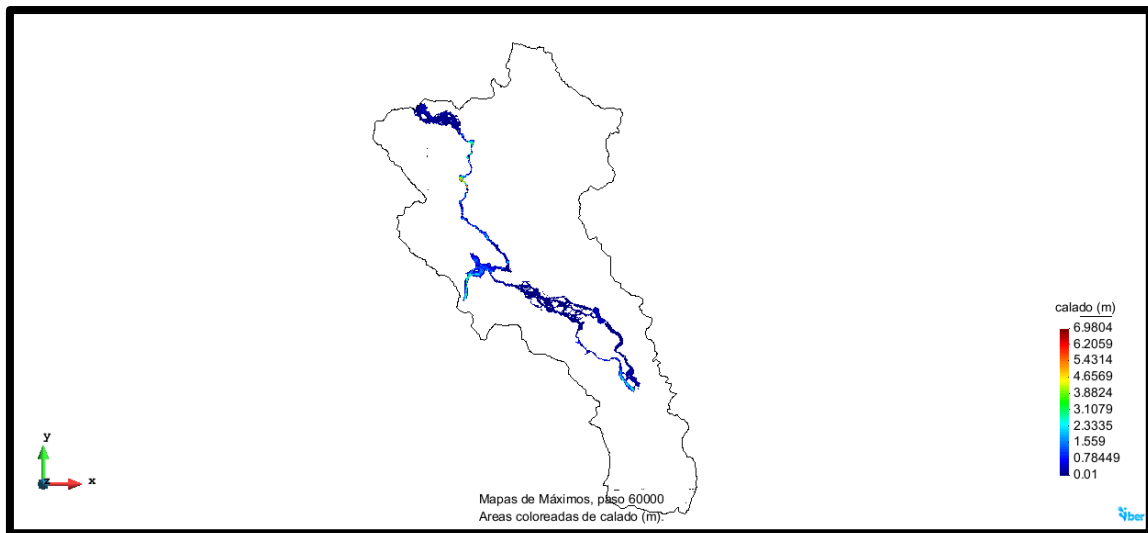
Anexo 6. Calado 1 a nivel de subcuenca de la ciudad de Xalapa Veracruz.



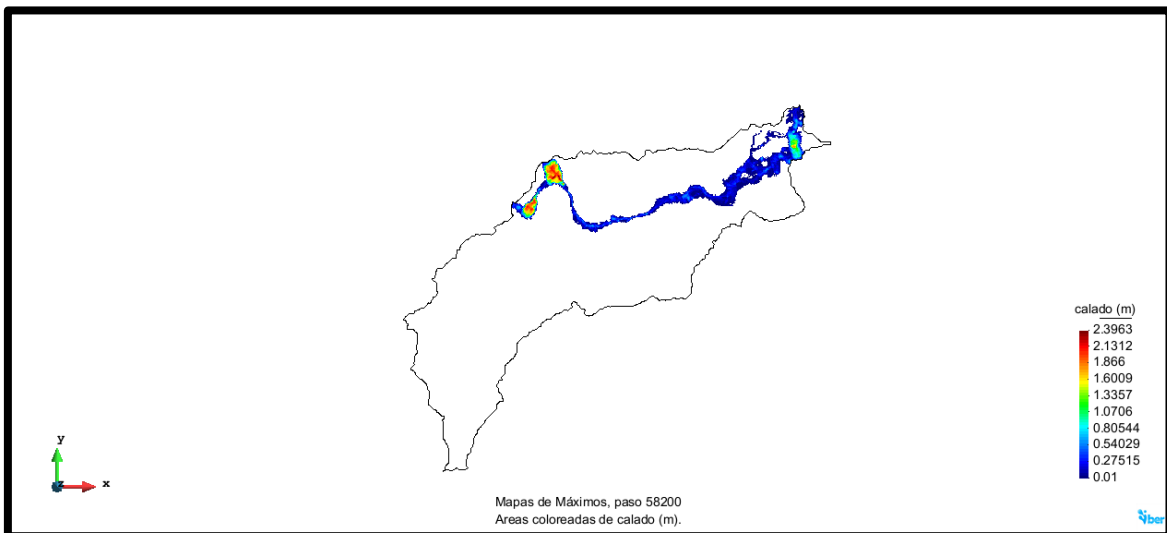
Anexo 7. Calado 2 a nivel de subcuenca de la ciudad de Xalapa Veracruz.



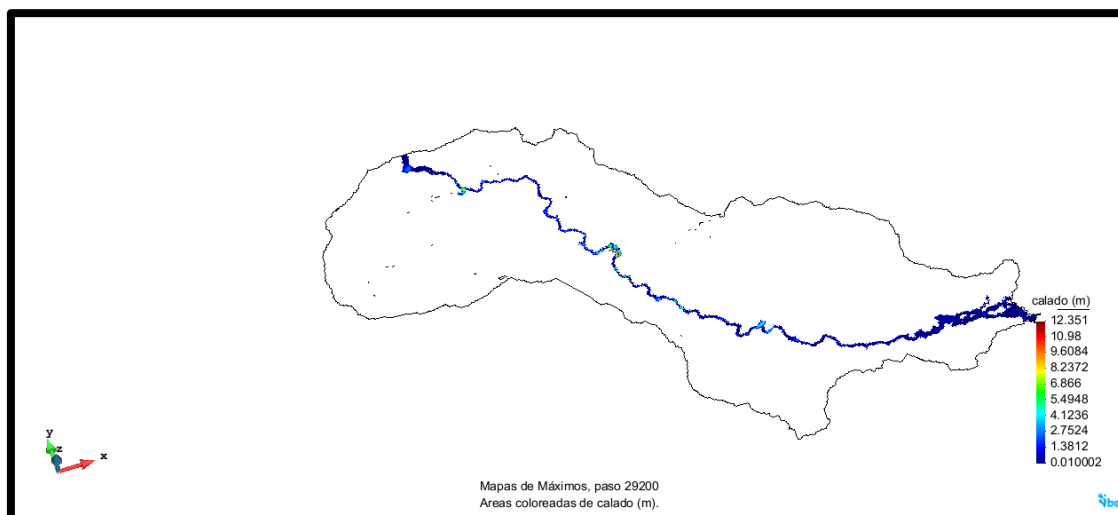
Anexo 8. Calado 3 a nivel de subcuenca de la ciudad de Xalapa Veracruz.



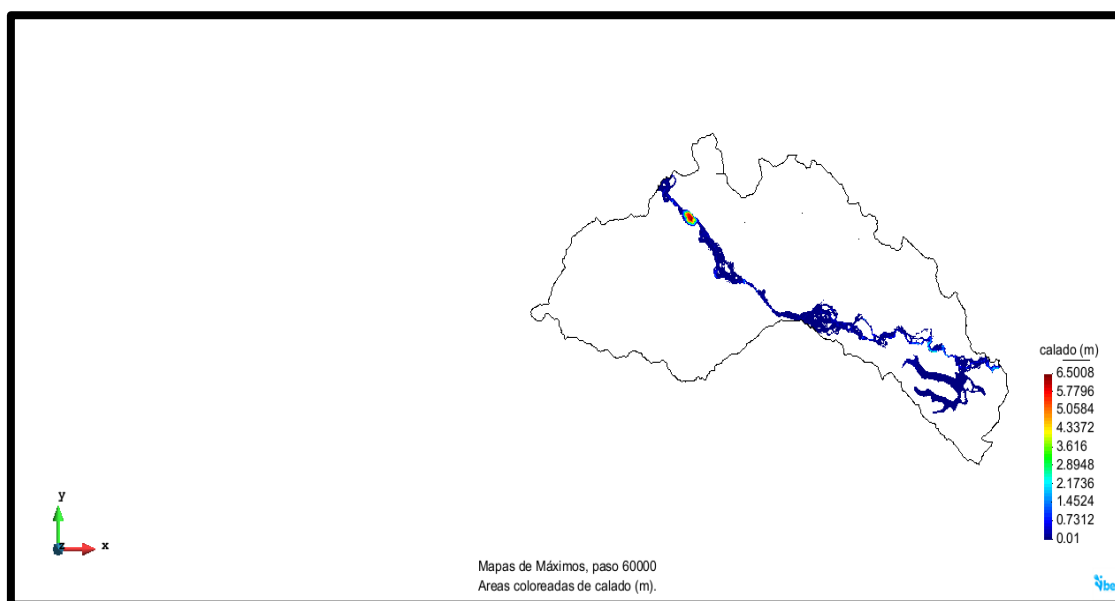
Anexo 9. Calado 4 a nivel de subcuenca de la ciudad de Xalapa Veracruz.



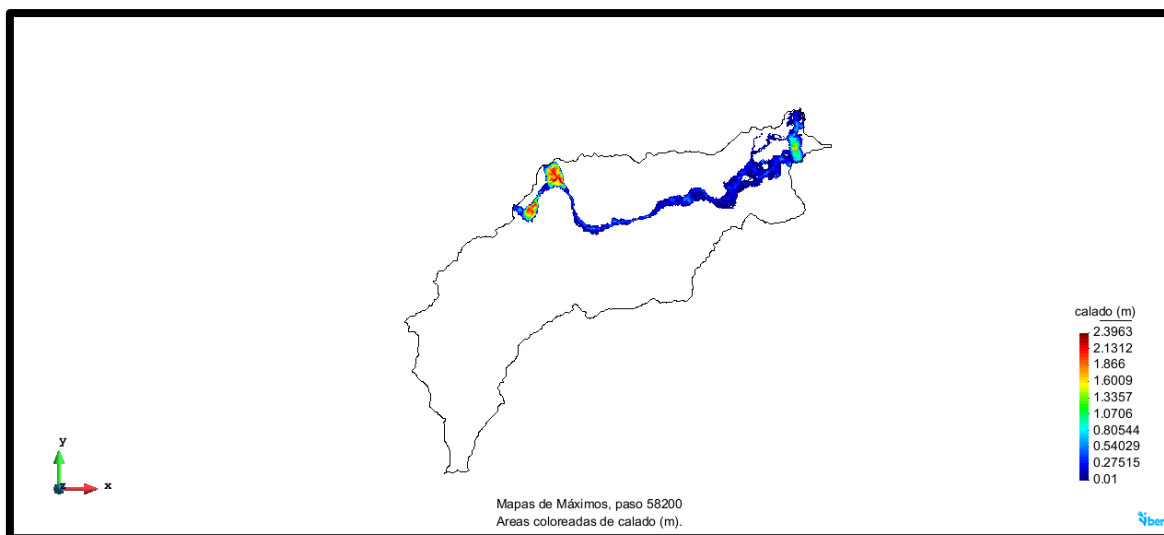
Anexo 9. Calado 5 a nivel de subcuenca de la ciudad de Xalapa Veracruz.



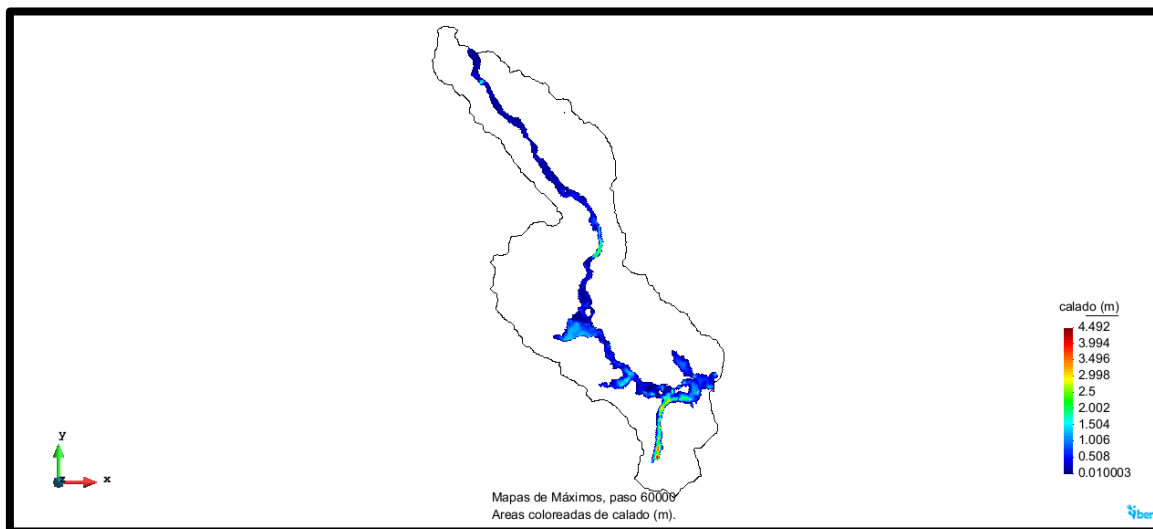
Anexo 10. Calado 6 a nivel de subcuenca de la ciudad de Xalapa Veracruz.



Anexo 11. Calado 7 a nivel de subcuenca de la ciudad de Xalapa Veracruz.



Anexo 12. Calado 8 a nivel de subcuenca de la ciudad de Xalapa Veracruz.



Anexo 13. Calado 9 a nivel de subcuenca de la ciudad de Xalapa Veracruz.

