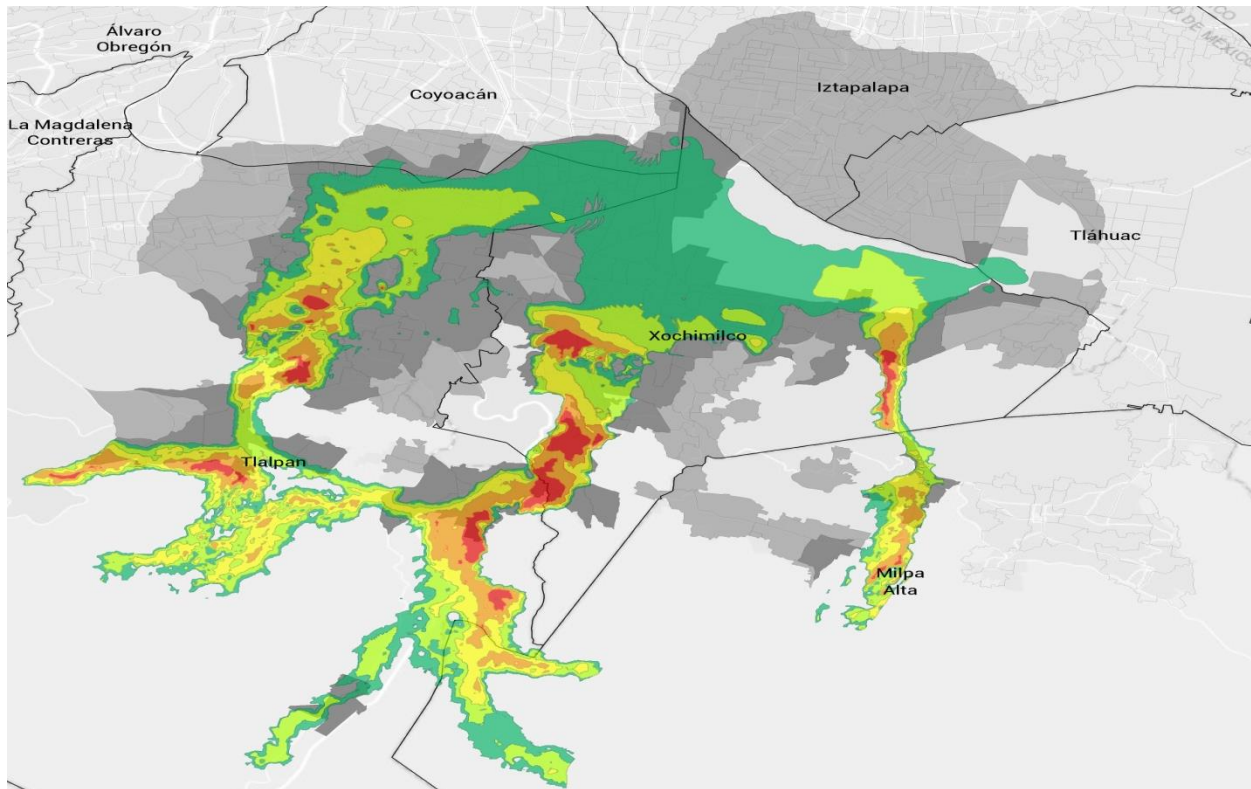


CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS DE INFORMACIÓN GEOESPACIAL

ESPECIALIDAD EN GEOMÁTICA



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SOCIAL ANTE INUNDACIONES AL SUR DE LA CIUDAD DE MÉXICO

Integrantes:

- Juárez Gerónimo Jazmín
- Ladino Álvarez Ricardo Arturo
- Reyes Alcantar Diana

Asesor

- Mtro. Anzaldo Gómez Carlos

Diciembre 2018

INDICE

Introducción-----	3
Planteamiento del problema -----	5
Justificación -----	6
Objetivos-----	6
Zona de estudio-----	7
Zonificación de la cuenca-----	7
Modelo de conocimiento-----	9
Metodología para la generación de mapas de riesgo por inundación-----	10
Metodología para el cálculo del índice de vulnerabilidad social-----	17
Factores-----	21
Integración de la información, modelo (s) en nivel de exposición-----	26
Conclusiones-----	31
Bibliografía-----	32

INTRODUCCIÓN

3

La República Mexicana está conformada por un sin fin de características geográficas que pueden propiciar el desarrollo de fenómenos naturales. En general, las ciudades tienen características particulares, como el cambio en el uso de suelo, lo que genera que se pierdan extensiones de infiltración natural debido al desordenado crecimiento de la mancha urbana, trayendo como consecuencia problemas de inundación.

Entender el desastre por inundación en áreas urbanas es un tema complejo, ya que tiene dos vertientes principales: una es la exposición al riesgo (cantidad de personas, bienes y sistemas que se encuentran en el sitio y que son factibles de ser dañados) y el impacto en la población afectada, el modo en que afecta a la población, tanto directa como indirectamente, es decir, el grado de vulnerabilidad a la que se encuentra expuesta la población, “los desastres no son naturales, sino la materialización del riesgo; éste entendido como un proceso de construcción social de índole espacio-temporal derivado de las múltiples dimensiones de la vulnerabilidad de grupos de población expuestos a diferentes amenazas”(Ayala, 2014)¹. Por otra parte, y con la finalidad de comprender el riesgo al que se encuentra sometida una población la antropología del desastre permite entender el impacto y alcance social del mismo, ya que una de sus premisas principales es explicar que “la percepción del riesgo es en sí una construcción social, culturalmente determinada, que no es lo mismo que construir socialmente riesgos. No son los riesgos los que se construyen culturalmente, sino su percepción” (García, 2005)². De este modo, la vulnerabilidad es, sin duda, lo que hace al riesgo complejo, por la cantidad de factores que la definen.

La estimación del desastre causado por las inundaciones se basa principalmente en la elaboración de escenarios de inundación y escenarios de vulnerabilidad (Coninx y Bachus, 2007)³, los primeros arrojan información acerca de los valores máximos (envolventes) de profundidad de inundación y velocidades del flujo, mientras que los segundos muestran información sobre las características de la vulnerabilidad social; de la conjunción de estos elementos es posible obtener escenarios que se basan en una aproximación del riesgo o índice de exposición al riesgo (CENAPRED, 2016)⁴ que de acuerdo y con base a la metodología planteada por Coninx (2007) recibe el nombre de impacto social por inundación.

El desastre por inundación de acuerdo a Yoon (2014)⁵, es considerado como un elemento común y destructivo, el cual con base a Masood y Takeuchi (2011)⁶ causa grandes daños físicos, sociales, económicos y pérdidas totales y/o parciales en el entorno rural y urbano. En términos de esta

¹ Alcántara Ayala Irasema, La afición por la prevención, CENAPRED, México 2014

² García Acosta, El riesgo como construcción social y la construcción social de riesgos, México, 2005

³ Coninx I., Bachus K. Integrating social vulnerability to floods in a climate change context.

⁴ Centro Nacional de Prevención de Desastres. 2016. Descripción de los fenómenos hidrometeorológicos lógicos. Definición del riesgo

⁵ Yoon Sun-Kwon, Kim Jong-Suk, MoonYoung-II. 2013. Integrated Flood Risk Analysis in a Changing Climate: A Case Study from the Korean Han River Basin.

⁶ Masood M., Takeuchi, K. 2011. Assessment of flood hazard, vulnerability and risk of mid-eastern Dhaka using DEM and 1D hydrodynamic model.

afectación y pérdida, Hausmann y Perils (1998)⁷ conceptualizan como eje central a la población, misma que generalmente sufre el mayor impacto y se ve directamente afectada por la inundación (en forma de daños directos a la propiedad o pérdida de vidas).

Peck, Karmakar y P. Simonovic (2007)⁸ permiten entender que tanto la afectación y la pérdida como producto de las inundaciones, pueden ser observados en términos de lo que denominan "impactos de las inundaciones", los cuales son difíciles de cuantificar debido a la dependencia de la situación, esto es, la exposición previa de los individuos a las inundaciones u otros desastres naturales. Los autores exponen que la afectación de los impactos puede ser entendidos desde una perspectiva en el uso de variables demográficas que describan la región de estudio; dichas variables socioeconómicas se encuentran representadas por una serie de características que incluyen edad, género, etnia, razón de dependencia, estado económico, religión, estado civil, idioma, servicios de salud, etc. Estas características muestran que tanto una población está "en mayor riesgo" o es "vulnerable a los daños" en la ocurrencia de eventos peligrosos, denominándolos indicadores de vulnerabilidad, los cuales son la base para el cálculo del índice de vulnerabilidad.

Por su parte, Hebb y Mortsch (2007)⁹ manifiestan que el índice de vulnerabilidad se encuentra caracterizado por la susceptibilidad económica, física, de infraestructura y social, o por la sensibilidad al daño causado por el evento, se refiere a la imposibilidad de las personas para hacer frente a los impactos de las inundaciones debido a algunas características personales (Messner y Meyer, 2005)¹⁰; Chakraborty (2005)¹¹ indica que la vulnerabilidad se encuentra asociada en gran parte con los sistemas sociales existentes, dando lugar al llamado índice de vulnerabilidad social; el índice varía a través del espacio físico, entre y dentro de los grupos sociales, depende de la escala con respecto al tiempo, el espacio y las unidades de análisis, como individuo, comunidad o sistema, y es dinámico a medida que las características y las fuerzas impulsoras de la vulnerabilidad cambian con el tiempo (Fekete, 2009; Tapsell, 2010)¹².

Finalmente, Salami, Meding y Giggins (2016)¹³ citan que para poder minimizar el desastre causado por las inundaciones, es necesario, de manera urgente comprender e invertir en la reducción del riesgo de desastres por inundación a fin de mejorar la preparación y respuesta rápida mediante la aplicación de una gestión integral de riesgo, con el objetivo de ajustar los sistemas naturales o humanos en una respuesta eficaz a los efectos reales o esperados que moderan el daño o aprovechan oportunidades beneficiosas, ante el evento desencadenado (McCarthy, 2001)¹⁴. Para ello, es indispensable realizar estimaciones de riesgos por inundación, ya que permitirán generar

⁷ Hausmann, Peter, Perils, Cat. 1998. Floods – An Insurable Risk?.

⁸ Karmakar S., Simonovic S. P. 2007. Flood frequency analysis using copula with mixed marginal distributions

⁹ Mortsch Linda D. 2014. Floods: Mapping Vulnerability in the Upper Thames Watershed under a Changing Climate.

¹⁰ Messner F., Penning-Rowsell E., Green C., Meyer V., Tunstall S., Veen A. 2005. Guidelines for socio economic flood damage evaluation.

¹¹ Chakraborty J., Tobin G. A., Montz, B. E. 2005. Population Evacuation: Assessing Spatial Variability in Geophysical Risk and Social Vulnerability to Natural Hazards. Recuperado de: [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2005\)6:1\(23\)](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)1527-6988(2005)6:1(23))

¹² Fekete A., Damm M., Birkmann J. 2010. Scales as a challenge for vulnerability assessment.

¹³ Salami R.O., Von Meding J.K., Giggins H. 2017. Vulnerability of human settlements to flood risk in the core area of Ibadan metropolis, Nigeria.

¹⁴ McCarthy J. J., Canziani O. F., Leary N. A., Dokken D.J., White K.S. 2001. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability.

una cartografía de escenarios de peligro, a través de la cual se evaluara la susceptibilidad de la población y el grado de inundación en áreas afectadas por dicho fenómeno.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

5

Dentro del contexto regional y local, existen varias razones históricas que permiten entender las causas de por qué la Ciudad de México es susceptible a los procesos de inundación, uno de los motivos principales es el entorno geológico sobre el cual se ha desarrollado, esto es, sobre una planicie aluvial que anteriormente era un sistema de antiguos lagos, mismos que abarcan parte del Estado de México y la Ciudad de México. La cuenca principal se encuentra conformada principalmente de rocas volcánicas, compuesta por una secuencia de derrames lávicos, piroclastos y cenizas alrededor de las sierras; y sedimentos lacustres distribuidos principalmente en la parte central (Vázquez y Jaimes, 1989)¹⁵.

La cuenca estuvo alguna vez cubierta con lagos que actuaron como drenaje natural para la escorrentía de la precipitación, sin embargo, la mayoría de los lagos fueron drenados intencionalmente o desaparecieron debido a la sobreexplotación de los acuíferos en la región (CONAGUA, 2012)¹⁶. Esta sobre explotación de los acuíferos trajo consigo una serie de agrietamientos y hundimientos que con el paso del tiempo han dañado directa e indirectamente la infraestructura de drenaje existente, esto es, la pérdida de la pendiente natural, necesaria para la descarga gravitacional (CONAGUA, 2012)¹⁷.

Sin embargo, las modificaciones a las condiciones primarias del medio natural son tan solo una parte en la potencialidad de la susceptibilidad a los procesos de inundación, pues tan solo en la segunda parte del siglo XX, la población del Valle de México aumentó considerablemente: de aproximadamente 2.8 millones de habitantes en 1950 a 20 millones en 2010 (INEGI, 2010)¹⁸. Esto tiene una serie de repercusiones muy importantes, puesto que se ve modificado el funcionamiento de la ciudad, de este modo, el crecimiento poblacional y la urbanización aumenta la intensidad y la frecuencia de las inundaciones, pues existe una relación directa entre la urbanización y las características hidrológicas (infiltración, frecuencia de escorrentía y profundidad de inundación) en un área urbana¹⁹. Lo anterior permite entender que, con base al aumento de la población y la rápida urbanización histórica sucedida en la Ciudad de México, se desarrolló, y aún

¹⁵Vázquez Sanchez E., Jaimes Palomera R.1989. Geología de la cuenca de México. 1989. Geofísica Internacional.

¹⁶Comision Nacional del Agua. 2012. Programa Hidrico Regional Vision 2030Region Hidrologico-Administrativa XIII Aguas del Valle de Mexico.

¹⁷Comision Nacional del Agua. 2012. Programa Hidrico Regional Vision 2030Region Hidrologico-Administrativa XIII Aguas del Valle de Mexico.

¹⁸Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). Poblacion en el v alle de la Ciudad de Mexico.

¹⁹ Alaghmand afirma que el aumento de la urbanización propicia las inundaciones, tanto en frecuencia como en magnitud. Alaghmand S., Abustan I., Abdullah R. 2010. GIS-based River Flood Hazard Mapping in Urban Area (A Case Study in Kayu Ara River Basin, Malaysia)

se desarrolla a procesos de deforestación y reducción en las zonas de infiltración de agua (Lankao, 2010)²⁰.

JUSTIFICACIÓN

6

Debido a condiciones geológicas, geográficas y antropogénicas, la Ciudad de México es muy vulnerable a las inundaciones, tan solo la delegación de Xochimilco al sur de la ciudad se encuentra bajo la amenaza directa del exceso de agua (Karel Kok,2016)²¹.

Históricamente, las inundaciones han tenido efectos devastadores en la parte más pobre de la Ciudad de México, puesto que sus condiciones de vulnerabilidad son altas, debido a que se encuentran descuidadas en gran medida por la población, la mala gobernanza, la gestión limitada del agua, las obras hidráulicas en mal estado y la disponibilidad del agua como una dependencia de fuentes externas de carácter limitado.

Finalmente, y partiendo de la premisa que el crecimiento desmedido de zonas urbanas, intensifica problemas de inundación, se decidió trabajar al sur de la Ciudad de México debido a que varios artículos mencionan la tendencia de la extensión de la mancha urbana hacia esta zona, entre ellos destacamos el de “Tendencia de ocupación del territorio por la expansión de la mancha urbana de la Ciudad de México y su zona metropolitana”²² y “Expansión urbana probable de la Ciudad de México. Un escenario pesimista y dos alternativos para el año 2020”²³. Ambos textos realizan estimaciones respecto a la expansión de la ciudad, a través de los cuales se puede observar una tendencia del crecimiento urbano en la zona sur de la Ciudad de México. Este crecimiento marca como consecuencia directa un impacto sobre todas aquellas áreas que hoy en día pertenecen a reservas naturales y debido a sus características geológicas e hidrometeorológicas son propensas a presentar problemas de inundación. Motivo por lo que se considera fundamental abordar la zona sur de la Ciudad de México como área de estudio.

OBJETIVOS

Objetivo general

Identificar y valorar el nivel de exposición física ante inundaciones al sur de la Ciudad de México, mediante la inmersión de información correspondiente a las características de vulnerabilidad social y los resultados en los modelos profundidad de inundación y velocidades del flujo.

²⁰ Lankao Romero R. 2010. Water in Mexico City: what will climate change bring to its history of water-related hazards and vulnerabilities?

²¹ Karel Kok Karel A. Resilient flood management for Xochimilco, Mexico City.

²² Corona, Tendencia de ocupación del territorio por la expansión de la mancha urbana de la Ciudad de México y su zona metropolitana en Estudio: Análisis de las principales dinámicas territoriales, económicas y sociales del Distrito Federal y la ZMCM, con énfasis en sus tendencias a futuro, México, 2016

²³ Suárez y Delgado, La expansión urbana probable de la Ciudad de México. Un escenario pesimista y dos alternativos para el año 2020, estudios demográficos y urbanos, México, 2007.

Objetivo (s) específicos

- Elaborar modelo de intensidad por inundación de Dorrigo mediante la conjunción de los elementos de profundidad y velocidad de flujo.
- Calculo de vulnerabilidad social mediante el Análisis de las variables sociodemográficas a través de Componentes Principales.
- Obtener el nivel de exposición ante inundación de cada componente representativa.

ZONA DE ESTUDIO



La zonificación del área de estudio se determino a partir de tres elementos, el primero fue la identificación de la tendencia del crecimiento urbano hacia la zona sur de la Ciudad de México, el segundo corresponde a la microzonificación de una cuenca mediante la metodología de Strahler (1957) y el tercero con base a revisión hemerográfica respecto a inundaciones y altas afectaciones de carácter destructivo.

Zonificación de cuenca.

Hidrología de la Ciudad de México.

Las aguas superficiales de la Ciudad de México se encuentran distribuidas a lo largo de tres regiones hidrológicas: Lerma-Santiago (RH12), Balsas (RH18) y Pánuco (RH26); siendo esta última la de nuestro interés.

- Región hidrológica Pánuco: Con la cuenca del Río Moctezuma cubre el 87.22% del territorio de la entidad, drenando sus aguas a través de la subcuenca Lago Texcoco y Zumpango hacia el río Moctezuma, el cual desemboca en el río Pánuco vertiendo sus aguas al Golfo de México.

Modelo de ordenación Strahler

Las propiedades lineales de la red de drenaje permiten deducir en una primera instancia la interacción entre el sistema fluvial y las características ambientales del territorio de la cuenca, tales como geología y estructura geológica, energía del relieve y pendiente, suelos dominantes e impermeabilidad, vegetación dominante y uso del suelo. La jerarquización de la red de drenaje hídrica subdivide los distintos cursos de agua que integran la cuenca en segmentos de cauce clasificados en función de lo que se denomina orden de magnitud.

Strahler (1952, 1957), revisó y perfeccionó el método de Horton (1945) dando lugar al esquema de ordenación o de clasificación de Horton-Strahler, el cual hoy en día es el más utilizado en hidrología (hay otros modelos, como el de Shreve ,1966; Mock, 1971 y otros).

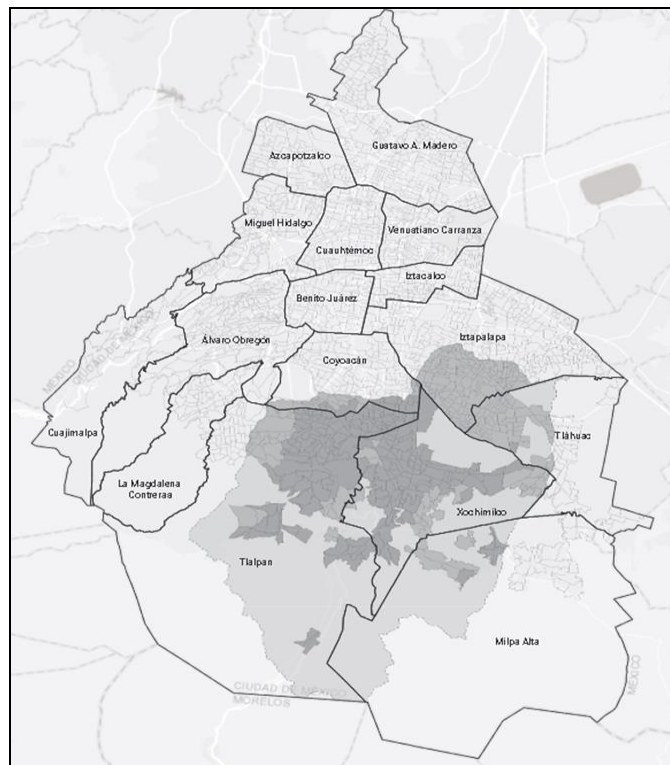
Dentro de la metodología, las redes de drenaje son modeladas y/o representadas como árboles, los cuales están conformados por un conjunto de nodos conectados unos a otros por segmentos

de recta, de manera que cada nodo tiene solo una ruta hacia la salida; según Strahler una corriente puede tener uno o más segmentos.

De forma muy simple la jerarquización de una red asigna datos numéricos de acuerdo al número de causas que en esta se interconecten, así el valor máximo es donde el curso de agua alcanza la máxima magnitud dentro del área ocupada por la cuenca, y es relacionado directamente con la corriente principal.

Con base a la metodología planteada con anterioridad se determino una microcuenca la cual se distribuye sobre un área total de 456.540 Km² y cubre principalmente las alcaldías de Tlalpan, Coyoacán, Milpa Alta, Xochimilco, Milpa Alta, Iztapalapa y Tláhuac. En la figura 1, se muestra la microzonificación de una cuenca.

Figura 1
Delimitación de la zona de estudio



Elaboración: Juárez Gerónimo, Ladino Álvarez y Reyes Alcantar, 2018.

A continuación, en la tabla 1 se muestra el número de ageb, población y área de la zona afectada por inundación y la no afectada por cada alcaldía perteneciente al área de estudio.

Tabla 1
Información por área inundada y sin inundación para cada alcaldía

	COYOACÁN			MILPA ALTA		
	AGEB	Población	Área	AGEB	Población	Área
Inundadas	14	49,706	5.35	6	12,466	3.18
Sin Inundación	40	148,840	6.15	11	29,520	6.63
Total	54	198,546	11.50	16	41,986	9.81
	TLÁHUAC			ITZAPALAPA		
	AGEB	Población	Área	AGEB	Población	Área
Inundadas	1	1,185	0.42	0	-	-
Sin Inundación	69	244,025	18	160	653,381	30
Total	70	245,210	18.78	160	653,381	29.57
	TLALPÁN			XOCHIMILCO		
	AGEB	Población	Área	AGEB	Población	Área
Inundadas	133	387,755	60.31	89	296,812	47.19
Sin Inundación	35	106,003	19.01	32	110,808	15.26
Total	168	493,758	79.32	121	407,620	62.46

Elaboración: Juárez Gerónimo, Ladino Álvarez, Reyes Alcantar, 2018

MODELO DE CONOCIMIENTO

9

El grupo de mecanismos y procedimientos empleados para lograr el objetivo de la investigación fueron divididos en dos etapas, la primera se baso en la implementación de la metodología para generar el modelo de exposición (inundación) que se enfoca en la aprehensión del fenómeno físico; y la segunda metodología empleada fue para generar el modelo de susceptibilidad (índice de vulnerabilidad) la cual permite acercarnos al fenómeno en el aspecto social.

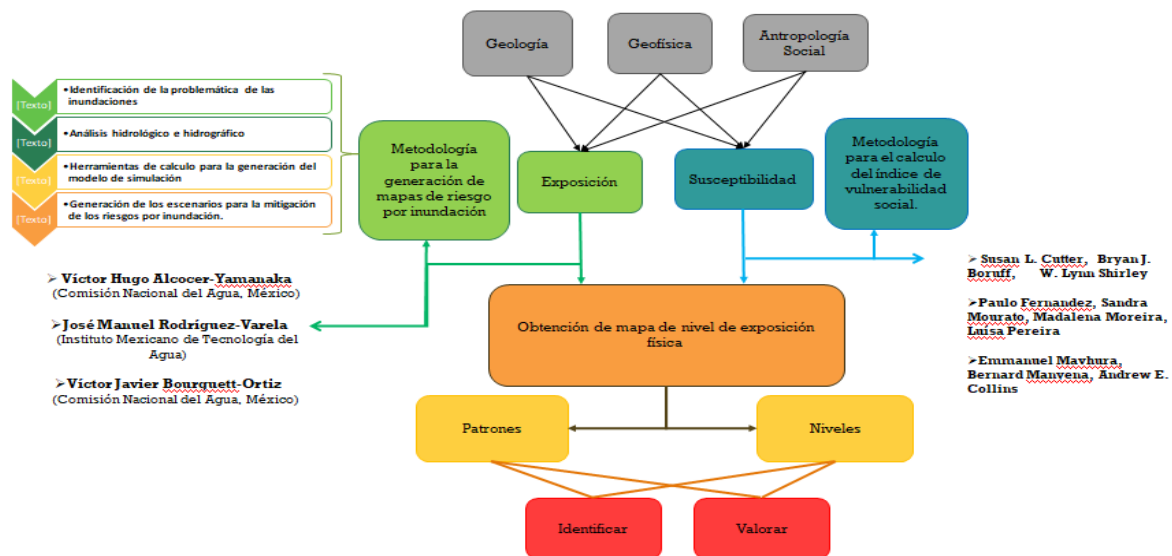
En ambos casos, se sistematizaron los métodos y las técnicas necesarias para llevar a cabo la investigación. A partir de una amplia búsqueda bibliográfica que abordara ambas problemáticas - inundación y vulnerabilidad social- se seleccionaron aquellas que nos permitían acercarnos a nuestro problema de estudio.

Para la generación del modelo de exposición tuvimos como ejes una metodología propuesta por cuatro autores: Víctor Hugo Alcocer-Yamanaka (Comisión Nacional del Agua, México), José Manuel Rodríguez-Varela (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua) y Víctor Javier Bourguett-Ortiz (Comisión Nacional del Agua, México).

Por su parte, para la construcción del modelo de susceptibilidad, nos basamos en la metodología de Morales, L.M., retomada por Néstor Corona M., así como también de autores como Susan L. Cutter, Bryan J. Boruff, W. Lynn Shirley, Paulo Fernández, Sandra Mourato, Madalena Moreira, Luisa Pereira, Emmanuel Mavhura, Bernard Manyena y Andrew E. Collins.

Respecto a la construcción de ambas metodología, se fueron realizando adaptaciones de las originales y retomando sólo los aspectos que tenían implicaciones directas con nuestra investigación, ya que los métodos señalados abordan problemáticas más amplias o consideran aspectos distintos al interés del tema abordado.

En el siguiente diagrama, se muestra la metodología final desarrollada para llevar a cabo la investigación, posteriormente, se expone detalladamente el desarrollo de cada metodología empleada.



Metodología para la generación de mapas de riesgo por inundación.

La determinación de aquellas zonas que son susceptibles a desarrollar algún proceso de inundación, no se pueden zonificar de manera errática y limitada únicamente a las condiciones geomorfométricas del medio geográfico, para que este fenómeno sea determinado, zonificado y entendible es necesario hacer uso de todas las variables explicativas necesarias que permitan que dicho proceso sea modelado y simulado de manera estocásticamente correcta.

De acuerdo a lo anterior, un modelo de simulación ante los procesos de inundación está sujeto y constituido por una secuencia extensa de técnicas variadas que se unificadas en tres supuestos primordiales establecidos por el Sistema Nacional de Protección Civil, Centro Nacional de Prevención de Desastres y la Comisión Nacional del Agua dentro del consenso nacional publicado por la Subdirección de Riesgos por Inundación publicada en 2011 en la metodología vigente y modificada en 2015 para la elaboración de mapas de riesgo por inundaciones en zonas urbanas.

Estos supuestos señalan:

- Determinación de los factores meteorológicos de precipitación máxima para periodos de tiempo variable en intervalos de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 200 años, representados en curvas de intensidad, duración y frecuencia, hietogramas e hidrogramas, estos últimos en intervalos de minutos, horas y/o días.
- Cálculo de los factores: morfométricos, hipsométricos, numero de curva, tiempo de concentración y tiempo de retardo.
- Zonificación de la geometría de ríos, causes y límites de cuenca a modelar, con el fin de determinar las condiciones espaciales necesarias para la simulación de los causes en términos de la profundidad máxima y mínima de influencia producida por las corrientes y la velocidad con que estas actúan.

Factores meteorológicos, periodos de retorno, hietogramas e hidrogramas.

Los factores meteorológicos necesarios para desarrollar un modelo de simulación ante el fenómeno de inundaciones se retoman en razón del elemento detonante, correspondiente al apartado anterior con algunas modificaciones en termino de los tiempos estimados de observación conveniente a los hietogramas; así dentro de este consenso se procede a la obtención de la base de datos correspondiente a las precipitaciones máximas mensuales en un intervalo mínimo de 15 años, sin olvidar que este representa el valor mínimo de información climatológica para representar el umbral de los errores permitidos, en el cálculo y obtención de los valores adecuados para los diferentes periodos de retorno .(Tr: 02, 05, 25, 50, 100).supuestos dentro de la simulación.

A continuación se muestran distintas tablas generadas para la elaboración de la modelación del tirante de inundación

Tabla 2
Precipitación Máxima Diaria por Duración de Lluvia y Frecuencia. Estación 9032

Precipitación Máxima Diaria por Duración de Lluvia y Frecuencia de la misma						Estación	9032
Tiempo de Duración	Precipitación máxima Pd (mm)						
	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	200 años
24 hr	195.1078	257.0844	298.1183	349.9648	388.4275	426.6061	464.6455
18 hr	177.5481	233.9468	271.2877	279.9718	353.4690	388.2116	422.8274
12 hr	156.0862	205.6675	238.4947	279.9718	310.7420	341.2849	371.7164
8 hr	132.6733	174.8174	202.7205	237.9761	264.1307	290.0922	315.9589
6 hr	119.0158	156.8215	181.8522	213.4785	236.9408	260.2297	283.4338
5 hr	111.2114	146.5381	169.9275	199.4799	221.4037	243.1655	264.8479
4 hr	101.4561	133.6839	155.0215	181.9817	201.9823	221.8352	241.6157
3 hr	89.7496	118.2588	137.1344	160.9838	178.6766	196.2388	213.7369
2 hr	76.0920	100.2629	116.2662	136.4863	151.4867	166.3764	181.2117
1 hr	58.5323	77.1253	89.4355	104.9894	116.5282	127.9818	139.3937

Elaboración: Juárez Gerónimo, Ladino Álvarez, Reyes Alcantar, 2018.

Tabla 3
Precipitación Máxima Diaria por Duración de Lluvia y Frecuencia. Estación 9022

Precipitación Máxima Diaria por Duración de Lluvia y Frecuencia de la misma						Estación	9022
Tiempo de Duración	Precipitación máxima Pd (mm)						
	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	200 años
24 hr	349.6640	528.7206	647.2716	797.0611	908.1835	1018.4854	1128.3848
18 hr	318.1943	481.1357	589.0171	637.6488	826.4470	926.8217	1026.8302
12 hr	279.7312	422.9764	517.8172	637.6488	726.5468	814.7883	902.7078
8 hr	237.7715	359.5300	440.1447	542.0015	617.5648	692.5700	767.3017
6 hr	213.2951	322.5195	394.8357	486.2072	553.9919	621.2761	688.3147
5 hr	199.3085	301.3707	368.9448	454.3248	517.6646	580.5367	643.1793
4 hr	181.8253	274.9347	336.5812	414.4717	472.2554	529.6124	586.7601
3 hr	160.8455	243.2115	297.7449	366.6481	417.7644	468.5033	519.0570
2 hr	136.3690	206.2010	252.4359	310.8538	354.1916	397.2093	440.0701
1 hr	104.8992	158.6162	194.1815	239.1183	272.4550	305.5456	338.5154

Elaboración: Juárez Gerónimo, Ladino Álvarez, Reyes Alcantar, 2018.

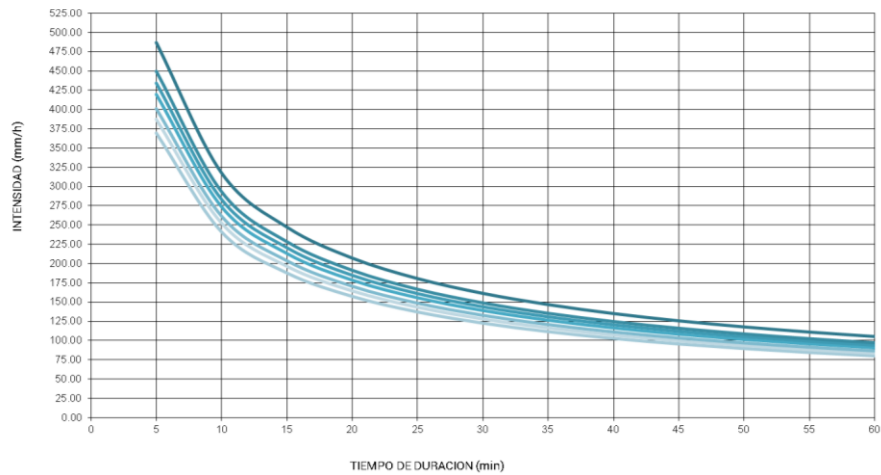
Tabla 4
Precipitación Máxima Diaria por Duración de lluvia y Frecuencia, distribuida por polígonos de Thiessen

DISTRIBUCIÓN DE ÁREA POR ESTACIONES						Área Total cuenca (km ²)
9022	9032	9041	9004	9051	9020	
68.434057	20.28405	136.61129	99.61543	64.332802	66.777075	456.055

Precipitación Máxima Diaria por Duración de Lluvia y Frecuencia de la misma Distribuida por polígonos de Thiessen							
Tiempo de Duración	Precipitación máxima Pd (mm)						
	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	256.773	275.071	287.186	302.493	313.849	325.121	336.352
18 hr	233.663	250.315	261.339	263.410	285.603	295.860	306.081
12 hr	205.418	220.057	229.749	241.995	251.079	260.097	269.082
8 hr	174.605	187.048	195.287	205.696	213.418	221.083	228.720
6 hr	156.631	167.793	175.183	184.521	191.448	198.324	205.175
5 hr	146.360	156.790	163.696	172.421	178.894	185.319	191.721
4 hr	133.522	143.037	149.337	157.297	163.202	169.063	174.903
3 hr	118.115	126.533	132.106	139.147	144.371	149.556	154.722
2 hr	100.141	107.278	112.003	117.972	122.401	126.797	131.177
1 hr	77.032	82.521	86.156	90.748	94.155	97.536	100.906

Elaboración: Juárez Gerónimo, Ladino Álvarez, Reyes Alcantar, 2018.

Gráfica 1
Curvas de intensidad, duración y frecuencia, para diferentes periodos de retorno



Elaboración: Juárez Gerónimo, Ladino Álvarez, Reyes Alcantar, 2018.

Tabla 5
Intensidades – tiempo de duración, construcción de curvas IDF.

Frecuencia años	Tabla de intensidades - Tiempo de duración											
	Duración en minutos											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	369.75	241.05	187.68	157.14	136.92	122.35	111.25	102.45	95.26	89.26	84.16	79.76
5	387.06	252.33	196.46	164.50	143.34	128.08	116.46	107.24	99.72	93.44	88.10	83.50
10	400.69	261.22	203.38	170.30	148.38	132.59	120.56	111.02	103.23	96.73	91.21	86.44
25	419.45	273.45	212.91	178.27	155.33	138.80	126.20	116.22	108.07	101.26	95.48	90.49
50	434.23	283.08	220.41	184.55	160.80	143.69	130.65	120.31	111.87	104.83	98.84	93.67
100	449.52	293.05	228.17	191.05	166.47	148.75	135.25	124.55	115.82	108.52	102.32	96.97
500	487.15	317.58	247.27	207.04	180.40	161.20	146.57	134.97	125.51	117.61	110.89	105.09

Elaboración: Juárez Gerónimo, Ladino Álvarez, Reyes Alcantar, 2018.

Hietograma.

El hietograma es un gráfico que expresa los volúmenes de precipitación o caída de agua-lluvia por unidad de tiempo en una determinada área o en su caso más práctico una cuenca, así su representación es una relación directa entre el análisis previo de las distribuciones pluviométricas en intervalos de tiempo prolongados o mayores a 15 años y la construcción y obtención de las variables correspondientes a las curvas de intensidad, duración y frecuencia y las características geomorfométricas de las cuencas (áreas) en las cual se encuentran suscitando los supuestos de análisis.

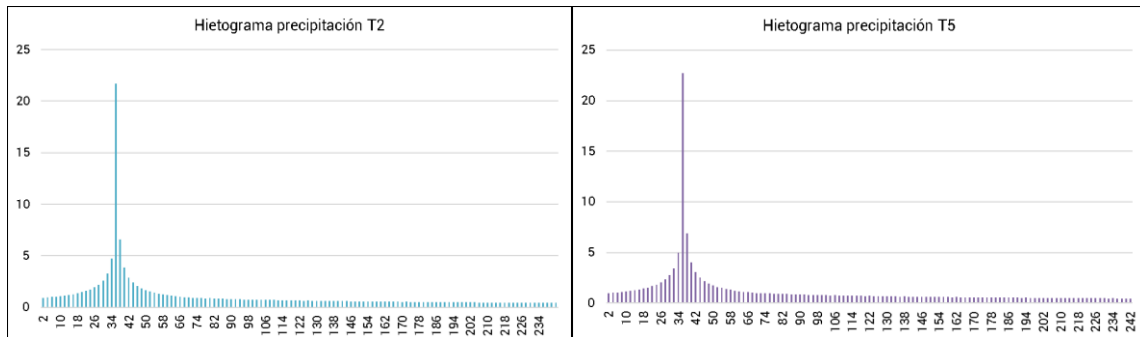
Por otra parte la necesidad de la obtención de los valores correspondientes a los hietogramas, tienen la particularidad principal de que los valores de tiempo sobre los cuales se desarrolla la intensidad de la precipitación pueden ajustarse a los criterios necesarios en términos del posterior modelado y obtención de la escorrentía, infiltración y las crecidas, por lo que estos modelos corresponden un procedimiento sintético y teórico y por ende el mayor de sus éxitos depende en un principio de que la cantidad de información dentro de las estaciones climatológicas considere el supuesto de un mínimo de 15 años.

Tabla 6
Tiempo de concentración de la cuenca de estudio

Tiempo de concentración de la cuenca					
L cauce ppal =	20.938979	km	Area	456.504709	km
Pendiente =	11.45535	m/m	Perimetro	136.032175	km
			Cota superior		
			Cota Inferior		
Tiempo concentración =	0.27	h	Tiempo de Retardo =	0.16	h
Tiempo concentración =	16.11	min	Tiempo de Retardo =	9.67	min
Tiempo concentración =	966.64	seg	Tiempo de Retardo =	579.98	seg
Tiempo de duración de lluvia=	4	h	240	min	14400
Curvas IDF de la cuenca					
$I = \frac{K \cdot T^m}{t^n}$					
$I = \frac{964.4808 \cdot T^{0.049941}}{t^{0.61723}}$					
$Tc = 0.0066 \left(\frac{L}{j_{0.55}}\right)^{0.77}$					
$Tlag = 0.066 (Tc)$					
Donde: I = intensidad de precipitación (mm/hr) T = Periodo de Retorno (años) t = Tiempo de duración de precipitación (min)					

Elaboración: Juárez Gerónimo, Ladino Álvarez, Reyes Alcantar, 2018.

Gráfica 2
Hietogramas de precipitación en cuenca de estudio



Elaboración: Juárez Gerónimo, Ladino Álvarez, Reyes Alcantar, 2018.

Hidrograma.

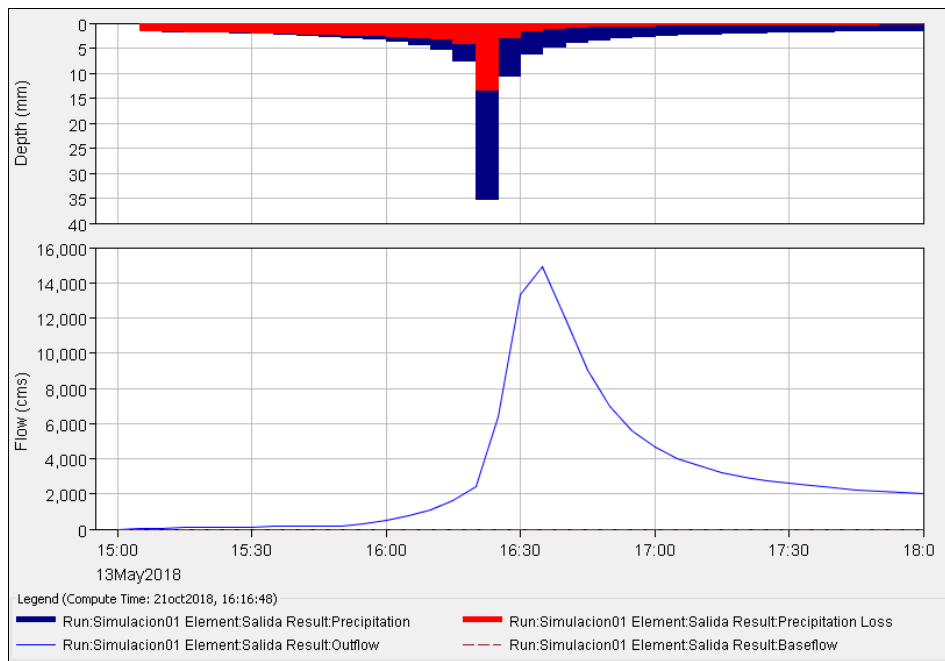
Un hidrograma a diferencia de un hietograma, refleja en su expresión gráfica la variación del caudal que se encuentra desarrollado de manera superficial en relación con el tiempo en una determinada zona correspondiente a una cuenca hidrográfica. Dicho de otra manera el hidrograma refleja el comportamiento ante un determinado patrón de precipitación que se encuentra suscitándose en una cuenca, reflejando así la correlación entre las condiciones geomorfométricas de esta y la relación de lluvia-escorrentía, filtración y caudal.

Para poder determinar las características particulares, correspondientes a las cuencas de análisis en términos de la escorrentía e infiltración así como el caudal máximo de salida, es necesario el desarrollo previo de los hietogramas en relación a la intensidad acumulada y la precipitación ajustada.

Tabla 7
Total de caudal máximo para la cuenca a periodo de retorno variable

Date	Time	Preci (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)	Direct Flow (m3/s)	Base Flow (m3/s)	Total Flow (m3/s)
13-may-18	00:00	0	0	0	0	0	0
13-may-18	00:02	0.97	0.92	0.05	2.3	0	2.3
13-may-18	00:04	1.01	0.96	0.05	9.6	0	9.6
13-may-18	00:06	1.05	1	0.05	25.2	0	25.2
13-may-18	00:08	1.1	1.05	0.06	49.1	0	49.1
13-may-18	00:10	1.15	1.09	0.06	77	0	77
13-may-18	00:12	1.22	1.16	0.06	105.6	0	105.6
13-may-18	00:14	1.29	1.23	0.06	132.4	0	132.4
13-may-18	00:16	1.37	1.3	0.07	156.3	0	156.3
13-may-18	00:18	1.47	1.4	0.07	176.4	0	176.4
13-may-18	00:20	1.59	1.51	0.08	194.8	0	194.8
13-may-18	00:22	1.75	1.66	0.09	212.7	0	212.7
13-may-18	00:24	1.95	1.85	0.1	231.3	0	231.3
13-may-18	00:26	2.22	2.06	0.16	253.9	0	253.9
13-may-18	00:28	2.62	2.29	0.33	291.9	0	291.9
13-may-18	00:30	3.29	2.68	0.61	370.3	0	370.3
13-may-18	00:32	4.75	3.54	1.21	541.2	0	541.2
13-may-18	00:34	21.7	12.44	9.26	1231.5	0	1231.5

Gráfica 3
Hidrograma de crecida para cuenca de estudio

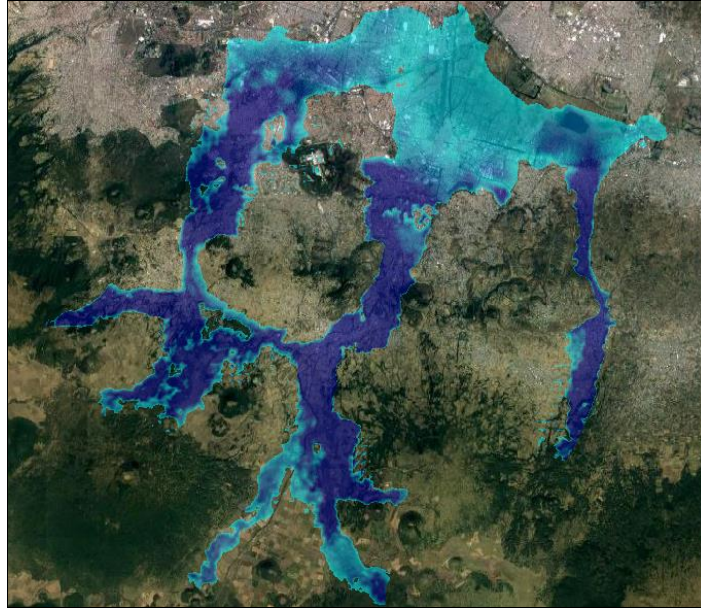


Elaboración: Juárez Gerónimo, Ladino Álvarez, Reyes Alcantar, 2018.

A continuación se muestran los resultados de la modelación del tirante de inundación

Figura 2

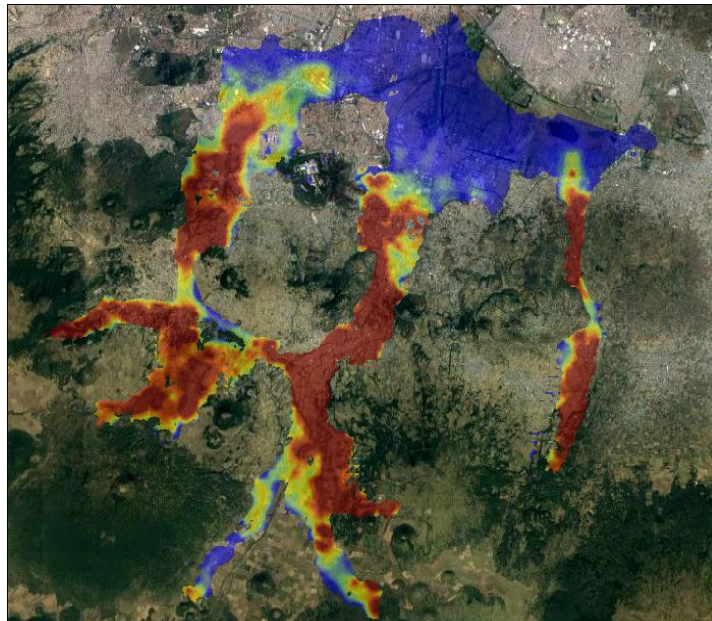
Tirante de inundación y/o máxima envolvente, cuenca de estudio



Elaboración: Juárez Gerónimo, Ladino Álvarez, Reyes Alcantar, 2018.

Figura 3

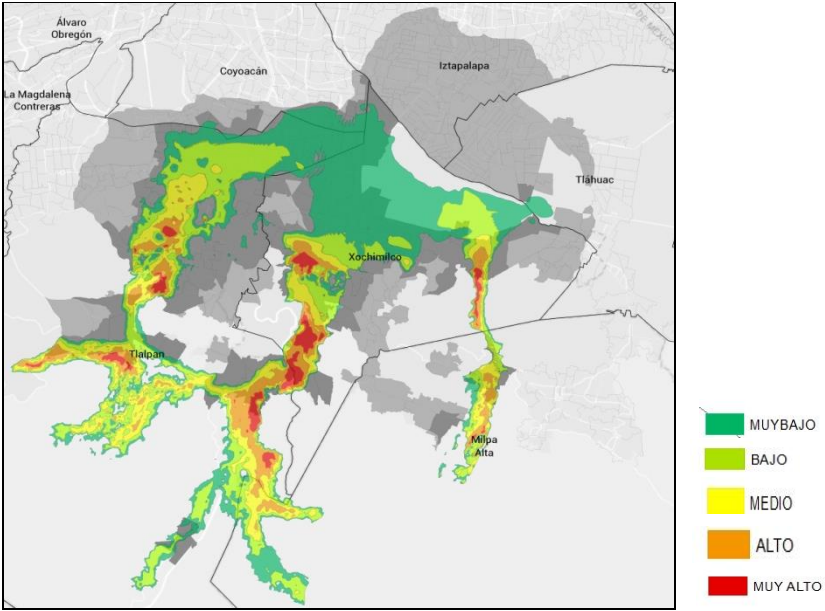
Tirante de velocidad, cuenca de estudio.



Elaboración: Juárez Gerónimo, Ladino Álvarez, Reyes Alcantar, 2018.

Finalmente, a través de la metodología de Dorrigo, se hizo la conjunción de ambos mapas, con el objetivo de obtener solamente un mapa con ambos valores y de este modo poderlo trabajar de una mejor manera. En la figura 4 se muestra las características del tirante de inundación, clasificado en cinco niveles, respecto a su intensidad.

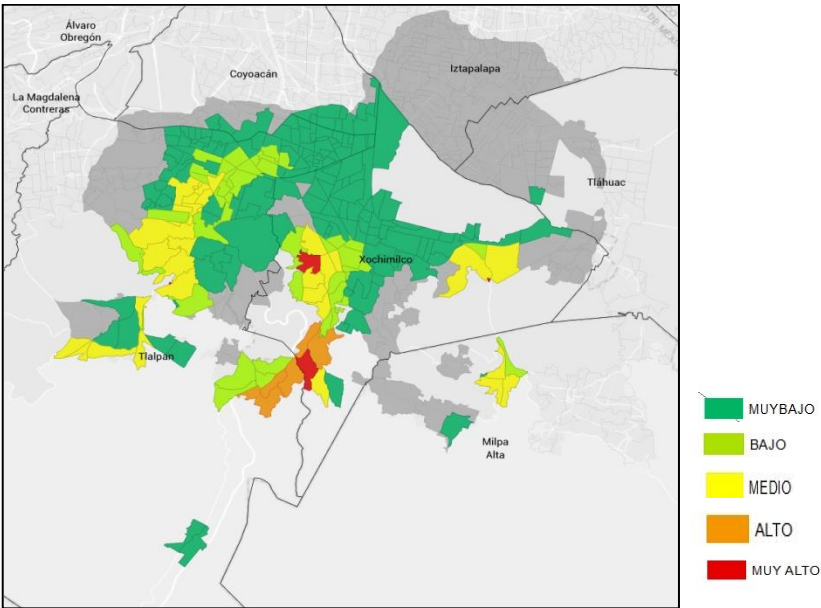
Figura 4
Tirante de velocidad, inundación (intensidad)



Elaboración: Juárez Gerónimo, Ladino Álvarez, Reyes Alcantar, 2018.

Una vez que se obtuvo el tirante de inundación con la información integrada de intensidad, era indispensable llevarla a la misma unidad de análisis en que se tiene el resto de la información de las variables, es decir, se tenía que ajustar a ageb, esto para que fuera posible empatar toda la información – el tirante de inundación y las variables sociales-, para ello, fue necesario, realizar un procedimiento estadístico que ajustara en caso de que una ageb contara con más de un niveles de intensidad y se le asignara un único valor, obteniendo como resultado el mapa que se muestra en la figura 5.

Figura 5
Tirante de velocidad, inundación por ageb (intensidad)



Elaboración: Juárez Gerónimo, Ladino Álvarez, Reyes Alcantar, 2018.

Metodología para el cálculo del índice de vulnerabilidad social.

El concepto de vulnerabilidad ha estado en uso durante décadas, especialmente en la gestión de desastres, desarrollo, economía, sociología, antropología, geografía, salud, cambio global y estudios ambientales (Bergstrand, 2015; Cutter, 1996; O'Keefe, 1976; Timmerman, 1981). Sin embargo, aunque existe una extensa y progresiva literatura, el concepto de vulnerabilidad sigue siendo impreciso, lo que hace que su medición sea compleja, esto debido a que la vulnerabilidad varía a través del espacio físico, entre y dentro de los grupos sociales, depende de la escala (con respecto al tiempo, el espacio y las unidades de análisis, como individuo, comunidad o sistema) y es dinámica a medida que las características de la población y su medio varían con respecto al tiempo (Fekete, 2009 y Tapsell, 2010).

De lo anterior, que no exista una definición única de vulnerabilidad. En su análisis de 24 definiciones, Weichselgartner (2001) identifica muchas diferencias en los significados de vulnerabilidad, que surgen de diferentes orientaciones epistemológicas y prácticas metodológicas posteriores, sin embargo todas convergen a entender que la vulnerabilidad es un concepto controvertido el cual se puede definir a manera de todas aquellas condiciones determinadas por los factores o procesos físicos, sociales, económicos y ambientales que aumentan la susceptibilidad de una comunidad al impacto de los peligros, como el resultado de las condiciones y procesos históricos, sociales, económicos, políticos, tecnológicos, institucionales, ambientales (Adger y Brown, 2009; Bankoff, 2004; Wisner, 2004, Cutter, 2003, Weichselgartner, 2001; Cutter, 1996; Susman, 1983; Timmerman, 1981).

La vulnerabilidad social (Social Vulnerability ,SV) se caracteriza y se distingue por su complejidad, multidisciplinariedad y multidimensionalidad, debido a que considera las características institucionales, demográficas y socioeconómicas de una persona, comunidad o sistema que reducen su capacidad de preparación, respuesta y recuperación ante la amenaza o desastre (Solangaarachchi, 2012; Yoon, 2012 ; Siagian, 2014). Al ser un concepto multidimensional la SV nos permite caracterizar y comprender el nivel de exposición de una comunidad a los riesgos y entender cómo estas puede responder y recuperarse en los períodos posteriores , así como determinar una posición de ventaja o desventaja con respecto a los resultados del desastre (Collins, 2009).

De este modo, un estudio de vulnerabilidad debe tener en cuenta diferentes variables tales como: edad, género, raza, etnia, clase social, tasa de desempleo, estatus de inmigrante, densidad y calidad del entorno construido, uso de la tierra y tenencia de la vivienda entre muchos factores más (Borden, 2007; Burton y Cutter, 2008; Cutter, 2003; Cutter, 2000; Fekete, 2009; Finch 2010; Lein y Abel, 2010; Masozera, 2007; Rygel, 2006; Schmidtlein, 2011; Schneiderbauer y Ehrlich, 2006; Simpson y Katirai, 2006; Tapsell, 2002; Wisner, 2004).

Análisis de componentes principales

Partiendo del enfoque propuesto y desarrollado por Cutter (2003), y utilizando la técnica de componentes principales (Principal Component Analysis , PCA) defendida por Cutter (2003), Schmidtlein (2008), Solangaarachchi (2012) , Mendes (2009), Chen (2013), Guillard-Gonçalves (2015), de Loyola Hummell (2016) y Tavares (2017), este autor, consideran el uso de PCA , como una técnica estadística multivalente necesaria para la reducción de datos; la técnica se basa en

agrupar un conjunto original de variables en un número menor de variedades lineales, esto, al identificar patrones en datos de alta dimensión y revelar los factores subyacentes (factores principales) que describen de mejor manera las variaciones en los datos mediante la identificación y agrupación de variables que se miden (Kaźmierczak y Cavan, 2011).

Con base a Cutter (2003), el análisis de PCA permite calcular un índice de vulnerabilidad social (Social Vulnerability Index, SoVI); antes de utilizar esta técnica es necesario tener en cuenta algunas consideraciones. Primero se deben identificar todos los grupos de variables a usar, esto es, aquellas que definen al fenómeno en cuestión; en segundo lugar, estas variables necesitan un apoyo de la literatura de vulnerabilidad social; en tercer lugar, las variables deben estar en la misma escala y ser de carácter cuantitativo y reciente (Cutter, 2003 y Abson, 2012).

Las variables para las dimensiones sociales se derivaron con base a la literatura de vulnerabilidad social y la información disponible en el censo de población y vivienda 2010 en un nivel AGEB (INEGI, 2010). Se identificaron un total de 31 variables, mismas que fueron clasificadas de acuerdo a la categoría que correspondían (tabla 8); posteriormente, el total de variables iniciales fue reducido a 18, mismas que permitieron construir un buen índice de vulnerabilidad social.

Una vez que se obtuvo los resultados de componentes principales de las 18 variables finales, se decidió realizar la rotación Varimax, con la finalidad de obtener mejores resultados, ya que este método permite simplificar la estructura de las dimensiones subyacentes y distribuir la varianza de una manera más homogénea, es decir, minimiza el porcentaje explicativo, obtenido por un solo factor, aumentando así la variación porcentual entre cada uno de los factor (Armaş y Gavriş, 2013).

El cálculo de PCA se llevo a cabo mediante el paquete estadístico para ciencias sociales (SPSS), Versión 25

Tabla 8
Total de variables iniciales en el estudio

DATA_BASE		
Población	Población con discapacidad.	DISC1_R
	Población de 0 a 5 años de edad.	POB3_R
	Población de 65 años y más.	POB24_R
	Razón de dependencia total	POB27_R
	Razón de dependencia infantil	POB28_R
	Razón de dependencia de vejez	POB29_R
	Promedio de hijos nacidos vivos	FEC1_R
Vivienda	Ocupantes por vivienda	VIV4_R
	Viviendas con más de 2.5 ocupantes por dormitorio	VIV9_R
	Viviendas que no disponen de agua entubada	VIV17_R
	Viviendas sin electricidad.	VIV15_R
	Viviendas sin drenaje.	VIV23_R
	Vivienda con pisos de tierra	VIV6_R
	Viviendas sin radio y televisión	VIV37_R
	Viviendas que no disponen de automóvil o camioneta	VIV28_R
	Viviendas sin teléfono celular y línea telefónica	VIV38_R
	Viviendas sin computadora e internet	VIV39_R
Educación.	Grado promedio de escolaridad	EDU49_R
	Población de 8 a 14 años que no sabe leer ni escribir	EDU22_R
	Población de 15 años y más analfabeta	EDU28_R
	Población de 15 años y más con educación básica incompleta	EDU34_R
	Población de 18 años y más sin en educación media superior	EDU43_R
Ingreso	Población desocupada	ECO25_R
	Población económicamente no activa	ECO28_R
Salud	Población sin derecho a servicios de salud	SALUD2_R
Población indígena	Población de 3 años y más hablante de lengua indígena	INDI1_R
	Población de 5 años y más hablante de lengua indígena y que no habla español	INDI13_R
	Población en hogares indígenas	INDI20_R
Hogares	Hogares con jefatura femenina	HOGAR2_R
	Población con jefatura femenina	HOGAR5_R
	Hogares con jefa (e) mayor de 60 años y menor de 30 años	HOGAR60_30

Tabla 9
VARIABLES FINALES PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SOCIAL

DATA_BASE		
Población	Porcentaje de Población de 0 a 5 años de edad	POB_0_5
	Porcentaje de Población de 65 años y más	POB_65MAS
	Razón de dependencia infantil	POB_DEP_INFANTIL
	Razón de dependencia vejez	POB_DEP_VEJEZ
Vivienda	Porcentaje de viviendas particulares habitadas con más de 2.5 ocupantes por dormitorio	VIV_2.5_OCIUPA
	Porcentaje de viviendas particulares habitadas que no disponen de agua entubada en el ámbito de la vivienda	VIV1_NO_AGUA
	Porcentaje de viviendas sin drenaje	VIV_NO_DREN
	Porcentaje de hogares que no disponen de automóvil o camioneta	VIV_NO_AUTO
	porcentaje de hogares sin teléfono celular y línea telefónica	VIV_NO_CEL
	Porcentaje de hogares sin computadora e internet	VIV_NO_COMPU
Educación.	Porcentaje de Población de 8 a 14 años que no sabe leer ni escribir	EDU_NO_LE
	Porcentaje de Población de 15 años y más analfabeta	EDU_ANALFABETA
	Porcentaje de 15 años y más con educación básica incompleta	EDU_B_INCOMP
Salud	Población sin derecho a servicios de salud	SALUD_SIN_SS
Población indígena	Porcentaje Población de 3 años y más hablante de lengua indígena	INDI_HABLA_03
	Población en hogares indígenas	INDI_HOGAR_INDI
Hogares	Porcentaje de población en hogares censales con jefatura femenina	HOGAR_JEFA_FEM
	Porcentaje de hogares censales con jefa (e) mayor de 60 años y menor de 30 años	HOGAR_J_60_30

Como ya se menciona con anterioridad el número total de variables utilizadas para la construcción del índice de vulnerabilidad social en la región de estudio considera 18 variables, de las cuales se permitió identificar 4 factores que resultaron de la PCA realizada. La reducción de las variables se lleva a cabo mediante el análisis de las comunales, las cuales expresan la proporción de varianza de cada una de estas que puede explicarse por los componentes principales; de acuerdo a Siagian (2014) y Solangaarachchi (2012), el valor de las comunales debe ser superior a 0.5 (≥ 0.5) pues esto representa una buena selección de las variables.

Tabla 10
Comunalidades obtenidas por PCA

Comunalidades		
Variable.	Inicial	Extracción
POB_0_5	1.000	0.772
POB_65MAS	1.000	0.917
POB_DEP_INFANTIL	1.000	0.777
POB_DEP_VEJEZ	1.000	0.859
VIV_2.5_OCIUPA	1.000	0.900
VIV1_NO_AGUA	1.000	0.694
VIV_NO_DREN	1.000	0.687
VIV_NO_AUTO	1.000	0.667
VIV_NO_CEL	1.000	0.826
VIV_NO_COMPU	1.000	0.964
EDU_NO_LE	1.000	0.539
EDU_ANALFABETA	1.000	0.815
EDU_B_INCOMP	1.000	0.888
SALUD_SIN_SS	1.000	0.709
INDI_HABLA_03	1.000	0.919
INDI_HOGAR_INDI	1.000	0.888
HOGAR_JEFA_FEM	1.000	0.489
HOGAR_J_60_30	1.000	0.716

El análisis de PCA extrajo un total de cuatro componentes, mismos que explican el 77.92% de la varianza total. El primer componente del PCA siempre representa la mayor varianza, y por lo tanto, tiene el valor propio más alto; el segundo componente explica la mayor parte de la varianza restante y así sucesivamente en los demás componentes, siendo, que los otros explican cada vez menos la varianza.

La columna de porcentaje de varianza contiene el porcentaje de variación explicado por cada componente principal, mientras que la columna del porcentaje acumulado contiene el porcentaje acumulativo de variación explicado por los componentes principales actuales y todos los anteriores. Dentro de este trabajo, el primer componente (con el valor propio más alto de 8.498) representó la mayor varianza con un 47.21%, el segundo componente representó el 13.33 %. Por lo tanto, cada componente sucesiva se encuentra representando cada vez menos varianza.

La suma de extracción de cargas cuadradas normales y rotacionales tiene tres columnas que reproducen exactamente los valores dados en la misma fila del lado izquierdo de la tabla, este análisis da como resultado las cuatro componentes principales como se muestra en la tabla 1

Tabla 11
Varianza total e identificación de número de componentes

Componente	Varianza total explicada								
	Autovalores iniciales			Sumas de cargas al cuadrado de la extracción			Sumas de cargas al cuadrado de la rotación		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	8.498	47.211	47.211	8.498	47.211	47.211	6.24	34.679	34.679
2	2.400	13.333	60.544	2.400	13.333	60.544	3.16	17.576	52.255
3	1.811	10.063	70.607	1.811	10.063	70.607	3.00	16.717	68.973
4	1.317	7.318	77.925	1.317	7.318	77.925	1.61	8.952	77.925
5	0.713	3.960	81.885						
6	0.606	3.368	85.252						
7	0.597	3.318	88.570						
8	0.547	3.041	91.611						
9	0.371	2.059	93.671						
10	0.293	1.626	95.297						
11	0.214	1.189	96.486						
12	0.195	1.084	97.570						
13	0.136	0.754	98.324						
14	0.118	0.656	98.980						
15	0.078	0.431	99.410						
16	0.057	0.317	99.728						
17	0.028	0.155	99.883						
18	0.021	0.117	100.000						

Con respecto al valor de las cargas factoriales para cada una de los componentes, estas pueden ser observadas en la tabla. Dentro de los resultados, los valores positivos representan un mayor potencial de vulnerabilidad social, mientras que los números negativos se interpretan como un potencial reducido de la vulnerabilidad. Dependiendo de los valores numéricos, el grado de vulnerabilidad puede ser muy alto o muy bajo. Dentro de este análisis los valores de puntajes dentro de los cuatro componentes oscilaron entre 0.961 (mayor vulnerabilidad) y -0.383 (menor vulnerabilidad).

Tabla 12
Tipo de componente principal asignado con base a variables que lo integran

	Población joven y baja disponibilidad de bienes	Población indígena y analfabetismo	Población de edad avanzada y jefaturas de familia	Servicios de vivienda
POB_0_5	0.818	0.290	-0.124	0.055
POB_65MAS	-0.372	-0.022	0.882	-0.017
POB_DEP_INFANTIL	0.787	0.278	-0.198	0.200
POB_DEP_VEJEZ	-0.367	-0.058	0.848	0.051
VIV_2_5_OCUPA	0.903	0.143	-0.176	0.180
VIV_NO_AGUA	0.315	0.076	-0.171	0.749
VIV_NO_DREN	0.103	0.019	-0.051	0.821
VIV_NO_AUTO	0.699	0.147	-0.383	-0.097
VIV_NO_CEL	0.872	0.111	-0.113	0.201
VIV_NO_COMPU	0.961	0.086	-0.154	0.092
EDU_NO_LE	0.316	0.628	-0.110	-0.180
EDU_ANALFABETA	0.461	0.775	-0.008	0.035
EDU_B_INCOMP	0.847	0.385	-0.110	0.097
SALUD_SIN_SS	0.691	0.360	0.012	0.319
INDI_HABLA_03	0.054	0.954	-0.038	0.067
INDI_HOGAR	0.262	0.856	-0.170	0.240
HOGAR_JEFA_FEM	0.004	-0.113	0.679	-0.125
HOGAR_J_60_30	-0.032	-0.053	0.834	-0.131

Elaboración a partir de los resultado de ACP: Juárez Gerónimo, Ladino Álvarez,

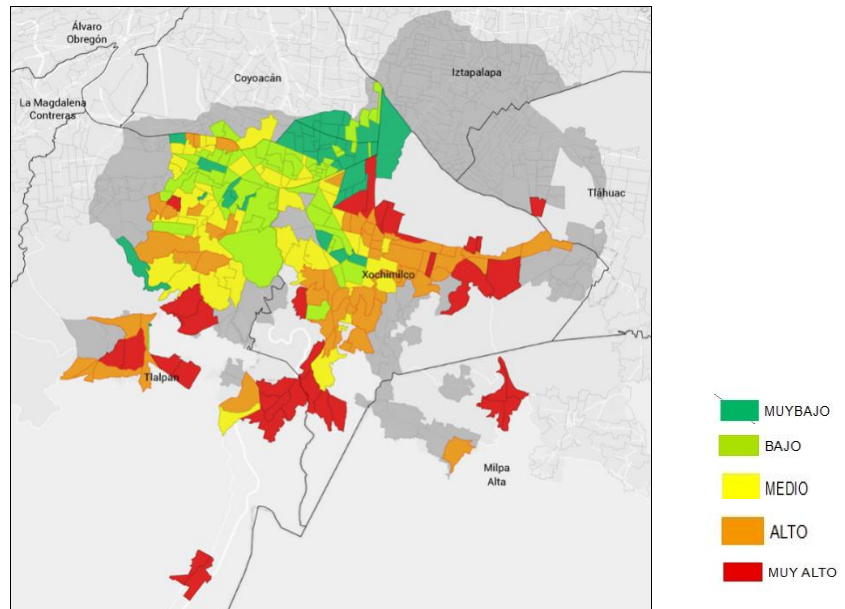
El factor 01 se encuentra representando directamente por características de la población de cero a cinco años de edad, razón de dependencia infantil, hacinamiento, servicios de comunicación (acceso en servicios de internet, celular, línea telefónica y transporte); factor 02 comprende las condiciones de educación y población indígena; el factor 03 hace se enfoca en la población de la tercera edad y su razón de dependencia así como jefa (e) de familia en edad precaria (menor de 30 y mayor de 60) y hogares con cabeza familiar femenina; finalmente el factor 04 contiene la información de los servicios básicos de una vivienda (agua y drenaje).

FACTORES

Factor 1 – Población joven y baja disponibilidad de bienes.

El factor 1 explica el 34.68 % de la varianza del modelo, siendo las variables dominantes, la población menor de 5 años (0.818), dependencia infantil (0.787), hacinamiento (0.903), hogares sin automóvil (0.699), hogares sin línea telefónica y celular (0.872), hogares sin computadora y acceso a internet (0.961) y sin servicios de salud (0.691). En el siguiente mapa se puede ver la distribución espacial de dichos elementos, en el cual se puede apreciar que la zona sur es la que presenta en mayor medida estas características

Factor 1
Población joven y baja disponibilidad de bienes



Elaboración: Juárez Gerónimo, Ladino Álvarez, Reyes Alcantar, 2018.

A continuación, en la tabla 13 se muestra indicadores con respecto al nivel de intensidad en términos de la población.

Tabla 13
Indicadores con respecto al nivel de intensidad

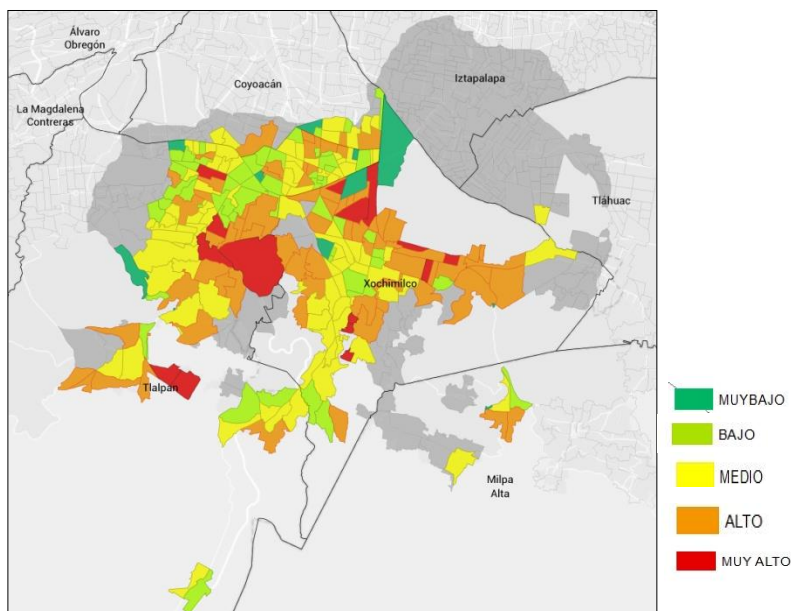
Población joven y baja disponibilidad de bienes.											
Intensidad	No. AGEB	POB_TOT	Km2	POB_0_5	POB_DEP_IN	VIV_2_5_OC	VIV_NO_AUT	VIV_NO_CEL	VIV_NO_COM	EDU_B_INCO	SALUD_SIN_
Muy Bajo	41	72112	14.64	26.966	19.156	6.279	16.702	4.860	10.830	15.203	30.548
Bajo	60	168993	22.49	27.306	18.727	9.844	16.255	7.498	17.534	17.950	13.763
Medio	49	174252	23.81	2.887	2.084	1.629	2.160	1.039	2.291	2.235	1.220
Alto	56	215733	29.5	17.801	13.713	14.210	15.656	8.255	17.486	14.773	6.209
Muy Alto	37	116834	26.1	31.829	26.827	30.205	29.469	21.882	36.639	31.200	16.242
Total	243	747924	116.5	106.789	80.517	62.168	80.242	43.534	84.780	81.362	67.983

Elaboración: Juárez Gerónimo, Ladino Álvarez, Reyes Alcantar, 2018.

Factor 2 – Población indígena y analfabetismo.

El factor 2 explica el 17.6% de la varianza, dentro de este factor las variables que contribuyen al puntaje están relacionadas con la condición de educación y las características de población indígena. La educación está compuesta por aquella población de 8 a 14 años que no sabe leer ni escribir (0.628) y población de 15 años y mas analfabeta (0.775); las características indígenas quedan representadas por aquella población de 3 años y mas que habla únicamente lengua indígena (0.954) y los hogares indígenas (0.856). Como se puede observar la población que presenta en mayor medida estas características se encuentran en las alcaldías de Xochimilco y Tlalpan

Factor 2
Población indígena y analfabetismo



Elaboración: Juárez Gerónimo, Ladino Álvarez, Reyes Alcantar, 2018.

Tabla 14
Indicadores con respecto al nivel de intensidad

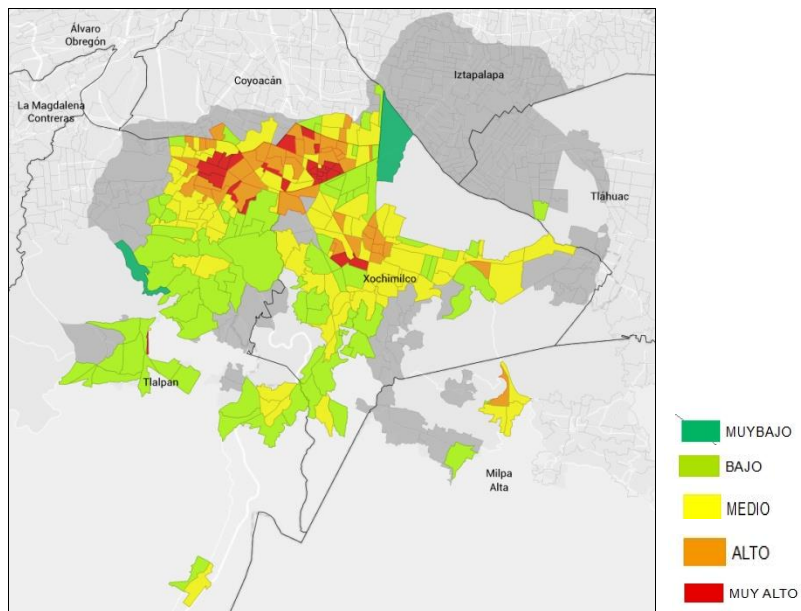
Población indígena y analfabetismo.							
Intensidad	No. AGEB	POB_TOT	Km2	EDU_NO_LE	EDU_ANALFA	INDI_HABLA	INDI_HOGAR
Muy Bajo	11	5256	6.25	3.129	2.970	0.000	1.683
Bajo	56	134512	18.69	4.566	8.817	1.517	1.492
Medio	89	287158	39.03	0.695	1.753	0.427	0.414
Alto	72	280789	41.53	10.983	12.144	4.977	6.367
Muy Alto	15	40209	11	10.103	11.734	8.463	10.240
Total	243	747924	116.5	29.477	37.417	15.384	20.196

Elaboración: Juárez Gerónimo, Ladino Álvarez, Reyes Alcantar, 2018.

Factor 3 - Población de edad avanzada y jefaturas de familia.

En este factor se encuentra la población de 65 años (0.882) y su razón de dependencia (0.848), así como las características de los hogares que cuentan con un jefe(a) de familia mayor a los 60 años y menos a los 30 años (0.834) y aquellos hogares donde el jefe de familia es una mujer (0.679) se encuentran respetando el 16.72 % de la varianza del modelo. En este caso, se concentra al norte de la zona de estudio, teniendo mayor impacto en la alcaldía de Coyoacán

Factor 3
Población de edad avanzada y jefaturas de familia



Elaboración: Juárez Gerónimo, Ladino Álvarez, Reyes Alcantar, 2018.

Tabla 15
Indicadores con respecto al nivel de intensidad

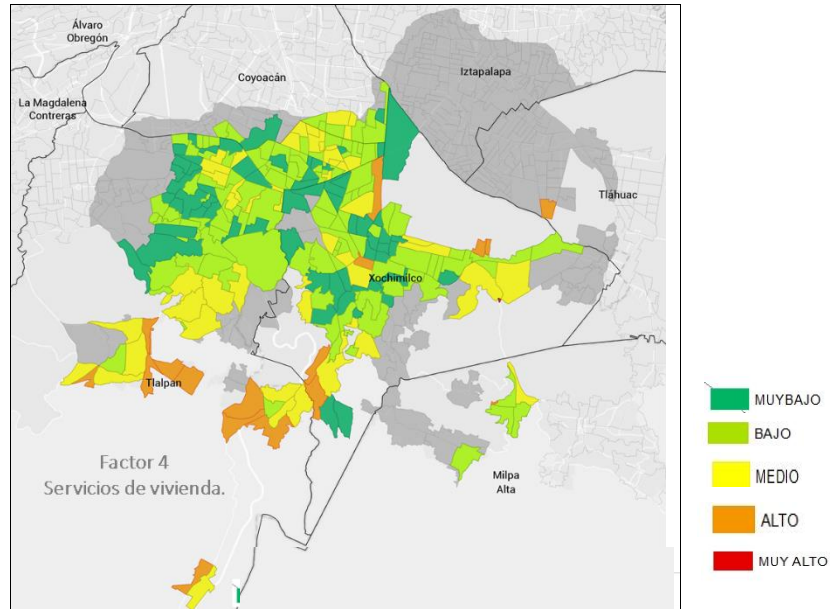
Población de edad avanzada y jefaturas de familia.							
Intensidad	No. AGEB	POB_TOT	Km2	POB_65MAS	POB_DEP_VE	HOGAR_JEFA	HOGAR_J_60
Muy Bajo	3	51	4.32	0.00	0.199	0.000	0.000
Bajo	82	247615	53.15	3.95	3.564	23.593	16.308
Medio	85	337867	40.63	2.57	2.149	8.364	7.037
Alto	49	125358	13.71	11.97	10.004	30.435	28.845
Muy Alto	24	37033	4.7	26.93	24.251	43.574	41.199
Total	243	747924	116.5	45.423	40.167	105.965	93.390

Elaboración: Juárez Gerónimo, Ladino Álvarez, Reyes Alcantar, 2018.

Factor 4 –Servicios de vivienda.

El total de viviendas que no cuentan con agua entubada (0.749) y las viviendas que no cuentan con servicio de drenaje (0.821) constituyen el 8.952 % de la varianza del modelo. Respecto a este factor, no se encontró ninguna ageb con características muy altas, sin embargo si hay una cantidad de zonas que presentan ausencia de estos elementos, encontrándose en la categoría de alto.

Factor 4
Servicios de vivienda



Elaboración: Juárez Gerónimo, Ladino Álvarez, Reyes Alcantar, 2018.

Tabla 15
Indicadores con respecto al nivel de intensidad

Servicios de vivienda.					
Intensidad	No. AGE	POB_TOT	Km2	VIV_NO_AGU	VIV_NO_DRE
Muy Bajo	61	219949	27.7	1.524	0.617
Bajo	111	358251	48.5	0.397	0.750
Medio	51	144864	29.88	11.063	4.124
Alto	19	24816	10.38	30.743	7.772
Muy Alto	1	44	0.012	7.020	8.333
Total	243	747924	116.5	50.748	21.596

Elaboración: Juárez Gerónimo, Ladino Álvarez, Reyes Alcantar, 2018.

INTEGRACIÓN DE LA INFORMACIÓN, MODELO(S) EN NIVEL DE EXPOSICIÓN

26

El modelo SAVE (*Spatial Approach to Vulnerability Assessment*) propuesto por Morales, (2007), ofrece una estrategia de análisis operativo a partir de las relaciones espaciales de los elementos socio-ambientales sujetos a las características y relaciones de exposición, sensibilidad, y resiliencia de los sistemas a las perturbaciones o amenazas naturales²⁴.

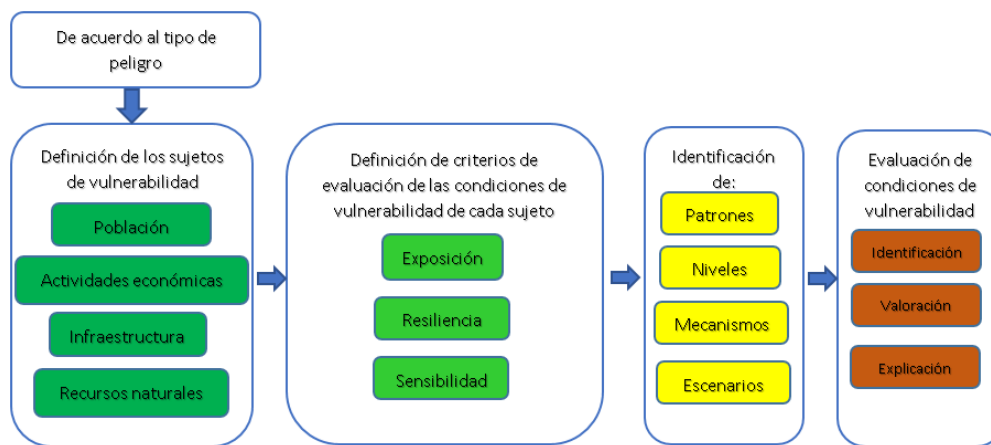


Figura. Esquema SAVE de análisis de vulnerabilidad. Fuente: Morales, 2007.

El esquema parte del modelo conceptual de Turner et al. (2003), el cual propone una visión más amplia de la vulnerabilidad que surge bajo el análisis de los modelos de vulnerabilidad social y física considerando la correlación existente entre el sistema humano-ambiental y su potencial a ser afectado a diversas escalas espaciotemporales.

El modelo SAVE define cuatro tipos de entidades espaciales como sujetos de vulnerabilidad: la población, las actividades económicas, la infraestructura y los recursos naturales.

Dicho modelo se orienta a identificar las relaciones espaciales de los componentes de vulnerabilidad de cada sujeto y su evaluación se efectúa tomando en cuenta el tipo de amenaza al que están expuestos.

Partiendo del esquema anterior para este trabajo el esquema SAVE se empleará como se muestra en la figura tomando como sujetos de vulnerabilidad a la población así como viviendas y hogares, empleando la exposición y sensibilidad para definir los criterios de evaluación de las condiciones de vulnerabilidad de cada sujeto, ya que no se cuentan con datos que permitan conocer la

²⁴Corona, N. (2009). *Vulnerabilidad de la ciudad de Morelia a Inundaciones* (Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México.

resiliencia de la zona de estudio, posteriormente se identificarán los niveles y patrones para posteriormente evaluar las zonas.

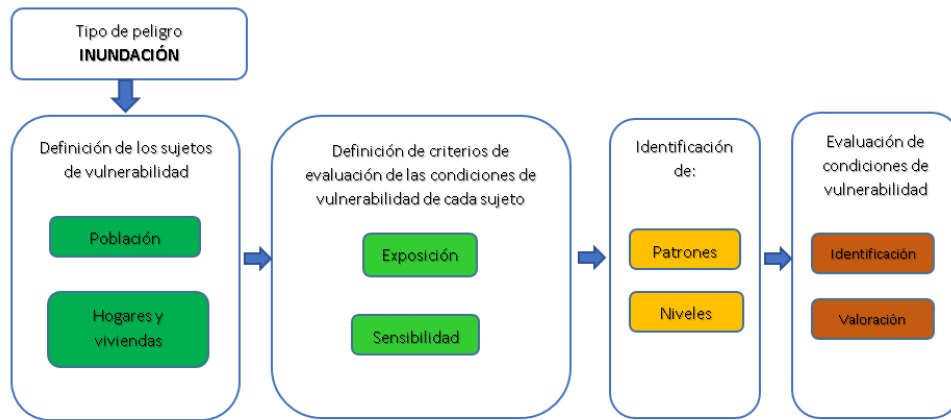
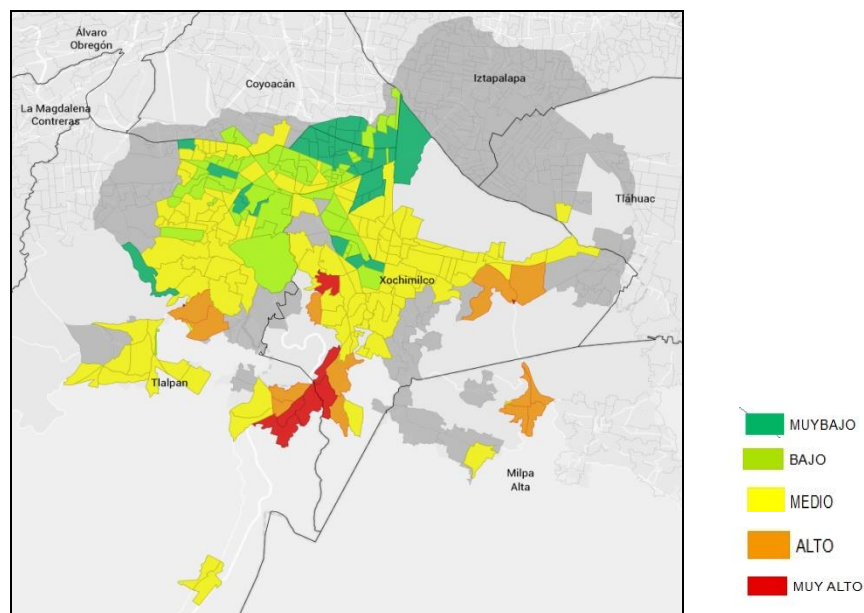


Figura. Esquema SAVE de análisis de vulnerabilidad. Fuente: Morales, 2007. Modificado y adaptado para proyecto de Evaluación de la vulnerabilidad social ante inundaciones al sur de la Ciudad de México. Gerónimo Jazmín, Ladino Álvarez, Reyes Alcantar, 2018.

De este modo, implementando la metodología anterior, se realizó la integración de la información, es decir, el tirante de inundación y los factores correspondiente a los características sociodemográficas de la población, obteniendo como resultado los elementos a continuación expuestos.

En el mapa 1 se puede observar que hay 4 ageb que muestran un nivel de exposición por inundación muy alto, siendo indispensable la atención directa a esta población, atacando en primer instancia la baja disponibilidad de bienes, ya que es esto un de los elementos que los pone en desventaja para atender oportunamente y prevenir alguna inundación.

Mapa 1
Nivel de exposición de población joven y baja disponibilidad de bienes



Elaboración: Juárez Gerónimo, Ladino Álvarez, Reyes Alcantar, 2018.

En las tablas 16 se detalla el nivel de exposición tanto por ageb como por población afectada.

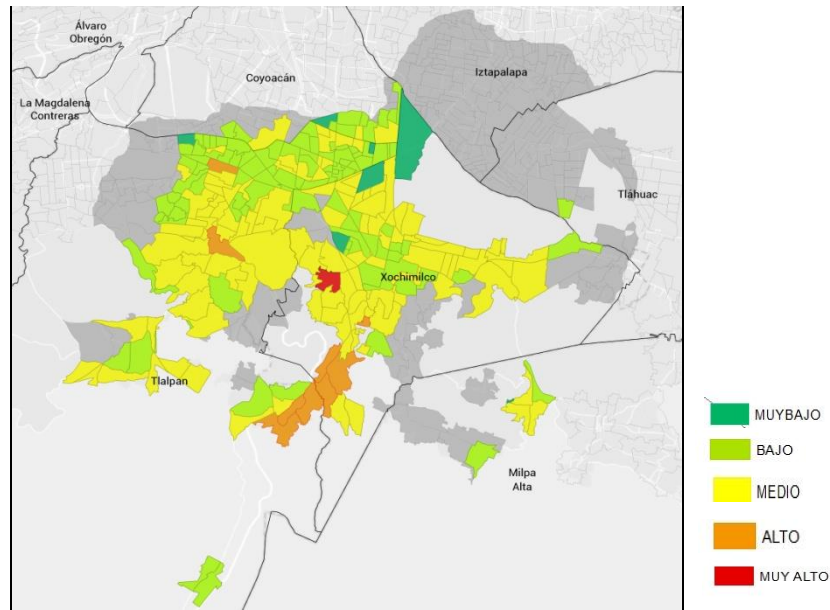
Tabla 16
Número de ageb y población afectada por el nivel de exposición respecto al factor 1

AGEB		Vulnerabilidad					Población		Vulnerabilidad				
		Muy bajo	Bajo	Media	Alto	Muy Alto			Muy bajo	Bajo	Media	Alto	Muy Alto
Inundación	Muy alto				2	2				4443	1860		
	Alto			1		4			825		19372		
	Medio	3	3	8	11	7	2250	14725	40973	31785	36380		
	Bajo	7	12	13	6	5	7481	20520	28938	27709	17147		
	Muy Bajo	31	45	27	37	19	62381	133748	103516	151796	42075		

Elaboración: Juárez Gerónimo, Ladino Álvarez, Reyes Alcantar, 2018.

En el mapa 2, se muestra el resultado de la conjunción de los datos del tirante de inundación y la distribución espacial obtenida por el factor 2.

Mapa 2
Nivel de exposición de población indígena y analfabetismo



Elaboración: Juárez Gerónimo, Ladino Álvarez, Reyes Alcantar, 2018.

En la tabla 17, muestra nuevamente el nivel de exposición tanto por ageb como por población afectada, en la que se puede observar que respecto a este factor, solamente hay una ageb en la clasificación muy alto, pudiendo tener un impacto a causa de inundaciones en 4,382 personas.

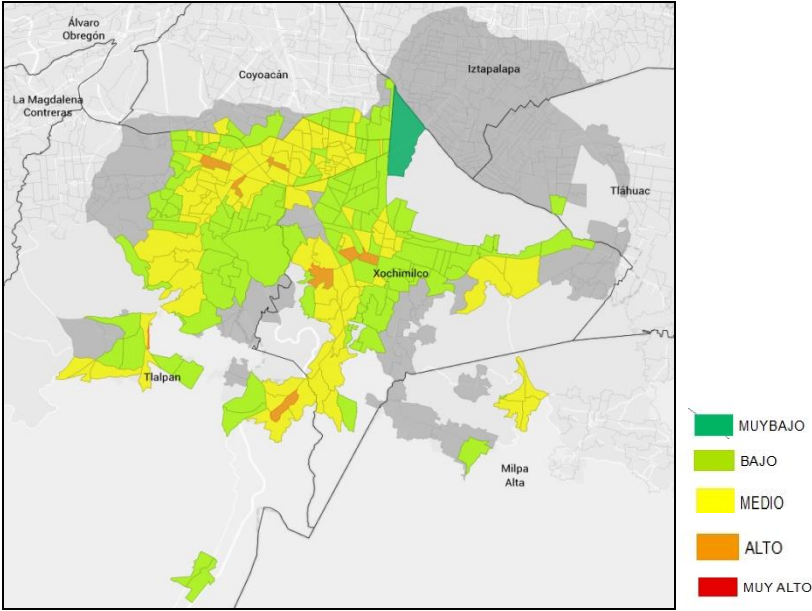
Tabla 17
Número de ageb y población afectada por el nivel de exposición, respecto al factor 2

AGEB		Vulnerabilidad					Población		Vulnerabilidad				
		Muy bajo	Bajo	Media	Alto	Muy Alto			Muy bajo	Bajo	Media	Alto	Muy Alto
Inundación	Muy alto	2	1		1		105	1816		4382			
	Alto			4	1				12428	7769			
	Medio		4	16	12			8956	65779	51378			
	Bajo	2	15	15	8	3	310	31095	30759	29988	9643		
	Muy Bajo	7	36	54	50	12	4841	92645	178192	187272	30566		

Elaboración: Juárez Gerónimo, Ladino Álvarez, Reyes Alcantar, 2018.

En cuanto al factor 3, el cual esta relacionado con la población de edad avanzada y jefaturas de familia se puede observar que principalmente la conjunción de los dos elementos (tirante de inundación y las variables de vulnerabilidad), muestran que la población principalmente se encuentra en un nivel de vulnerabilidad medio. En este caso, no se encuentra ninguna ageb con estas categorías en nivel alto ni muy alto. En la tabla 18 se detalla a profundidad la información y el nivel de afectación en cada ageb.

Mapa 3
Nivel de exposición de población de edad avanzada y jefaturas de familia



Elaboración: Juárez Gerónimo, Ladino Álvarez, Reyes Alcantar, 2018.

Tabla 18
Número de ageb y población afectada por el nivel de exposición, respecto al factor 3

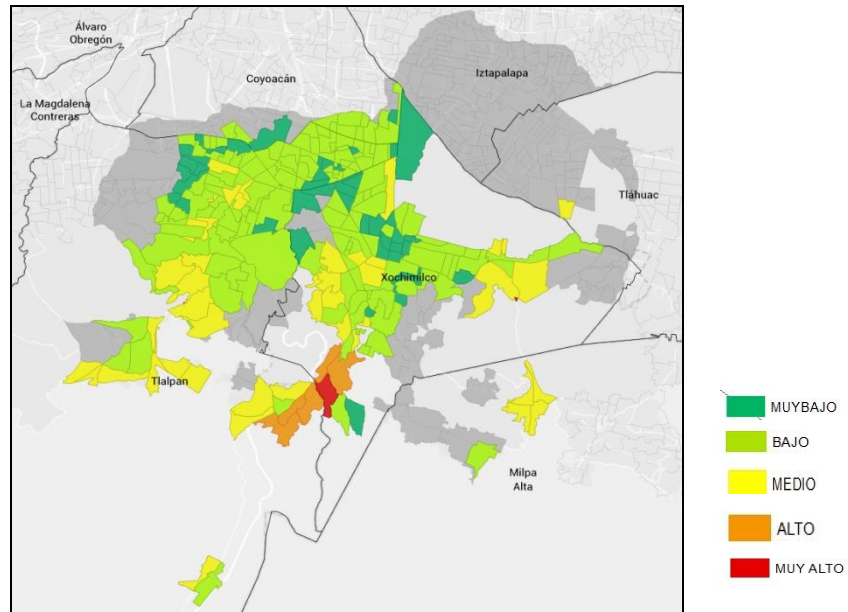
AGEB		Vulnerabilidad				
		Muy bajo	Bajo	Media	Alto	Muy Alto
Inundación	Muy alto		3	1		
	Alto		4	1		
	Medio		14	15	3	
	Bajo	2	14	13	8	6
	Muy Bajo	1	47	55	38	18

Población		Vulnerabilidad				
		Muy bajo	Bajo	Media	Alto	Muy Alto
Inundación	Muy alto		1921	4382		
	Alto		16009	4188		
	Medio		51505	68849	5759	
	Bajo	45	32050	45721	17506	6473
	Muy Bajo	6	146130	214727	102093	30560

Elaboración: Juárez Gerónimo, Ladino Álvarez, Reyes Alcantar, 2018.

Finalmente, respecto a los datos de servicios de vivienda englobados en el factor 4 y el tirante de inundación se puede observar que la zona con mayor afectación es la sur, con ageb perteneciente a las alcaldías de Xochimilco y Tlalpan, a continuación se muestra el mapa y las tablas donde se puede profundizar en la información.

Mapa 4
Nivel de exposición y servicios de vivienda



Elaboración: Juárez Gerónimo, Ladino Álvarez, Reyes Alcantar, 2018.

Tabla 19
Número de ageb y población afectada por el nivel de exposición, respecto al factor 4

AGEB		Vulnerabilidad				
		Muy bajo	Bajo	Media	Alto	Muy Alto
Inundacion	Muy alto	1		1	1	1
	Alto			3	2	
	Medio	9	13	6	4	
	Bajo	9	18	12	4	
	Muy Bajo	42	80	29	8	

Población		Vulnerabilidad				
		Muy bajo	Bajo	Media	Alto	Muy Alto
Inundacion	Muy alto	4382		61	1816	44
	Alto			10794	9403	
	Medio	46560	46684	30887	1982	
	Bajo	24118	48573	24719	4385	
	Muy Bajo	144889	262994	78403	7230	

Elaboración: Juárez Gerónimo, Ladino Álvarez, Reyes Alcantar, 2018.

Los desastres pueden ocurrir en cualquier momento, por ello es importante la prevención y el conocimiento sobre cómo actuar ante dicho suceso. La aplicación de este modelo permite a los tomadores de decisiones (organismos públicos), conocer las áreas con mayor nivel de exposición al fenómeno de inundación y sobre estas aplicar diversas políticas públicas orientadas a los distintos sectores de la población en la zona sur de la Ciudad de México para reducir las afectaciones causadas por dicha exposición.

La vulnerabilidad varía del espacio geográfico y dentro de los grupos sociales, al ser una medida dinámica con el tiempo, los diferentes niveles de exposición elaborados representan información temporal sobre la cual han sido construidos, de este modo, la variabilidad de la vulnerabilidad y los diferentes escenarios de exposición social ante inundaciones permiten entender que los desastres son en gran medida una construcción social, por lo que su entendimiento desde la perspectiva antropológica es necesaria para entender como estos pueden llegar a materializarse en riesgo.

El presente trabajo tiene gran relevancia ya que permite conocer los patrones espaciales en los que se distribuyen los diferentes sectores de la población, facilitando generar e implementar estrategias que ayuden a prevenir y mitigar los posibles daños ocasionados. Adicionalmente, cumple con las bases y herramientas metodológicas para ser llevado a otras escalas (delegaciones, municipios, etc.); adaptándolo a procedimientos específicos para evaluar la vulnerabilidad social a la que se encuentra expuesta la población ante otro elemento de exposición.

- Alcántara Ayala Irasema, La afición por la prevención, CENAPRED, México 2014
- Centro Nacional de Prevención de Desastres. 2016. Descripción de los fenómenos hidrometeorológicos. Definición del riesgo
- Chakraborty J., Tobin G. A., Montz, B. E. 2005. Population Evacuation: Assessing Spatial Variability in Geophysical Risk and Social Vulnerability to Natural Hazards. Recuperado de: [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2005\)6:1\(23\)](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)1527-6988(2005)6:1(23))
- Coninx I., Bachus K. Integrating social vulnerability to floods in a climate change context.
- Corona, Tendencia de ocupación del territorio por la expansión de la mancha urbana de la Ciudad de México y su zona metropolitana en Estudio: Análisis de las principales dinámicas territoriales, económicas y sociales del Distrito Federal y la ZMCM, con énfasis en sus tendencias a futuro, México, 2016
- Fekete A., Damm M., Birkmann J. 2010. Scales as a challenge for vulnerability assessment.
- García Acosta, El riesgo como construcción social y la construcción social de riesgos, México, 2005
- Hausmann, Peter, Perils, Cat. 1998. Floods – An Insurable Risk?.
- Karel Kok Karel A. Resilient flood management for Xochimilco, Mexico City.
- Karmakar S., Simonovic S. P. 2007. Flood frequency analysis using copula with mixed marginal distributions
- Masood M., Takeuchi, K. 2011. Assessment of flood hazard, vulnerability and risk of mid-eastern Dhaka using DEM and 1D hydrodynamic model.
- McCarthy J. J., Canziani O. F., Leary N. A., Dokken D.J., White K.S. 2001. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability.
- Messner F., Penning-Rowsell E., Green C., Meyer V., Tunstall S., Veen A. 2005. Guidelines for socio economic flood damage evaluation.
- Mortsch Linda D. 2014. Floods: Mapping Vulnerability in the Upper Thames Watershed under a Changing Climate.
- Salami R.O., Von Meding J.K., Giggins H. 2017. Vulnerability of human settlements to flood risk in the core area of Ibadan metropolis, Nigeria.
- Suárez y Delgado, La expansión urbana probable de la Ciudad de México. Un escenario pesimista y dos alternativos para el año 2020, estudios demográficos y urbanos, México, 2007
- Yoon Sun-Kwon, Kim Jong-Suk, MoonYoung-II. 2013. Integrated Flood Risk Analysis in a Changing Climate: A Case Study from the Korean Han River Basin.