



SEGURIDAD HÍDRICA EN LA CIUDAD DE MÉXICO: RIESGOS DE INUNDACIONES

Fase 1 Diagnóstico

Judith Domínguez Serrano

Coordinadora

2019

Resumen

México presenta una alta vulnerabilidad a sufrir los impactos de fenómenos hidrometeorológicos por su ubicación geográfica; entre ellos, el 33% se refieren a las inundaciones; aproximadamente el 40% del país y más de la cuarta parte de la población están expuestos a inundaciones (Segob-Banco Mundial, 2012). El cambio climático intensifica los efectos de las lluvias provocando daños económicos y afectaciones sociales.

La crisis hídrica nos sitúa ahora frente a tres grandes desafíos en el camino de alcanzar la seguridad hídrica: lograr el acceso a agua segura para todas las personas, tener agua suficiente para la conservación de ecosistemas y el desarrollo de las actividades económicas y, la protección frente a fenómenos hidrometeorológicos. La escasez, la contaminación y las inundaciones en los entornos urbanos se verán agravadas por la rápida urbanización, provocando que la infraestructura y la población sean más vulnerables en un escenario de mayor incertidumbre por el cambio climático.

Por esa razón es de gran relevancia la generación de políticas públicas en el mediano y largo plazo que garanticen, no sólo la adaptabilidad de la Ciudad a una constante y permanente exposición a afectaciones por fenómenos de lluvias torrenciales, y que promuevan esquemas de ocupación del suelo acordes a la vocación del territorio, infraestructura urbana resiliente y dinámicas enfocadas al aprovechamiento y gestión de los recursos hídricos de manera sustentable, eficiente y con visión integral del funcionamiento del ciclo hidrológico, no sólo de los cuerpos o ríos superficiales, sino también de los mantos freáticos, las descargas residuales y las escorrentías pluviales y la dinámica del territorio. Pero sobretodo que desarrollen capacidades adaptativas en la población y en las instituciones para convivir con estos fenómenos que serán, al parecer, más frecuentes y con mayor posibilidad de que sean más intensos. Por ello, en el Centro de Estudios Demográficos, Urbanos y Ambientales de El Colegio de México se trabaja en el proyecto "Seguridad hídrica urbana: la gestión del riesgo de inundaciones" que tiene como objetivo revisar las afectaciones, las acciones que han adoptado las autoridades y plantear la posibilidad de planes de gestión del riesgo de inundaciones que integre la visión territorial, de agua y de riesgos para orientarlo hacia una ciudad resiliente.

CONTENIDO

Resumen	2
Siglas	6
Introducción.....	7
1. La seguridad hídrica	10
1.1 Concepto y alcances.....	10
1.2 Seguridad hídrica urbana	19
1.3 Las inundaciones como un reto de la seguridad hídrica urbana	23
1.4 Definiendo las inundaciones pluviales	25
1.5 Inundaciones pluviales en la ciudad de México	29
1.6 La obra hidráulica para afrontar las inundaciones pluviales en el Valle de México ..	35
1.7 El Túnel Emisor Oriente (TEO): La gran obra hidráulica de este siglo para desalojar las aguas pluviales de la CDMX.....	38
1.8 Panorama actual: aumento del riesgo de inundación	41
2. Caracterización de los principales aspectos de la Ciudad de México para un diagnóstico del fenómeno de inundaciones	45
2.1 Principales aspectos físicos	45
2.1.1 Cuencas y subcuencas	45
2.1.2 Inclinación de la Pendiente.....	47
2.1.3 Uso de Suelo y Vegetación.....	48
2.2 Principales aspectos sociodemográficos.....	52
2.2.1 Distribución de la población.....	52
2.2.3 Crecimiento de la mancha Urbana.....	55
2.2.4 Marginación Urbana.....	57
2.3 Principales aspectos económicos.....	59

2.3.1 Actividades de mayor producción económica de la Ciudad de México dentro de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM).....	64
2.3.2 Condición de actividad económica.....	66
2.3.3 División ocupacional.....	67
2.3.4 Sectores económicos.....	69
2.3.5 Ingresos.....	69
2.3.6 Población Flotante.....	70
3. Análisis de recurrencia, causalidad e intensidad de los encharcamientos de la Ciudad de México 2010-2018.....	72
3.1 Recurrencia de los encharcamientos de la Ciudad de México 2010-2018.....	73
3.1.1 Lluvia como factor detonante.....	74
3.2 Distribución espacial del fenómeno en la Ciudad de México.....	77
3.3 Causalidad de los encharcamientos de la Ciudad de México 2010-2018.....	83
3.4 Intensidad de los encharcamientos de la Ciudad de México 2010-2018.....	92
3.5 Tirante promedio por causa de los encharcamientos de la Ciudad de México.....	96
3.6 Densidad de la Intensidad de los encharcamientos por tirante 2010-2018.....	101
3.7 Encharcamientos por Colonia.....	102
3.7.1 Promedio de Intensidad de encharcamientos por Colonia.....	104
3.7.2 Dinamismo de los Encharcamientos por colonia.....	105
4. Análisis hidráulico de los flujos superficiales y la acumulación sobre suelo urbano modificado en la ciudad de México.....	110
4.1 Mapa Base.....	110
4.2 Índice Topográfico de Humedad.....	115
4.3 Susceptibilidad a inundaciones pluviales.....	115
4.4 Estimación de pérdidas económicas.....	117
4.5 Clasificación y definición de efectos del desastre.....	118

4.6 Estimación de producción económica	123
4.7 Estimación de Producción per Cápita por Subsector y por giro económico.	125
4.8 Modelaciones Cartográficas	127
4.9 Producción ajustada a los giros por año 2010 – 2018	131
4.10 Escenarios de afectaciones potenciales a la producción por años	133
4.11 Estimación de pérdidas económicas estimadas a través de ecuación de vulnerabilidad	138
4.12 Causas con mayor afectación por evento en CDMX.....	141
5. Índice de Amenaza por Susceptibilidad a Inundaciones a inundaciones pluviales (2010-2018).....	145
5.1 Mapa compuesto de Amenaza.....	145
Anexos: aspectos metodológicos.....	149
A) Metodología para geocodificación de registros de puntos de encharcamiento de la Ciudad de México del año 2010 al año 2018	149
B) Metodología de densidad de Kernel	150
C) Metodología para la identificación de Susceptibilidad ante Inundaciones Pluviales	151
Definición de cuenca de estudio.....	153
Análisis espacial hidrológico.....	155
Herramientas de Análisis espacial hidrológico (identificación y relleno de sumideros)	156
Dirección de flujo	159
Acumulación de flujo	161
Orden de flujos	163
Índice Topográfico de Humedad	165
Susceptibilidad a inundaciones pluviales	167

D) Metodología de Interpolación de la Distancia Inversa Ponderada (IDW) 168

Bibliografía..... 169

Siglas

CDMX	Ciudad de México
CENAPRED	Centro Nacional de Prevención de Desastres
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CONAPO	Consejo Nacional de Población
CRED	Centro de Investigación en Epidemiología de los Desastres
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
LGPC	Ley General de Protección Civil
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
OECD	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
SACMEX	Sistema de Aguas de la Ciudad de México
SCIAN	Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte
SEGOB	Secretaría de Gobernación
SEDEMA	Secretaría del Medio Ambiente
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Introducción

La seguridad hídrica se ha convertido en un objetivo de la gestión del agua ante la escasez de agua y frente a fenómenos hidrometeorológicos extremos, en los últimos años la discusión sobre una buena gobernanza del agua gira en torno a alcanzar esta seguridad hídrica. Así lo proponen los organismos internacionales (Banco Mundial, CAF, BID, ONU, GWP, por mencionar algunos), los estudios académicos recientes que desarrollan conceptualmente esta propuesta y algunos programas nacionales de diversos países.

En varios programas hídricos se plantea el desafío de la seguridad hídrica. La importancia de contar con agua en cantidad y calidad para toda la población, para el desarrollo de actividades y la conservación de ecosistemas es hoy en día un tema prioritario. De continuar las tendencias actuales de manejo del agua y de ingobernabilidad, se experimentará una creciente escasez en varias regiones hidrológicas, agravadas por la contaminación de los cuerpos de agua. Esta situación se verá complicada por la urbanización, que se estima alcanzará al 86% de la población en el año 2050, en ciudades asentadas con frecuencia en zonas donde ya tiene lugar la sobreexplotación de mantos acuíferos, por la competencia del uso para abastecimiento urbano con el uso agrícola y la generación de que incrementarán los conflictos. (Martínez-Austria, 2013, p. 178).

El contar con estrategias para hacer frente a los fenómenos hidrometeorológicos, que se presentan cada vez más intensos y con mayor frecuencia, se ha convertido en uno de los objetivos de la administración del agua. En México, cuando se habla de seguridad hídrica se alude principalmente a la gestión de los riesgos e impactos de los fenómenos hidrometeorológicos (PNH 2014-2018, p. 67). El país presenta una alta vulnerabilidad a sufrir los impactos de fenómenos naturales debido a su ubicación geográfica, de acuerdo con la EM-DAT *The international disasters database* se han registrado poco más de 253 eventos considerados como desastres -en su mayoría- durante el siglo XX; el 80% de origen hidrometeorológico, de los cuales el 33% se refieren a las inundaciones (Fondo para la comunicación y educación ambiental, A. C., 2017), por tanto, éstas últimas son consideradas una fuerte problemática con importantes repercusiones sociales y económicas. Aproximadamente el 40% del país y más de la cuarta parte de la población están expuestos a inundaciones (SEGOB-Banco Mundial, 2012).

En el país se cuenta con un marco normativo actual, un marco institucional de coordinación y un marco programático para la gestión integral de riesgos a nivel nacional, asimismo, con un Atlas nacional de riesgos para el país y diversos Atlas de riesgos estatales y municipales, y sin embargo, la capacidad de respuesta institucional es desigual en los estados, más aún en los municipios, por lo que falta consolidar un marco seguridad hídrica; por el contrario, las Estadísticas del agua muestran un panorama que va en el rumbo contrario; no se puede decir que se gestionen adecuada y preventivamente los riesgos tanto de escasez o de abundancia del agua. Las respuestas institucionales son, en su mayoría, de mitigación del problema una vez que ocurre, y aun cuando la Ley General de Protección Civil se refiere a la prevención como criterio rector (artículo 5 y 10), el presupuesto es mucho menor del que se destina a la mitigación.

Ante estos problemas y en el contexto de un amplio marco normativo y programático, surgen las siguientes interrogantes: ¿Qué factores intervienen en la exacerbación de los impactos de las inundaciones urbanas? ¿están preparadas las ciudades de México para enfrentar los riesgos hidrometeorológicos? ¿Es suficiente la infraestructura o qué tipo de infraestructura se requiere para mitigar y adaptarse a los nuevos escenarios que presenta la variabilidad climática? ¿Qué inversiones se requieren? ¿Es posible conocer el costo que representa la falta de una estrategia de acción ante las inundaciones? ¿Cuáles han sido las afectaciones a las zonas vulnerables, las pérdidas económicas, el deterioro de la infraestructura y la pérdida de la productividad? Es necesario al menos, estimar estos costos económicos y sociales para gestionar los futuros riesgos. Y contar con una respuesta institucional sistemática y organizada, en muchos casos, de carácter metropolitano.

Por la relevancia y constante incidencia dentro del entorno de la Ciudad de México este estudio se enfocará en analizar las inundaciones pluviales en esta demarcación territorial para mostrar las dimensiones de vulnerabilidad territorial, social e institucional presentes para su atención. En la Ciudad de México, los impactos de los fenómenos hidrometeorológicos se manifiestan, entre otros, en lluvias torrenciales que inundan varios puntos en la ciudad. Aunque la ciudad se ha visto afectada por inundaciones a través de varios siglos, con pérdidas humanas, económicas o impactos en la salud, el cambio climático ha intensificado las lluvias, considerándose ahora “atípicas” que son más constantes. En un periodo de 2010 a 2018 se han registrado por el SACMEX 29,837 episodios registrados como “encharcamientos”, aunque muchos de ellos son verdaderas inundaciones.

Por esa razón es de gran relevancia la generación de políticas públicas al mediano y largo plazo que garanticen, no solo la adaptabilidad de la ciudad a una constante y permanente exposición a afectaciones por fenómenos de lluvias torrenciales, y que promuevan esquemas de ocupación del suelo, infraestructura urbana y dinámicas enfocadas al aprovechamiento y gestión de los recursos hídricos de manera eficiente y global, no solo de los cuerpos o ríos superficiales, sino también de los mantos freáticos, las descargas residuales y las escorrentías pluviales.

Este estudio tiene por objetivo generar un diagnóstico del comportamiento de las inundaciones pluviales en la Ciudad de México (expresión de la inadecuada gestión de recursos hídricos, en materia de aprovechamiento y potencial de captación y del territorio) que analice los antecedentes del fenómeno, su intensidad y causalidad, así como un análisis hidráulico de la susceptibilidad presente en la superficie modificada de la ciudad, la disposición de sistemas expuestos y la posible afectación del fenómeno con la dinámica económica de la región para contar con el insumo básico para la generación de políticas territoriales al corto, mediano y largo plazo en materia de gestión y mitigación de riesgos.

Este estudio es realizado como investigación de un tema estratégico para las ciudades dentro del Observatorio de Seguridad Hídrica, bajo la coordinación de la Doctora Judith Domínguez Serrano. Participan en este proyecto la Licenciada en geografía Mónica Lucía Martínez Herrera y el Licenciado en geografía Luis Alberto Pérez Reyes quienes se encargaron de realizar la modelación cartográfica y la Licenciada Jimena Silva, becaria de investigación. El estudio consta de dos partes, una conceptual que aporta un marco analítico para revisar los fenómenos de inundaciones urbanas (o encharcamientos) bajo la perspectiva de seguridad hídrica que integra necesariamente la planificación hídrica y la territorial; y una metodológica, proponiendo un marco que el análisis de la vulnerabilidad a partir de un análisis espacial, en un primer momento, al que se integrarán mayores elementos para identificar el peligro y la vulnerabilidad a que está expuesta la ciudad y sus habitantes. La intención última es proponer adecuaciones o nuevas políticas y medidas para lograr una ciudad y una sociedad resiliente.

Se presentan en este documento los avances de investigación para la discusión.

1. La seguridad hídrica

1.1 Concepto y alcances

El concepto de seguridad hídrica se referenció por primera vez en el II Foro Mundial del Agua (2000) como el paradigma que permite definir los requerimientos a los que la humanidad debiera orientar los esfuerzos para alcanzar una adecuada gestión del agua.

En esa discusión, se identificó que la seguridad hídrica consiste en tener:

- 1) Disponibilidad de agua en cantidad y calidad para abastecimiento humano, diversos usos, la protección de los ecosistemas y la producción;
- 2) Capacidad institucional, financiera y de infraestructura para acceder y aprovechar el agua de forma sustentable;
- 3) Un nivel de riesgo aceptable para la población, el medio ambiente y la economía que se ven afectados por la inestabilidad de los recursos hídricos.

A partir de ahí, otros foros también abordaron el desafío de la seguridad hídrica; así en el Foro Económico Mundial en el 2009 se planteó como la “red que conecta todos los grandes desafíos (alimentación, energía, cambio climático y desarrollo económico, entre otros) que debe enfrentar la humanidad en las próximas décadas” (WEF, 2011: 24).

El Informe sobre los riesgos globales de 2018 identificó como uno de los riesgos mundiales a la crisis del agua (quinto lugar) interconectado con la crisis alimentaria, el fracaso de las medidas de mitigación y adaptación; los eventos extremos, los desastres ambientales provocados por el hombre, la pérdida de biodiversidad y el colapso de los ecosistemas; en el Informe de 2017 los riesgos ambientales dominaron el panorama de riesgos, así se identificó en primer lugar a los eventos relacionados con el clima, en tercer lugar a los riesgos relacionados con la gestión del agua y en cuarto lugar a los desastres naturales. Esto es muestra de que la crisis del agua ha sido identificada como un riesgo para la economía mundial, muy relacionado con el fallo de los sistemas de gobernanza global, nacional y locales.

Diversas son las definiciones que se han dado desde que surgió esta nueva forma de aproximarse a la problemática del agua; destacando aspectos orientados a contribuir a la paz y la estabilidad política.

Para Naciones Unidas la *Seguridad Hídrica* es: “La capacidad de una población para salvaguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas de agua de calidad aceptable para los medios de vida que sostienen, el bienestar humano y el desarrollo socioeconómico, para garantizar la protección contra la contaminación y relacionados por el agua, y para preservar los ecosistemas en un clima de paz y estabilidad política” (ONU, 2013).

Las diversas definiciones ponen de relieve los aspectos ambientales, domésticos, económicos, urbanos que resultan afectados por una mala gestión del agua y lo vinculan al concepto de resiliencia (Alianza Latinoamericana, 2018:1-2), así la definen como “la capacidad de las sociedades de lograr un manejo exitoso e integral de sus recursos y servicios hídricos para cubrir las necesidades de cada una de las dimensiones de la seguridad hídrica (Seguridad Hídrica Ambiental, Seguridad Hídrica Doméstica, Seguridad Hídrica Económica, Seguridad Hídrica Urbana y Resiliencia ante desastres naturales)”.

Para la FAO es la “Capacidad de proporcionar suministros de agua adecuados y fiables para las poblaciones que viven en las zonas más secas del mundo para satisfacer las necesidades de producción” (FAO, 1996:1), para el Banco de Desarrollo de América Latina (CAF) si no se cuenta con seguridad hídrica se afecta directamente el bienestar y desarrollo de los países; e identifica como desafíos el suministro de agua potable y saneamiento en las ciudades y comunidades rurales; la garantía de alimentos y la expansión de la frontera de riego; la reducción de pérdidas de vidas y costos económicos resultantes de inundaciones, sequías y desastres naturales; el suministro confiable y seguro de agua para la industria, la minería, el turismo y otras actividades productivas; el tratamiento adecuado de las aguas servidas que generan las actividades productivas del recurso, la utilización del alto potencial hidroeléctrico de la región, y la protección de los ecosistemas asociados al agua (Banco de Desarrollo de América Latina, 2016:4).

La OCDE elabora un concepto de la seguridad hídrica en torno a los riesgos e identifica cuatro asociados al agua: el riesgo de escasez, como falta de suficiente agua para todos los usos; el riesgo de inadecuada calidad del agua para los diversos usos; el riesgo de los excesos de agua (crecidas o acumulación excesiva de agua) y el riesgo de deteriorar la resiliencia de los sistemas de agua dulce, por exceder la capacidad de asimilación de las fuentes de agua superficiales o subterráneas y sus interacciones (Peña, H. 2016:3,4), el objetivo de la gestión será mantener en niveles aceptables estos cuatro riesgos.

La definición más común es la que proponen Grey D. y Sadoff (2007) a partir de la disponibilidad en calidad y cantidad del agua: “la disponibilidad de agua en aceptable cantidad y calidad para la salud, las actividades humanas, los ecosistemas y la producción, junto con un nivel aceptable de riesgos hídricos para las personas, el ambiente y la economía”, no obstante, estudios posteriores muestran que no menciona aspectos sociales como la equidad, sustentabilidad o cambio climático (Martínez Austria, 2013:166) y que aporta una definición “estrecha” de la seguridad hídrica”, que puede servir para un análisis a determinada escala, (Martínez-Austria, 2013:165-179) pero no incorpora la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) que también es necesaria (Cook and Bakker, 2012: 98); en el mismo sentido Swaminathan, M. S. (2001) destacan la calidad y disponibilidad del agua y los riesgos aceptables; Scott, Ch. et al (2018:282) destacan las interacciones entre los sistemas societarios, hidroclimáticos y ecosistémicos, proponiendo una gestión flexible y adaptativa, a partir de la propuesta de Pahl, P. et al, (2007) sobre la capacidad de aprendizaje de una comunidad.

Otras definiciones se proponen desde el ámbito de la cuenca; así para Arjen y Hoekstra *et al* (2018:1-8) es el “Acceso sustentable, sobre una base de cuencas hidrográficas, a cantidades adecuadas de agua de calidad aceptable, para garantizar la salud humana y del ecosistema” Norman Emma, Bakker Karen, Cook Christina, et al destacan la calidad del agua diciendo que “La seguridad hídrica es un concepto multidimensional que reconoce que se necesita suficiente agua de buena calidad para los usos sociales, económicos y culturales, mientras que, al mismo tiempo, se requiere agua adecuada para sostener y mejorar las funciones importantes de los ecosistemas” para evitar una futura crisis del agua debido a los cambios hidrológicos producto del cambio climático; Dunn, G., & Bakker, K., (2009) también destacan la cantidad adecuada de agua de calidad aceptable en la cuenca para garantizar la salud humana y la de los ecosistemas (Norman Emma, Bakker Karen, Cook Christina, *et al*, 2010:14; Dunn G, Bakker K, et al 2009:7); Martínez-Austria (2013) añade como objeto de preocupación los riesgos a la salud por la presencia de patógenos emergentes en el agua; esta disponibilidad de agua de calidad (Swaminathan, M. S., 2001:35-44; Grey D. y Sadoff C., 2007: 547-571) y debe ser a perpetuidad (Al-Otaibi, A., y Abdel Jawad, M. 2007: 299-305; Carlow R., and Tucker J. (2013) destacan el manejo adecuado y eficiente del recurso para alcanzar la seguridad hídrica, con diferentes cambios ambientales, sociales, políticos y económicos (Ma Huiqun, Liu Ling y Chen Tao, 2010: 539-544). Whittington, Sadoff y

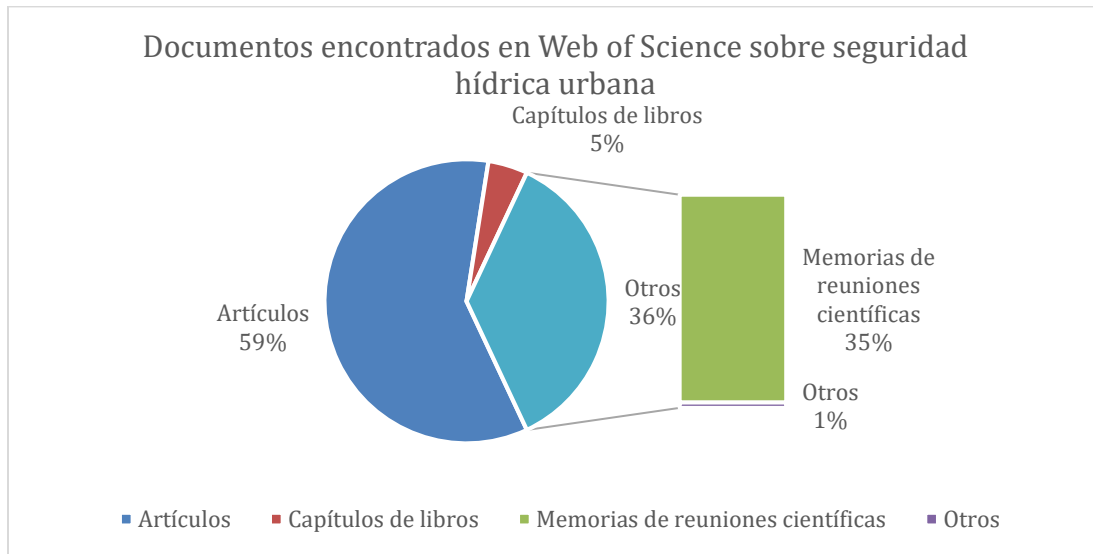
Allaire (2013) proponen responder a las preguntas, ¿cuál es el efecto económico de alcanzar o no la seguridad hídrica?; en otras palabras, ¿cuál es el nivel de esfuerzo adecuado o de inversión en seguridad hídrica que debe dedicar un país para contar con agua en calidad y cantidad suficientes?

Para otros el concepto está relacionado con la sociedad más que con la naturaleza; asimismo, se destaca la dimensión geopolítica asociándola al tema de seguridad nacional, de seguridad energética (Embid y Martín, 2017) o seguridad alimentaria (Willaarts B.J. et al, 2014). Desde esta perspectiva, también se habla de seguridad en conflictos interestatales por el uso compartido de agua (superficial o subterránea) entre estados nacionales, o inclusive, dentro de un mismo estado (Costa Ribero y Mello Santa Anna, 2014: 576; Schultz, 1995: 97); se ha relacionado con la seguridad humana, derivándola de la idea de seguridad ambiental, superando el tradicional concepto de seguridad nacional como amenazas al estado, sino que trasciende a la pérdida del entorno ambiental y sus consecuencias en la seguridad humana (Buzan, 1991: 19-20), pero se mantiene la idea de “amenazas” que requieren de una acción “urgente” (Davidsen, 2010). También se ha relacionado con la gestión integrada de los recursos hídricos (Van Beek y Arriens, 2014) y la gobernanza del agua, siendo esta una propuesta complementaria entre los dos paradigmas.

Un elemento destacado en la literatura es la alta incertidumbre sobre las causas y efectos del cambio climático por lo que la seguridad hídrica exige la realización de diversos tipos de escenarios que permitan un abanico de posibilidades para tomar decisiones. El análisis de riesgo se vuelve fundamental para hablar de seguridad hídrica en escenarios de cambio climático, porque permite decidir el nivel de riesgo aceptable por una sociedad. Por lo que los vínculos con los estudios de resiliencia están vinculados con el objetivo de alcanzar la seguridad hídrica.

La literatura sobre seguridad hídrica que se ha producido (Web of Science) es abundante. En un periodo de 1980 a 2019, sobre “Water security” se encontraron 12,327 títulos. Al filtrar la búsqueda con las palabras “Water security” y “cit*”, para que el buscador tomara en cuenta tanto la palabra city como cities y derivados, se redujo a 934 documentos. Los cuales en su mayoría son artículos académicos (59%), como se aprecia en el gráfico siguiente:

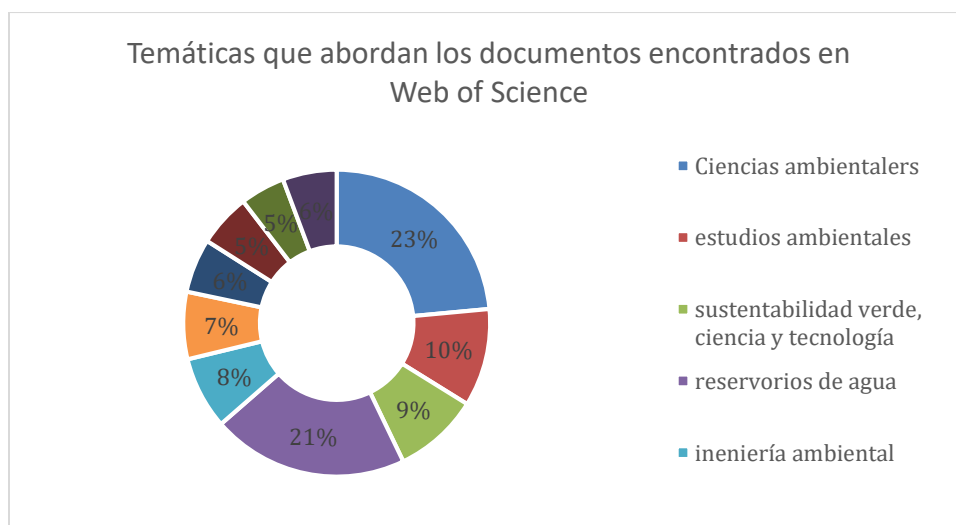
Gráfica 1. Documentos encontrados en Web of Science sobre seguridad hídrica urbana



Fuente: Elaboración propia

Dichos documentos se categorizaron en los siguientes temas: 219 documentos sobre ciencias ambientales, 96 documentos sobre estudios ambientales, 84 sobre sustentabilidad verde, ciencia y tecnología, 193 sobre fuentes de agua, 71 sobre ingeniería ambiental, 66 sobre ingeniería civil, 53 sobre geociencias multidisciplinarias, 52 sobre estudios urbanos 44 relacionados con ecología y 53 enfocados en combustibles energéticos*. Como se aprecia en el siguiente gráfico.

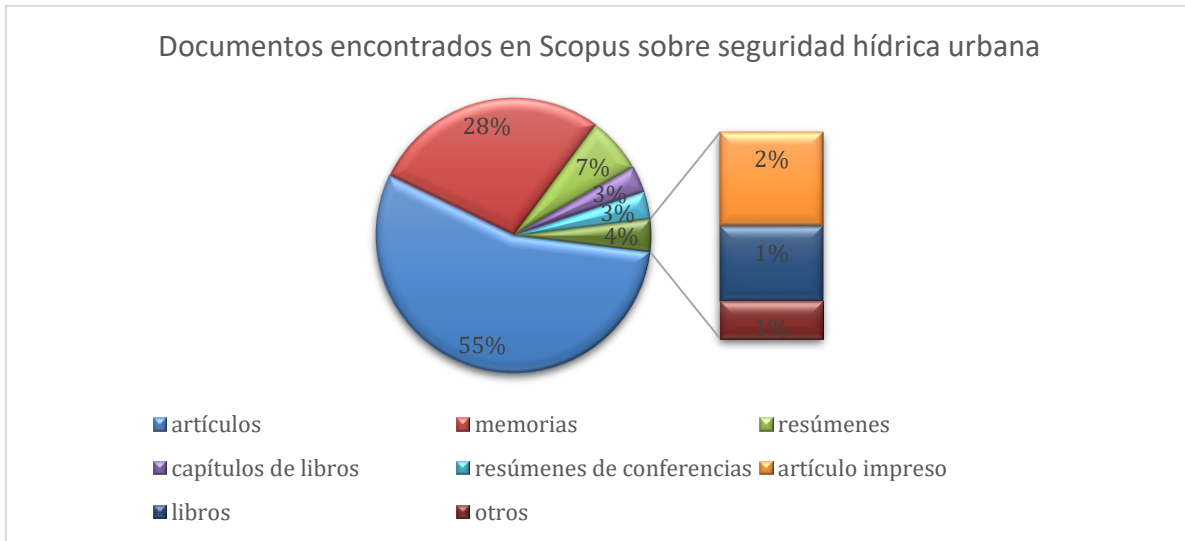
Gráfica 2. Temáticas que abordan los documentos encontrados en Web of Science



Fuente: Elaboración propia. *Nota: Los resultados encontrados pueden adjudicarse a un mismo documento más de una temática.

Desde 1953 se tienen antecedentes (Scopus) de la referencia a la seguridad hídrica (water security). Este buscador arroja 2,292 artículos. Al filtrar la búsqueda para “water security”y “cit*” el número disminuyó 2,032 títulos. El registro más antiguo que aborda el concepto de seguridad hídrica en ciudades es de 1999. Los resultados de esta búsqueda mostraron los siguientes tipos de documentos abordados:

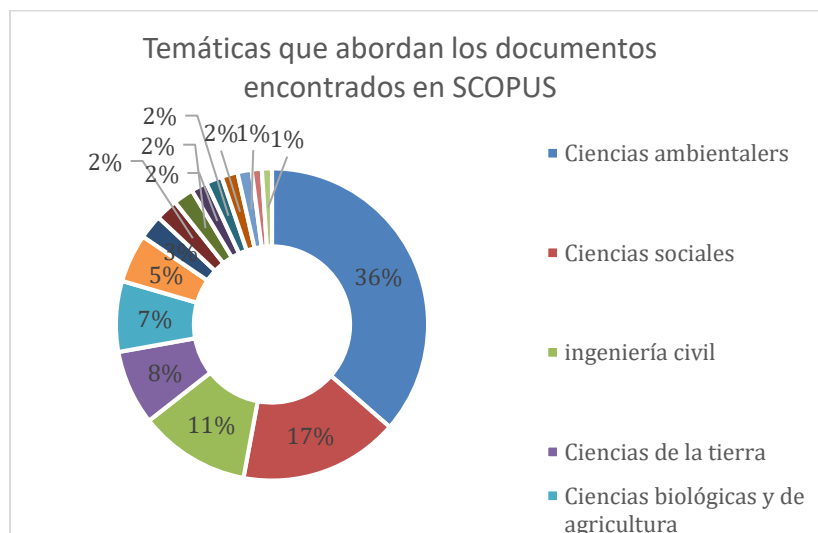
Gráfica 3. Documentos encontrados en Scopus sobre seguridad hídrica urbana



Fuente: Elaboración propia

El total de documentos encontrados fueron de 260, los cuales abordan los siguientes temas*:

Gráfica 4. Documentos encontrados en Scopus sobre seguridad hídrica urbana



Fuente: Elaboración propia. *Nota: Los resultados encontrados pueden adjudicarle a un mismo documento más de una temática.

Es en la década pasada donde el concepto de seguridad hídrica ha adquirido mayor interés en la política pública y en el debate académico. Hoy en día es un paradigma emergente (Cook and Bakker, 2012: 94).

También se han desarrollado indicadores para medir el grado de seguridad hídrica de los países; el Banco Asiático de Desarrollo (ADB) elaboró un documento en el que agrupó indicadores cuantitativos con información proveniente de los países con algunos indicadores cualitativos, sobre la base de 5 dimensiones orientadas a medir la seguridad hídrica a nivel de los hogares, para la economía, a nivel de las ciudades y pueblos, para el medio ambiente y frente a los desastres (Peña, H. 2016, Pp.15-16); Beek y Arriens (2014) desarrollaron una metodología de corte cualitativo que tenía en cuenta la visión de los países en las metas de la gestión del agua, identificación de las metas críticas e indicadores que reflejaran los objetivos de la GIRH orientados a la sustentabilidad; otros esfuerzos se han realizado en América Latina, como la definición del concepto de seguridad hídrica como instrumento de análisis integral, con la identificación de áreas prioritarias para hacer frente a los desafíos que afronta la seguridad hídrica en América Latina y El Caribe, entre otros (Peña, H. 2016, pp.15-16); la OCDE desarrolló una metodología que identifica los riesgos y el nivel aceptable de estos y propone un manejo de los mismos (2013).

Utilizar el concepto de seguridad hídrica permite incluir como una prioridad en la agenda pública el tema del agua, identificando su transversalidad e importancia para el logro de objetivos de otras políticas públicas, principalmente, la económica, la agrícola o la alimentaria, asimismo, enfatiza el acceso al agua en condiciones aceptables para toda la población, es decir, destaca de forma relevante la dimensión social que tiene el agua y el enfoque integrador y holístico que introduce el análisis de riesgos para evaluar la efectividad de las políticas con las que se cuenta.

La seguridad hídrica implica definir el nivel de riesgo aceptable que varía en el tiempo y con las sociedades; está orientado a gestionar los riesgos para definir el riesgo aceptable, para ello hay que sopesar varias opciones de políticas que tienen un efecto económico. Para ello, es importante tener un entendimiento común entre todos los interesados/afectados sobre el nivel de riesgo aceptable, que solo se logra con una adecuada y común percepción del riesgo.

La UNESCO propone un enfoque de infraestructura y sistemas para la seguridad hídrica, que implica la protección de los sistemas vulnerables, la protección contra peligros relacionados con el agua -tales como inundaciones y sequías-, un desarrollo sostenible de los recursos hídricos y la salvaguarda del acceso a las funciones y servicios hídricos. (Cook y Bakker, 2012, p. 94-102).

Para la CEPAL un análisis de la política del agua que solo tiene en cuenta los elementos físicos (disponibilidad) y la variabilidad climática es parcial si no introduce el análisis de riesgos de forma amplia, incluyendo las condicionantes sociales que pueden ser más determinantes para que funcione o no determinada acción, estrategia o política (Peña, 2016, p. 19).

¿Qué utilidad tiene el concepto de seguridad hídrica en la región latinoamericana, y en especial en México? Siendo una región con alta disponibilidad de agua per cápita (6 mil metros cúbicos por persona según datos de la FAO (2015), pero distribuida geográfica y socialmente de forma desigual e inequitativa; siendo, además, una región productora de alimentos tiene una alta dependencia del agua para su desarrollo; esta agua se exporta (agua virtual) sin que todos los países la consideren en su contabilidad ambiental. La principal utilidad del concepto de seguridad hídrica radica en la introducción del enfoque de análisis de riesgos, lo que permite identificar los que son aceptables para una sociedad, adoptados en primera instancia, por los gobiernos; pero que pasan por un filtro social con valores democráticos que permean las decisiones en torno al uso, aprovechamiento, distribución y gestión del agua, que requieren del desarrollo de capacidades sociales también. Otro factor al que se da gran relevancia en la región es la reserva de agua para los ecosistemas, que se incluiría también dentro del concepto de seguridad hídrica, como clave para el mantenimiento de un entorno adecuado y la consiguiente recarga de acuíferos.

La CEPAL en el XIV Encuentro técnico interamericano de alto nivel “Nuevas tecnologías para enfrentar crisis hídricas” abordó los retos prioritarios de la gestión del agua y se discutió si se trataba de un nuevo paradigma o se refería a la Gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH), presentando cinco desafíos: niveles adecuados de acceso a agua potable, desarrollo productivo sustentable en zonas húmedas, uso productivo en zonas áridas y semiáridas, la conservación de cuerpos de agua con un estado compatible con la salud y el medio ambiente y la protección contra inundaciones, se concluía entonces que en la región existía un conjunto

de procesos hidrológicos, económicos y sociales que podían agravar los problemas de seguridad hídrica, si no se daban las respuestas adecuadas (Jouravlev, 2016).

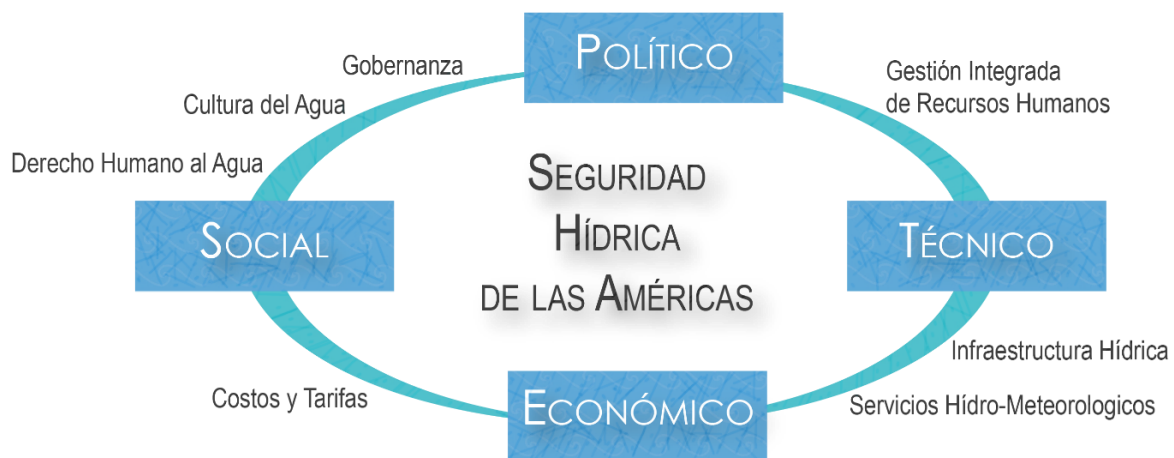
Esta discusión fue plasmada posteriormente en el documento “Desafíos de la seguridad hídrica en América Latina”, (Peña, 2016, p. 5) en donde se resumieron en tres aspectos sobresalientes para la región de América Latina y el Caribe:

- 1) la disponibilidad de agua adecuada para uso humano, otros usos, la protección de los ecosistemas y la producción;
- 2) la capacidad para acceder y aprovechar el agua sustentablemente;
- 3) tener un nivel aceptable de riesgos asociados al agua.

Es de destacar que este documento reconoce que la seguridad hídrica se construye en torno a la relación agua-sociedad y no tanto en torno a los servicios ecosistémicos, hace hincapié en los aspectos sociales e institucionales del agua, destaca esta relación ante la creciente conflictividad social por el manejo, uso y distribución del agua; por la falta de infraestructura y capacidades institucionales que no han podido desarrollarse en la región y con el manejo de riesgos de una forma social y políticamente aceptable, recomendando que sea una de las prioridades de la región.

Por nuestra parte, junto con la Organización de Estados Americanos (OEA), trabajamos en un marco conceptual de análisis para el continente, y especialmente, para la región latinoamericana, siendo el siguiente:

Gráfica 5. Marco conceptual de la seguridad hídrica en las Américas



Reunión para la construcción conceptual del Observatorio de seguridad hídrica de las Américas en la Organización de Estados Americanos (OEA). Washington DC, 2016

Los desafíos de seguridad hídrica en la región tienen que ver con las tareas pendientes, así se identifican el tratamiento de aguas residuales para evitar la transferencia de contaminación; la falta de infraestructura, la falta de capacidades institucionales, la reducción de los riesgos relacionados con el exceso de agua, adecuar los sistemas de drenaje urbanos al desarrollo de las ciudades, desarrollar instrumentos efectivos de ordenamiento territorial y de manejo de cuencas y atender a los nuevos desafíos que presenta el cambio climático en la calidad del agua. No se ha identificado cual es el objetivo estratégico de manejo de los recursos hídricos en la región, de ahí que no se hayan tomado aún las estrategias para reorientar la gestión del agua; salvo algunos programas nacionales como el de Panamá, México o Brasil, han identificados retos parciales de seguridad hídrica.

1.2 Seguridad hídrica urbana

A partir de estas definiciones generales es conveniente tomar en cuenta la escala para identificar los desafíos de seguridad hídrica regionales o locales; así, el ámbito urbano presenta particularidades locales, según se trate del tamaño y localización de la ciudad.

Diversos factores pueden aumentar la exposición al riesgo y la vulnerabilidad ante una mala gestión de la abundancia o la escasez de agua; la concentración demográfica en las ciudades puede aumentar su vulnerabilidad por la demanda de agua y servicios asociados; el crecimiento urbano en zonas de valor ambiental con irregularidad en el uso del suelo puede agravar la vulnerabilidad social y ambiental. La interfase urbano-rural cada vez se difumina más por la expansión urbana y ejerce presión en la demanda de alimentos y en la salida de desechos que se producen en la ciudad; entre ellos, los de aguas residuales sin tratamiento, que transfiere contaminación hacia otros ámbitos territoriales distintos de aquellos donde se produce. Los factores principales que inducen o incrementan estos riesgos para la seguridad hídrica son los procesos demográficos, la creciente demanda de alimentos, tanto por crecimiento demográfico como por cambios en la dieta, los efectos del cambio climático y la deficiente gestión del agua en las ciudades.

La urbanización da lugar a procesos con repercusiones sobre la seguridad hídrica urbana, los cuales afectan tanto a la sostenibilidad como a la resiliencia. La consideración de estos dos aspectos en la seguridad hídrica urbana permitiría integrar esfuerzos para mejorar la disponibilidad del agua y la gestión de las inundaciones (Romero-Lankao y Gnatz, 2016).

La literatura académica ha abordado los problemas de seguridad hídrica en las ciudades. Las inundaciones no son el único desafío, también y de manera muy importante lo es el desabasto de agua, un tema que ha sido abordado en todas sus dimensiones: condiciones físicas (disponibilidad natural del agua); condiciones institucionales (marcos fiscales, administrativos y legales); condiciones sociales (capacidad económica de los usuarios) y condiciones sociales/patrón de asignación de tarifas (capacidad económica de los usuarios) (Ortega, 2009, p. 16-21). Un tercer riesgo para la seguridad hídrica es la calidad de agua deteriorada por la sobreexplotación (Banco Mundial, 2015, p. 21-22), la falta de tratamiento de agua (Pérez Espejo R, Aguilar Ibarra, *et al.* 2012, p. 1-289; Soto Galera Ernesto, Mazarí Hiriart M. y Bojórquez Tapia Luis Antonio (1999, p. 60-74); Montiel Palma, S., Armienta Hernández, M. A., Rodríguez Castillo, R., y Domínguez Mariani R, E, 2014; Arredondo-Hernandez, L. J. R., Diaz-Avalos, C., López-Vidal(2017, p. 1); Mazari-Hiriart, M., Pérez-Ortiz, G., Orta-Ledesma, M. T., Armas-Vargas, F., Tapia, M. A., Solano-Ortiz, R., Hewitt, J, 2014), y la falta de agua en diversas partes de la ciudad que está provocando protestas y conflictos sociales con la autoridad. Toda esta problemática es conocida y ampliamente documentada, especialmente para la zona de estudio, pero no se ha mirado desde la perspectiva de seguridad. Este giro en el análisis y en el objetivo de la gestión requiere de nuevos indicadores, de nuevas soluciones, que entre sus características estén la de ser flexibles y adaptables, es decir, que traspasen los rígidos esquemas conocidos de la gestión, porque es lo que exige el cambio climático, ante la incertidumbre de sus consecuencias.

Un factor importante desde el inicio en este cambio de perspectiva es tener un entendimiento común entre todos los interesados/afectados sobre el nivel de riesgo aceptable, es decir, una adecuada y común percepción del riesgo. ¿Cómo lograr esto? ¿es que a la fecha no se entiende de la misma manera el problema de riesgo y crisis hídrica por el que se puede atravesar? Las señales, al menos en esta ciudad, son inequívocas y, sin embargo, sectores de la población, no son conscientes de la magnitud del problema. Quizá la autoridad, cualquiera que sea, lo es. Pero en ese devenir de buscar soluciones, hay elementos faltantes, vacíos de información que generar, canales de comunicación con la sociedad, para transmitir que este problema público es urgente de atender.

Junto al desabasto o la calidad del agua, que son prioritarios como temas de seguridad humana, están los problemas de inundaciones en la ciudad. ¿a qué se debe que en los últimos

años se hayan incrementado? Varios son los factores y tienen que ver con una inadecuada planificación territorial, la gestión de la basura o la capacidad del drenaje urbano.

Los problemas que pueden presentarse en el drenaje pueden tener fuertes repercusiones sobre la economía urbana, de ahí la necesidad urgente de reforzar su gestión con políticas de drenaje modernas, y no solo de infraestructura, capaces de resolver los problemas de planificación en forma integral. Estas políticas deben considerar actuaciones locales, la llamada infraestructura verde y adaptarse a nivel del sistema de drenaje en su conjunto. Además, es necesario generar el financiamiento para la construcción de la infraestructura. Las inversiones requeridas para alcanzar en el año 2030 la meta de un 85% de la superficie urbana atendida por redes de drenaje pluvial se estiman en casi 34 mil millones de dólares (Mejía y otros, 2012); la mayoría de las redes primarias y secundarias no fueron construidas de forma separada en las ciudades (una para las aguas residuales y otra para las aguas pluviales) por lo que se mezclan, rebasan la capacidad de la tubería para desalojar las aguas y se desaprovechan las aguas de lluvia; como sucede con la red de drenaje en la Ciudad de México.

Adicionalmente, en las zonas urbanas propensas a inundaciones repentinas, la caracterización de la resiliencia social es fundamental para garantizar el éxito de los planes de manejo de emergencias. La principal dificultad en la gestión del riesgo de inundaciones repentinas está relacionada con su rápida aparición y la dispersión espacial de las áreas urbanas que pueden verse afectadas por esta tipología de peligro relacionado con el agua. En este sentido, el corto tiempo disponible para minimizar los riesgos requiere que se pongan en práctica acciones de preparación y respuesta. Por lo tanto, comprender las características de las comunidades locales debe ser una prioridad para mejorar la capacidad de recuperación de la comunidad durante una inundación repentina. En este sentido, la medida en que una comunidad puede demostrar resiliencia después de una inundación depende en gran medida de la percepción humana, que a su vez está relacionada con el contexto social en el que ocurre un evento determinado. (Bodoque et al. 2016).

Por tanto hablar de *resiliencia* es describir la necesidad de generar capacidades para afrontar problemas complejos de lo que implica la gestión a nivel ciudad como la coordinación y priorización de acciones que fortalezcan la *seguridad hídrica* en materia de inundaciones,

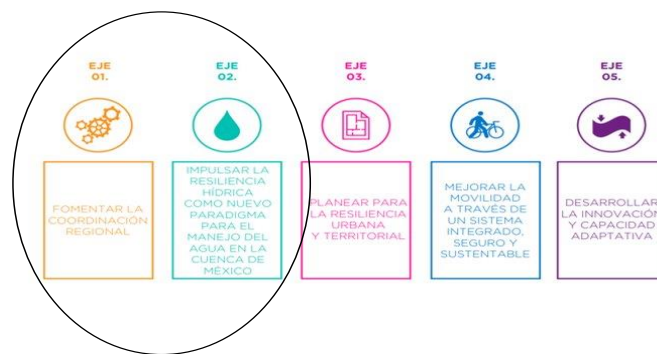
otorgando mecanismos de acción y planeación enfocados a la *reducción de riesgos*, para lo cual es necesario vincular un conocimiento científico sobre las inundaciones en la ciudad, ya que el conocimiento deriva en prevención y planeación.

Generar herramientas de análisis que permitan detallar el estado de una situación aporta información para poder afrontarla, por tanto el primer paso para contribuir a la reducción del riesgo de inundaciones, el aumento de resiliencia y por ende a la seguridad hídrica de la ciudad es generar un diagnóstico especializado que otorgue elementos técnicos que sirvan de base para sustentar la aplicación de políticas públicas así como las distintas estrategias de reducción de riesgos, pues es fundamental definir instrumentos técnicos que reconozcan la susceptibilidad del territorio al impacto del fenómeno ya que desde la perspectiva de la construcción social del riesgo¹ entender la relación de los procesos socioeconómicos con los fenómenos perturbadores permite incidir de manera oportuna en el territorio.

La Estrategia de resiliencia hídrica de la Ciudad de México (2016) contiene un diagnóstico que incorpora el cambio climático; e identifica 5 ejes de acción para que la ciudad sea una ciudad resiliente, equitativa e incluyente. El primero se refiere a la coordinación institucional y el segundo a la vulnerabilidad hídrica; es decir, se trata de los dos ejes más importantes sobre los cuales actuar. (Oficina de Resiliencia CDMX, 2016, p. 12).

Gráfica 6. Ejes estratégicos de la resiliencia en la CDMX

2 ejes estratégicos para lograrlo:



Fuente: Estrategia de resiliencia hídrica de la CDMX, 2016

¹ La construcción social del riesgo remite en su esencia a las formas en que la sociedad construye contextos frágiles que se asocian e incrementan las dimensiones de la vulnerabilidad. Todo ello se traduce en una falta de adaptación al medio físico que provoca, incluso, que el propio medio se convierta en una amenaza e incluso, en un factor de generación de riesgo. (García, 2005, p. 22)

La Estrategia de Resiliencia para la Ciudad de México (2016, p. 12) en su segundo eje establece la Seguridad Hídrica como tema de gran relevancia para la generación de políticas públicas al mediano y largo plazo que garanticen, no solo la adaptabilidad de la ciudad a una constante y permanente exposición a afectaciones por fenómenos de origen hidrometeorológico, sino que promuevan esquemas de ocupación del suelo, infraestructura urbana y dinámicas enfocadas al aprovechamiento y gestión de los recursos hídricos de manera eficiente y global, no solo de los cuerpos o ríos superficiales, sino también de los mantos freáticos, las descargas residuales y las escorrentías pluviales.

Bajo esta lógica, esta primera fase del estudio integra un diagnóstico del comportamiento hidráulico del fenómeno de inundaciones en la Ciudad de México a partir de un estudio de riesgo que analiza la susceptibilidad geomorfológica presente en la superficie modificada de la ciudad, de igual manera un análisis histórico de los antecedentes del fenómeno y su causalidad, así como las posibles afectaciones y consecuencias que la incidencia del fenómeno hidrometeorológico significa para la producción económica de la ciudad, una estimación de pérdidas económicas. Cabe mencionar que este estudio necesita incorporar la medición del peligro y la vulnerabilidad para ser un análisis completo de riesgo que no omita la importancia de las lluvias como factor desencadenante del proceso, la disposición de sistemas expuestos y los indicadores de vulnerabilidad social y física que componen al riesgo ante inundaciones. El esfuerzo de identificar, diagnosticar y analizar el proceso del riesgo ante inundaciones en la ciudad tiene como fin último desarrollar el insumo básico para la generación de políticas territoriales al corto, mediano y largo plazo en materia de gestión y mitigación de riesgos de desastres para contribuir al aumento de resiliencia de la ciudad y a su seguridad hídrica.

1.3 Las inundaciones como un reto de la seguridad hídrica urbana

En las grandes áreas urbanas y periurbanas de América Latina las inundaciones son recurrentes, desde la mitad de los años noventa ciudades con gran concentración de habitantes como la Ciudad de México, Lima, Río de Janeiro, San Pablo, Bogotá y Buenos Aires han realizado “proyectos multimillonarios en materia de infraestructura básica para hacer frente a la degradación ambiental y de insuficiencia de obras y medidas para mejorar

y ampliar el suministro de agua y redes de alcantarillado existente, como también para el tratamiento de las inundaciones”. No obstante, las inundaciones pluviales continúan siendo una problemática en el entorno urbano (Bertoni, 2015).

El crecimiento de la población en áreas urbanas, combinado con un aumento en la detonación de eventos extremos debidos al cambio climático, exige una mejor comprensión y representación de las inundaciones en dichas zonas. Asimismo, la incertidumbre en la distribución de la lluvia es uno de los factores más importantes que afectan la respuesta de la cuenca a un evento de precipitación dado (Courty *et al.* 2018).

Las inundaciones son frecuentes en varias ciudades de México, en los últimos años se han intensificado por la variabilidad climática, sus efectos han producido daños en la población, infraestructura, en las actividades económicas e incluso han ocasionado pérdida de vidas humanas, especialmente en zonas con mayor vulnerabilidad (Rodríguez, et al, 2007), que no han sido cuantificadas o estimadas económicamente, por eso, es importante resaltar que el agua puede ser un factor también de pérdidas en otros sectores, cuando la gestión urbana ha sido deficiente, con pérdidas públicas y para los particulares, daños en la infraestructura que no se rehabilita para transformarla en resiliente; y en todo caso, se ha optado por la puesta en marcha del fondo de desastres (FONDEN), un instrumento de mitigación. Hacen falta programas y acciones que permitan mitigar la problemática con un enfoque de resiliencia y de seguridad, pero también de medidas adaptativas, flexibles, que permitan a la población y a las instituciones adecuarse a los eventos de inundación o encharcamiento.

La recurrencia de las inundaciones en México, principalmente en las últimas décadas, involucra dos aspectos fundamentales: precipitaciones pluviales más intensas y una mayor vulnerabilidad. Las áreas deforestadas o urbanizadas representan factores físicos y sociales que conducen al deterioro de las cuencas hidrográficas y a aumentar la vulnerabilidad ante lluvias intensas. El aumento de la vulnerabilidad de las cuencas hidrográficas debido a los cambios en la cobertura de la tierra es un factor determinante que conduce al desencadenamiento de un mayor número de inundaciones, particularmente en el centro-sur de México.

Se tiene registro de inundaciones severas en localidades costeras durante los últimos 15 años, resaltando los casos sucedidos en Veracruz durante 2005 y 2010 (Tejeda-Martínez 2006 y

2011), en Tabasco en 2007 (Gama *et al.* 2010) y en Guerrero en 2013 (Pedrozo-Acuña *et al.* 2014); en las últimas décadas (cuarenta años), el número de inundaciones en el estado de Guerrero se ha duplicado, donde los municipios más afectados son Chilpancingo y Acapulco, localidades mayormente pobladas de Guerrero (Tovar y Rueda, 2018). Por otro lado, también se tienen datos de este fenómeno (caracterizado por precipitaciones extremas) en entidades mexicanas no costeras, como la Ciudad de México (Magaña *et al.* 2013), Guanajuato (Matías-Ramírez *et al.* 2007) y Ciudad Juárez (Dena *et al.* 2012; Herrera *et al.* 2018). En el caso particular de la Ciudad de México, el estudio de Zambrano *et al.* (2018) apunta que el 58% de la urbe tiene un alto riesgo de sufrir inundaciones leves, mientras que el 24% tiene un riesgo de enfrentar grandes inundaciones. De manera directamente relacionada, la mitad de la población, con los ingresos más bajos, se encuentra en áreas de alto riesgo para grandes inundaciones.

En los casos mencionados, la altitud dentro de las cuencas es uno de los impulsores relevantes de las inundaciones. El hundimiento de la tierra también es un factor importante que afecta la ocurrencia de inundaciones. Dicho factor es particularmente importante en las ciudades costeras, por ejemplo, en Nueva Orleans, el hundimiento de la tierra se había incrementado previamente al huracán Katrina, lo que provocó una mayor vulnerabilidad a este fenómeno meteorológico (Dixon *et al.* 2006). En Semarang, Indonesia, la sobreexplotación de los acuíferos afectó y modificó la estructura del suelo, aumentando las tasas de hundimiento (Marfai y Lorenz 2007). Asimismo, áreas con altitudes inferiores a 2240 metros sobre el nivel del mar, parecen haber aumentado las tasas de hundimiento; como resultado, serán más susceptibles a inundaciones en el futuro (Zambrano *et al.* 2018). La ciudad de México tiene geomorfología y dinámica meteorológica altamente complejas, por la alta transformación del entorno que se realizó durante siglos.

1.4 Definiendo las inundaciones pluviales

El término *inundación* es definido por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO por sus siglas en inglés) en el glosario hidrológico internacional (OMM/UNESCO, 2012), como: el “Desbordamiento del agua fuera de los confines normales de un río o cualquier masa de agua”, aludiendo como “confin

normal” a aquella elevación de la superficie del agua que no causa daños, por lo que una inundación puede entenderse como una elevación inusual del agua que puede generar pérdidas y daños al entorno. También la define como la “acumulación de agua procedente de drenajes en zonas que normalmente no se encuentran anegadas” y como “encharcamiento controlado para riego”.

De acuerdo con el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) la inundación es todo aquel acontecimiento que, debido a la precipitación, marea de tormenta, oleaje o falla de alguna estructura hidráulica provoca un incremento en el nivel del agua, que genera una incursión o penetración del líquido en áreas donde usualmente no existe presencia del fluido, provocando daños en la población, las actividades agrícolas, ganaderas y la infraestructura aledaña (SEGOB/CENAPRED, 2014). Las inundaciones se están convirtiendo en los fenómenos con mayor recurrencia y aumento a nivel global, provocando efectos catastróficos cuando las comunidades se encuentran asentadas a la orilla de los ríos, y por otro lado, la deforestación y la erosión alteran la respuesta hidrológica de las cuencas y aumentan la posible ocurrencia e intensidad de inundaciones.

En la Ley General de Protección Civil se catalogan como fenómenos hidrometeorológicos perturbadores que se generan por la acción de elementos atmosféricos (Art. 2, Fracción XXIV, Diario Oficial de la Federación de 19 de enero de 2018) y pueden clasificarse de acuerdo con su origen en pluviales, fluviales y costeras.

Las *inundaciones pluviales* son aquellas que se originan a consecuencia de la precipitación, su ocurrencia se debe a la saturación del suelo por parte del agua de lluvia excedente la cual se acumula y puede permanecer desde minutos hasta días en una región determinada. Las *inundaciones fluviales* se producen debido al desbordamiento de los ríos, donde el agua permanece sobre el terreno próximo. En este tipo de inundaciones el agua que se desborda sobre los terrenos adyacentes al río puede generarse por precipitaciones formadas en diferentes áreas de la cuenca, por lo que es importante considerar que el volumen que escurre sobre el terreno a través de los cauces se incrementa con el área de aportación de la cuenca, por lo que existe una mayor probabilidad de que las inundaciones fluviales más substanciales se susciten en los ríos con mayor influencia longitudinal. Las *inundaciones costeras* se presentan cuando el nivel medio del mar asciende a causa de la marea y penetra en las zonas costeras, lo que genera el cubrimiento de amplias extensiones de superficie territorial.

Otra definición es la que ofrece el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2014) de Colombia que considera a los encharcamientos como un tipo de inundación. La *Inundación* “es un evento natural y recurrente que se produce en las corrientes de agua, como resultado de lluvias intensas o continuas que, al sobrepasar la capacidad de retención del suelo y de los cauces, desbordan e inundan llanuras de inundación, en general, aquellos terrenos aledaños a los cursos de agua. Las inundaciones se pueden dividir de acuerdo con el régimen de los cauces en: lenta o de tipo aluvial, súbita o de tipo torrencial y encharcamiento”.²

Se considera importante identificar qué se entiende por “inundación pluvial” debido a que es un concepto evadido por las autoridades, ya que a nivel gobierno de la ciudad de México; se habla de encharcamientos minimizando los efectos de las lluvias intensas lo que ha provocado la falta de reconocimiento de un problema. En los últimos años se observó que la concentración de agua de lluvia rebasaba en tirante, fuerza y efectos, lo que pudiera considerarse un encharcamiento, derivando inclusive en catástrofes: tal es el caso del menor de 9 años que fue arrastrado por una corriente de agua hacia una coladera en Izatapalapa, perdiendo la vida (El Universal Metrópoli, 14 de junio 2018). Los eventos de encharcamientos (según la denominación que da el SACMEX) del 2010 a septiembre del 2018 fueron 29, 837.

En la Ciudad de México el término Inundación pluvial y encharcamiento se mencionan en la normativa reciente, de la siguiente manera:

En el catálogo de Fenómenos Perturbadores y Siniestros en la Ciudad de México de la Secretaría de Protección Civil- 2018 de la Dirección General de Emergencias Mayores se

² *Inundación de tipo aluvial/inundación lenta*: Se produce cuando hay lluvias persistentes y generalizadas dentro de una gran cuenca, generando un incremento paulatino de los caudales de los grandes ríos hasta superar la capacidad máxima de almacenamiento; se produce entonces el desbordamiento y la inundación de las áreas planas aledañas al cauce principal. Las crecientes así producidas son inicialmente lentas y tienen una gran duración; *inundación de tipo torrencial / inundación súbita*: Producida en ríos de montaña y originada por lluvias intensas. El área de la cuenca aportante es reducida y tiene fuertes pendientes. El aumento de los caudales se produce por la intensidad de las tormentas en determinadas épocas del año, por lo que las crecientes suelen ser repentinas y de corta duración; *Encharcamiento*: Fenómeno a causa de la saturación del suelo, caracterizado por la presencia de láminas delgadas de agua sobre la superficie del suelo en pequeñas extensiones y por lo general, presente en zonas moderadamente onduladas a planas. El fenómeno puede durar desde pocas horas hasta unos pocos días. (IDEAM, 2014)

distingue como fenómeno perturbador de origen hidrometeorológico a los encharcamientos y a las inundaciones pluviales.

Dentro de los Términos de referencia del Glosario 2015 de la Secretaría de Protección Civil de la Ciudad de México se define a la Inundación como un “efecto generado por el flujo de una corriente, cuando sobrepasa las condiciones que le son normales y alcanza niveles extraordinarios que no pueden ser controlados en los vasos naturales o artificiales que la contienen, lo cual deriva, ordinariamente, en daños que el agua desbordada ocasiona en zonas urbanas, tierras productivas y, en general en valles y sitios bajos. Atendiendo a los lugares donde se producen, las inundaciones pueden ser: costeras, fluviales, lacustres y pluviales, según se registren en las costas marítimas, en las zonas aledañas a los márgenes de los ríos y lagos, y en terrenos de topografía plana, a causa de la lluvia excesiva y a la inexistencia o defecto del sistema de drenaje, respectivamente”.

A la Inundación Pluvial la define como “aquella que se produce por la acumulación de agua de lluvia, nieve o granizo en áreas de topografía plana, que normalmente se encuentran secas, pero que han llegado a su máximo grado de infiltración y que poseen insuficientes sistemas de drenaje natural o artificial”.

No define el término encharcamiento, pero sí distingue una clasificación distinta de obra hidráulica de aprovechamiento entre “De encharcamiento y contra inundaciones”, al definir las obras hidráulicas como “conjunto de estructuras construidas con el objeto de manejar el agua, cualquiera que sea su origen, con fines de aprovechamiento o defensa. Se clasifican en: a) obras de aprovechamiento: 1. de abastecimiento de agua a poblaciones; 2. de riego; 3. de producción de fuerza motriz; 4. De encharcamiento; 5. contra inundaciones y b) obras de retención de azolves”.

El Glosario 2015 del Registro Único de Situaciones de Emergencia (RUSE) de la Dirección General de Emergencias Mayores de la Secretaría de Protección Civil- Ciudad de México, considera como ejemplo de emergencia menor a las inundaciones. Dentro de su Catálogo de calamidades para el D.F. identifica a la Inundación pluvial como calamidad del grupo de agentes perturbadores de origen Hidrometeorológico y en su apartado de las Definiciones de fenómenos y calamidades para el D.F en Riesgos Hidrometeorológicos define Inundación pluvial: “Se refiere a la cantidad de lluvia en forma sólida o líquida, que cae de la atmósfera

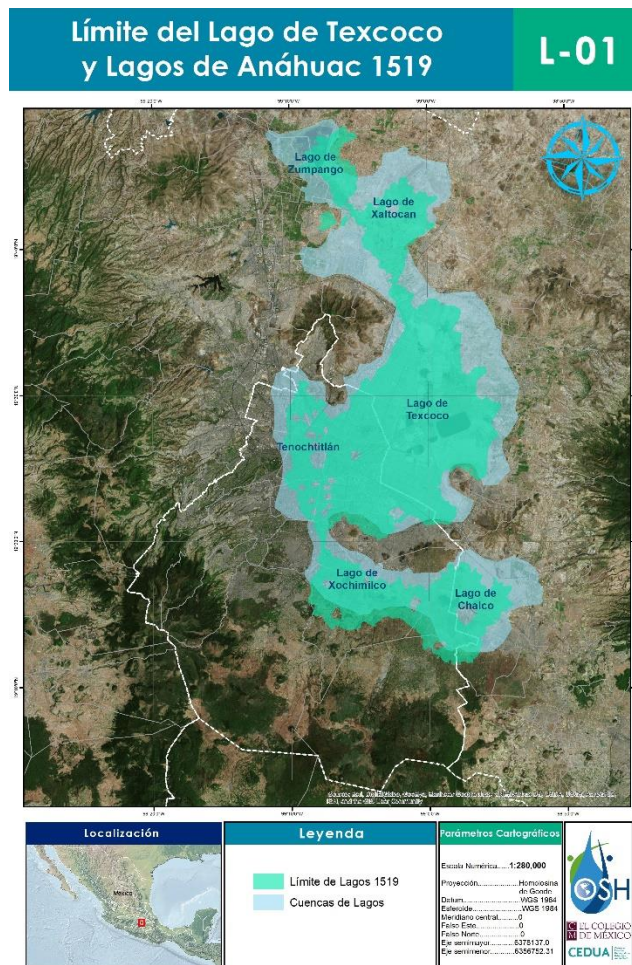
y rebasa la superficie plana de algunas zonas del territorio. La precipitación puede manifestarse como lluvia, llovizna, nieve o granizo. Esta es notoria por la cantidad de agua que cae en un espacio determinado en un tiempo breve y, en consecuencia, la infraestructura no es capaz de canalizarla a los espacios de almacenamiento y simplemente no se absorbe rápidamente por la tierra, la cual ya está saturada o es impermeable, ocasionando con ello las inundaciones”. No se define el término Encharcamiento.

El manual administrativo de la Secretaría de protección civil del Distrito Federal. (Gaceta Oficial del Distrito Federal de 6 de agosto de 2015) considera la inundación pluvial como un fenómeno perturbador hidrometeorológico. Y dentro de sus Normas y criterios de operación distingue a las inundaciones como un tema de emergencia, pues al definir *siniestro* menciona a los encharcamientos.

1.5 Inundaciones pluviales en la ciudad de México

Las inundaciones no son un fenómeno nuevo en la ciudad, más bien han sido históricamente recurrentes. Se han documentado las inundaciones que desde tiempos prehispánicos se produjeron; Perló (1999) presenta un cuidadoso análisis de las obras de desagüe de la Ciudad de México, y con admiración presenta la obra hidráulica de Porfirio Díaz para, precisamente, sacar las aguas negras y las de lluvia de la ciudad, una preocupación de los gobernantes hasta nuestros días.

Hasta el siglo XVIII el Valle de México (o Valle de Anáhuac) estaba constituido por cinco lagos principales, donde los tres de mayor dimensión eran el lago de México-Texcoco, el lago de Xochimilco y el lago de Chalco. Adicionalmente, los de Zumpango y Xaltocan constituían los de menores dimensiones (Jiménez et al. (2004). Ver Mapa L-01.



Fuente: Elaboración propia con información de UNAM, 2013 y Centro Geo, 2015

Debido al desecamiento y a los asentamientos humanos, hoy sólo quedan dos lagos alrededor del valle: el lago de Texcoco y el lago de Zumpango. Dentro de la cuenca hidrológica, no existen ríos importantes, sin embargo, hay algunos ríos intermitentes que acarrean grandes cantidades de agua en la época de lluvias (de mayo a septiembre). En términos generales, estos ríos bajan o escurren desde las montañas, principalmente del Desierto de los Leones, los Dinamos y el Ajusco, así como de las laderas del poniente de la ciudad (Jiménez et al. 2004).

Sin embargo, el incremento poblacional que ha tenido la Ciudad de México, de 2 a 20 millones de habitantes en seis décadas, representa –desde cualquier punto de vista– un reto descomunal en materia de infraestructura hidráulica. “Después de tres siglos y medio de drenar los cinco lagos del Valle de Anáhuac, el paisaje se modificó drásticamente y las aguas superficiales comenzaron a escasear. Los acuíferos subterráneos del propio Valle fueron una

solución al crecimiento urbano a principios del siglo XX, pero esta alternativa llegó a su límite al provocar hundimientos diferenciales del subsuelo en el centro de la Ciudad de México” (Cohen y Reynoso, 2006).

En cuanto a la constitución del acuífero regional, ésta presenta rocas volcánicas fracturadas cubiertas por depósitos lacustres y aluviales con menor conductividad hidráulica. Por esta razón, el acuífero del Valle de México es poroso, confinado en algunas áreas y semiconfinado en otras (Marín et al., 2002 citado por Jiménez et al. 2004). De manera general, este acuífero regional se recarga por la zona sur y poniente de la ciudad, donde desafortunadamente se incrementan en forma acelerada los asentamientos humanos, lo que por un lado ha disminuido la cantidad de agua que fluye al acuífero y, por otro, ha deteriorado su calidad con contaminantes (Jiménez et al. 2004).

Hoy en día persisten algunas reminiscencias de lagos en la Cuenca de México y en cuencas aledañas como la del Lerma, en donde además de los cuerpos de agua han perdurado algunas formas de economía lacustre (Cohen y Reynoso, 2006).

Actualmente, la ciudad consume más de 60 m³/s de agua, con un consumo per cápita de 320 litros por día por habitante, en promedio; la infraestructura hidráulica es vieja, se encuentra en mal estado y sufre daños relacionados con los hundimientos de la ciudad. De las fuentes de agua superficiales, las procedentes del río Lerma son conducidas a la ciudad por un túnel que cruza la sierra de Las Cruces. Por su parte, las del Sistema Cutzamala son conducidas 127 km y bombeadas 1200 m con un consumo de energía muy elevado (Birkle et al. 2015).

Aunque la Ciudad de México es una cuenca delimitada por cuerpos montañosos, no se puede considerar que las inundaciones se deben a factores meramente geográficos o físicos como la pérdida de cobertura vegetal, las características propias de los cuerpos de agua, el tipo, la pendiente y el uso de suelo. La intervención humana en el paisaje y el tipo de infraestructura, han sido factores detonantes de las inundaciones, no sin mencionar, el papel que tienen los hundimientos de la cuenca del valle de México y su fuerte relación con la sobreexplotación del acuífero. (Zepeda, 2001, p.139; Salas, 2007, p.21). Las condiciones geográficas de la cuenca han producido inundaciones pluviales, lacustres y fluviales pero aunado al crecimiento de la metrópoli, las modificaciones de la cuenca y la combinación de los diferentes tipos de agua, se han generado inundaciones de aguas negras; las modificaciones

hidráulicas mantienen seca de manera artificial a la ciudad (Arsenio González, 2010; Lozano, B., 2007).

Las preguntas que se intentan responder en este proyecto (no en el diagnóstico, cuya finalidad es proporcionar un conocimiento actual de la cuestión que vive la ciudad de México), son ¿A qué riesgos de seguridad hídrica se enfrenta la zona metropolitana de la CDMX? ¿Cuáles son los arreglos institucionales para coordinar competencias, actores y sectores?

Por nuestra parte, identificamos 5 retos para alcanzar la seguridad hídrica en esta región:

Gráfica 7. Principales riesgos que atender en la CDMX para alcanzar la seguridad hídrica



Fuente: Elaboración propia

La ciudad de México ha sufrido históricamente varias inundaciones; en el año 1500 d. C, la cuenca de México se dividía en dos ríos, separados por un dique, construido en 1449. La construcción de dicho dique no fue la solución, porque con el dique, las inundaciones siguieron ocurriendo. En este periodo, aunque las precipitaciones no atenuaban, la construcción y el mantenimiento constante de obras hidráulicas si fueron las suficientes para reducir los riesgos de catástrofes por agua, dentro de la metrópoli (Rojas, 2004).

En el periodo colonial las inundaciones tuvieron violentos desenlaces como consecuencia de que los europeos, desconocían y no dieron mantenimiento a las obras hidráulicas, lo que culminó con grandes inundaciones que se detectan en los años de 1550, 1580, 1607, 1615 y

1623. (García Martínez, 2004, p.52) y la planeación arquitectónica del desecamiento del lago (Carballal y Flores, 2004, p.44).

En 1623 se tuvo registro de otra inundación, como resultado de la suspensión del mantenimiento del túnel en Nochistongo que desviaba las aguas del río Cuautitlán para el cauce del río Tula (García Martínez, 2004, p.52).

En el año 1629, se registró un evento de precipitación pluvial que duró al menos 40 horas. Dicho fenómeno generó una inundación de al menos 2 a 6 pies de profundidad, donde la comida no podía ser llevada por las calles debido a la cantidad de agua presente. La gente se encontraba atrapada dentro de sus casas y los barrios indígenas fueron prácticamente destruidos y consumidos por la gran inundación; además, los monasterios y las grandes mansiones españolas también sufrieron graves daños. El agua socavó los cimientos y los edificios se volvieron inhabitables, ya sea por inundaciones interiores o por el peligro de colapso (Hoberman, 1974, p. 213).

Las obras de desagüe de la Ciudad de México pararon hasta el porfiriato, que es cuando se construye el Gran Canal para eliminar el peligro de las inundaciones (Aréchiga, 2004, p.63, Perló, 1999). El drenaje profundo, comenzó a funcionar en 1975 para evitar el colapso del Gran Canal, cuyo problema que presenta es que ha perdido su pendiente por el hundimiento del suelo y es necesario bombear el agua para que se traslade por el cauce (Aréchiga, 2004, p.64).

En 1977, la ciudad ya tenía una tasa de crecimiento alto y los acuíferos ya se encontraban sobreexplotados, situación que generó que el suelo se hundiera hasta nueve metros. En ese periodo de tiempo, se realizaron acciones a corto plazo para intentar evitar inundaciones y desalojar las aguas residuales.

Entre esas acciones están la ampliación del sistema hidráulico y el mantenimiento diferido. Sin embargo, al no haber una planeación a largo plazo, hubo un deterioro de las instalaciones y el aumento de fugas. A dichos problemas, se les sumó la falta de financiamiento y la falta de coordinación de las responsabilidades para llevar a cabo distintas funciones (Villalobos *et al*, 1982, p.2).

En el periodo de 1980-2000 se tuvo registro de al menos 668 inundaciones severas, de las que dio cuenta Romero-Lankao en un artículo publicado en 2010 en el que atribuía al cambio climático el aumento de las lluvias, registrando el número de habitantes afectados, donde las siguientes resultan representativas para las municipalidades presentadas (Romero-Lankao, 2010):

Tabla 1. Registro de inundaciones representativas en el periodo 1980-2000.

Municipalidad	Número de inundaciones	Número de habitantes afectados
Gustavo A. Madero	30	231,000
Iztapalapa	53	63,480
Álvaro Obregón	33	1,250
Tlalpan	24	1,000
Xochimilco	23	34,000
Cuauhtémoc	27	1,000
Miguel Hidalgo	21	0
Chalco	43	9,670
Chimalhuacan	24	906,200
Ecatepec	58	76,200
Ixtapaluca	21	164,580
Naucalpan	33	2,021
Netzhualcoyotl	36	96,940

Fuente: Romero Lankao, P. , 2010

De manera particular, en 1998, durante el mes de septiembre, se registraron las lluvias con mayor intensidad durante los últimos 111 años hasta esa fecha, donde se desalojó un caudal de 315 m³/s, mientras que el abasto promedio fue de 63 m³/s (Izazola, 2001, p. 298).

La alcaldía Iztapalapa es una de las que siempre se ha visto fuertemente afectada por las inundaciones pluviales; en el periodo 1998–2005 la heterogénea distribución espacial de la lluvia, así como a su intensidad y duración, las condiciones planas del relieve, la falta de mantenimiento y de capacidad del drenaje, así como al vertido de desechos sólidos en la vía pública (Vera y López, 2010, p.22-40) agravaron la situación.

Varios episodios han sobresalido por sus repercusiones económicas y catastróficas en la ciudad. En agosto de 2008, el huracán Dean vertió 79 milímetros de lluvia en tres horas a la

ciudad de México. Esto provocó el desborde del sistema de drenaje, cuya capacidad se había reducido mucho por falta de mantenimiento. El resultado fue una gran inundación de agua, aguas residuales, barro, desechos y basura. Con ello, se estableció un nuevo récord de lluvias intensas, además de una crisis vial con un caos de colisiones, pues los 4 millones de coches de la ciudad buscaron su camino a través de las calles inundadas. En algunas áreas, las aguas inundadas aumentaron en 80 centímetros, atrapando a los conductores en sus automóviles hasta que llegaron las unidades de rescate (Romero Lankao, 2010, p.1). Asimismo, destacan las inundaciones provocadas en la temporada de lluvias del 2009 y por las lluvias atípicas invernales del 2010, donde los municipios de Ecatepec, Nezahualcóyotl, Valle de Chalco Solidaridad, Tlalnepantla, Tultitlán y Chalco se vieron severamente afectados debido a un cambio en los patrones de lluvia y al rebasamiento de la capacidad de la infraestructura de drenaje (Contigiani y Reynoso, 2013, p.139).

Otra zona afectada fue la de Ecatepec, en que destacan eventos de inundaciones registrados en el periodo 2002-2011, donde la cantidad de habitantes afectados (aproximadamente) fue de 70,866; el 30 de junio de 2011 se presentó un episodio de lluvia que duró más de 6 horas y que provocó el desbordamiento del Drenaje General del Valle de México y el Río de Los Remedios, en las inmediaciones del kilómetro 47 del Circuito Exterior Mexiquense. La inundación afectó más de 400 viviendas y causó congestiones viales en la Avenida Central y Vía Morelos. Asimismo, alcanzó, en algunas partes, hasta 50 centímetros de profundidad. Se registraron 67 milímetros de agua, prácticamente el doble de la cantidad habitual. Cabe mencionar que dicho fenómeno no ocurría desde hacía 23 años (De Alba y Oropeza, 2014, p. 154). Pero ahora, estos episodios son frecuentes, y en este estudio se muestra el periodo de 2010 a 2018, que ha derivado incluso en pérdida de vidas humanas.

1.6 La obra hidráulica para afrontar las inundaciones pluviales en el Valle de México

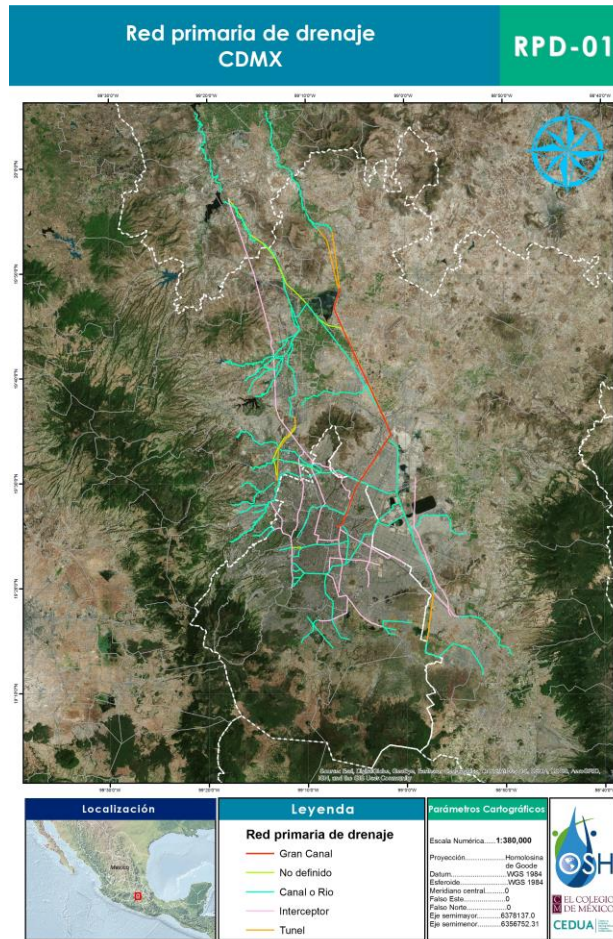
El Valle de México o Anáhuac sufrió un cambio drástico después de tres siglos y medio de drenar sus lagos, y más aún cuando los acuíferos comenzaron a ser explotados, provocando hundimientos en la zona. Entre las glorias de Don Porfirio Díaz, como le llamó Perló, está el Gran Canal Desagüe del Valle de México, cuya construcción duró más de diez años y muchas vicisitudes entre lo público y lo privado; finalmente se inauguró el 17 de marzo de 1900

(Perló, 1999: 235), pero que no terminó con las inundaciones y la insalubridad como se pretendió, pasados seis meses de la inauguración, la ciudad sufrió una gran inundación y muchas más, históricas (1910, 1925) posteriormente; teniendo repercusiones principalmente en la salud por cuestiones de higiene (Perló, 1999: 253).

El cambio de régimen político (de la dictadura de Porfirio Díaz al México independiente) no fue obstáculo para que continuara la gran obra hidráulica de la Ciudad de México que, posterior a la Revolución se constituyó como un departamento especial (Departamento del Distrito Federal) con una estructura administrativa propia para la gestión del agua (la Dirección General de Aguas y Saneamiento creada anteriormente pasó a su estructura para administrar y pagar los costos del abastecimiento y drenaje del DDF que asumía el Gobierno federal). El Gran Canal de Desagüe sufrió varias modificaciones en los años posteriores porque su capacidad era limitada para la abundancia de lluvias que se presentaba; la prolongación sur del Gran Canal que tenía un cauce de 10,600 metros de longitud con una capacidad de 10m^3 por segundo (Perló, 1999: 263) (Ver mapa RPD-01), pero las lluvias seguían afectando la ciudad y la red de drenaje era ya insuficiente y disminuyó la pendiente del Gran Canal y debido a la extracción de agua de los pozos la ciudad empezaba a hundirse; entre las medidas que se adoptaron fue la de construir plantas de bombeo para evaluar las aguas de lluvia en los colectores del sur, norte y centro que desembocaban en el Gran Canal (Perló, 1999: 266). En 1959 se planteó otra solución y fue la construcción del Drenaje Profundo, que descendería hasta 200 metros, pero que no inició hasta 1967 con presupuesto federal; en el interin se construyó el interceptor poniente para ayudar en el desalojo de aguas hasta el Tajo de Nochistongo en el Estado de México.

En 1975 se terminó una primera etapa del Drenaje profundo con un emisor central que recorría 50 kilómetros desde el centro de la ciudad hasta el Salto en el Estado de Hidalgo, y se terminaron por esas fechas dos interceptores más, oriente y central de 8 y 10 kilómetros respectivamente, que fueron ampliándose cada vez más con los años hasta que en 1987 se construyó otro colector semiprofundo en Iztapalapa, llegando a 125 kilómetros de longitud, continuándose el entubamiento por los gobiernos federal y local posteriores, en la parte en que va a cielo abierto, llegando a constituir una gran megaobra hidráulica construida a lo largo de varias décadas. El Sistema General de Desagüe del Valle de México, integrado por el drenaje profundo y el Gran Canal construido durante el porfiriato. El sistema hidráulico de

la ciudad construido artificialmente durante un siglo ha permitido aliviar las inundaciones, pero no ha resuelto el problema.



Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX, 2018

Actualmente, la Ciudad de México drena sus aguas residuales hacia el valle del Mezquital a través del Gran Canal del Desagüe, del Interceptor Poniente y del Emisor Central. Este valle recibe aproximadamente 50 m³/s de agua residual no tratada para el riego de alrededor de 45,214 ha, donde el 81% de los canales principales y el 52% de los canales laterales no se encuentran revestidos y parte del agua residual que conducen, recarga directamente al acuífero. Actualmente la principal entrada de agua al acuífero del valle del Mezquital corresponde a la infiltración a través de canales y retornos de riego -de aguas residuales sin tratar provenientes de la Ciudad de México- (Lesser-Carrillo et al. 2011).

Hoy en 2019, se aprecia que esta gran obra hidráulica, necesaria, pero insuficiente, ha tenido otros impactos en la ciudad. Aunado al cambio de uso del suelo, especialmente de

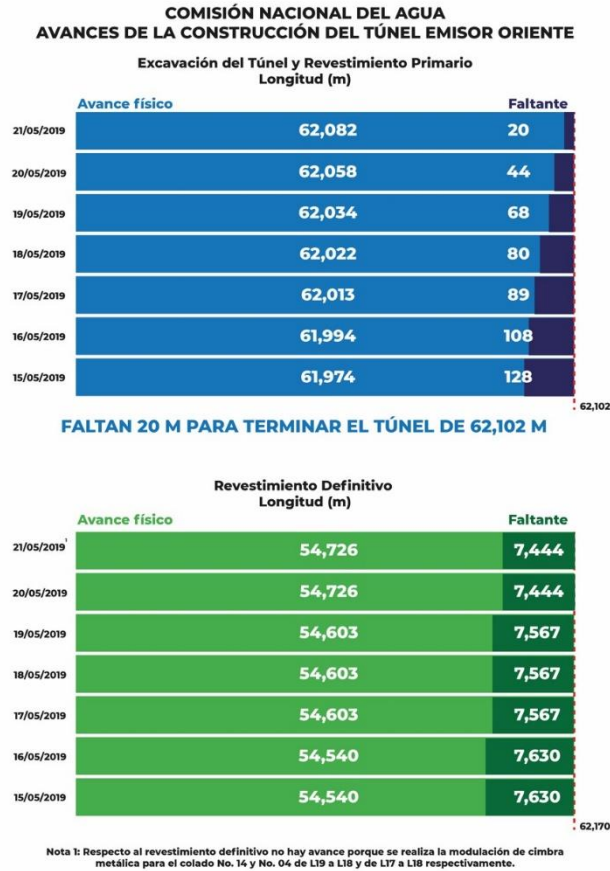
conservación, donde existen asentamientos irregulares o tala clandestina, ha incrementado la vulnerabilidad a la que se enfrentan sus ciudadanos ante lluvias torrenciales. Se discuten nuevos paradigmas, como el de “infraestructura verde” para regresar a la ciudad lo que un día se quitó. Pero también se considera necesaria la construcción de nueva obra hidráulica, como el Túnel Emisor Oriente (TEO).

1.7 El Túnel Emisor Oriente (TEO): La gran obra hidráulica de este siglo para desalojar las aguas pluviales de la CDMX

La población en el Valle de México para 1975 era de 10 millones de habitantes y el sistema de drenaje del Valle de México que desalojaba 280 m³/s de aguas negras y pluviales resultaba suficiente. Para 2007 la población alcanzó los 19 millones de habitantes y el desalojo aumentó a 315 m³/s. Para ese año el Sistema de Drenaje Profundo llevaba más de una década sin mantenimiento, lo que generó riesgos de catástrofe por inundación, aunado a un posible colapso del túnel Emisor Central, el cuál llevaba más de 15 años sin mantenimiento ni inspección, hasta que, en el 2008, tuvo su primera inspección, debido a un estiaje. Para reducir los riesgos y como medida preventiva inmediata, se construyeron cuatro plantas de rebombeo para la capacidad de desalojo del Gran Canal, sin embargo, el visionario plan para evitar los riesgos de catástrofe fue la planeación del Túnel Emisor Oriente (Cámara de Diputados del Congreso de la Unión, 2018, p 1). El Túnel Emisor Oriente (TEO), se construyó bajo la fórmula de participación público-privada (Redacción Obras, 2017) y comenzó el 13 de agosto de 2008, se preveía finalizar la construcción en cinco años (2012), sin embargo, se alargó a más de diez. En la actualidad, el TEO reporta un 97% de excavación y por ello se prevé que entre en funcionamiento para la próxima temporada de lluvia (Enciso L Angélica, 2019).

La mega obra abarca la Ciudad de México, el Estado de México e Hidalgo y es considerada la obra hídrica más importante de la historia del país y la más grande del mundo, de su tipo que, para costearla se han invertido una gran cantidad de recursos fiscales (Cámara de Diputados del Congreso de la Unión, 2018). Se trata de una obra de salida de drenaje complementaria y alterna al Emisor Central que apenas entrará en uso en los próximos meses de 2019.

Gráfica 8. Avance físico del Túnel Emisor Oriente



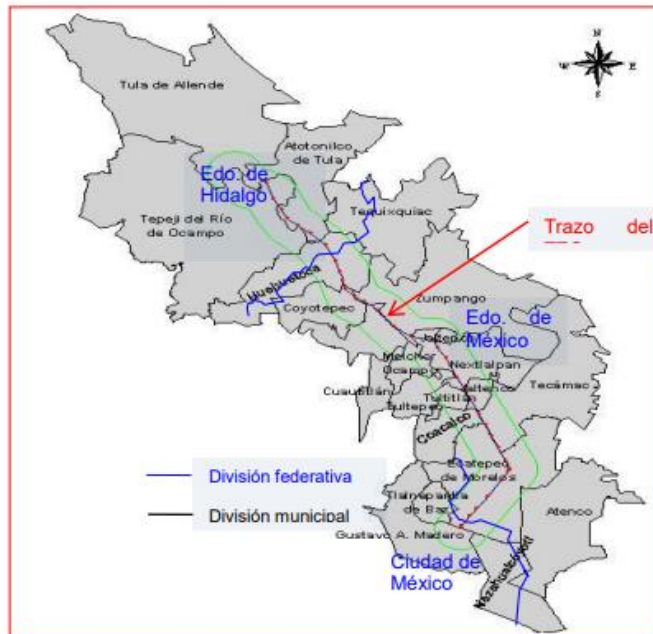
Recuperado de: Comisión Nacional del Agua. Publicado el 28 de abril del 2019.

Se considera que esta obra será capaz de drenar 150 m³/s (El Universal, 2017) y así evitar riesgos de inundaciones en temporadas de lluvia, sin embargo, recientemente el Coordinador del Sistema de aguas de la Ciudad de México (SACMEX) expresó que es ya insuficiente (Evento “Gestión del riesgo de inundaciones”, El Colegio de México, 18 de junio de 2019), aun cuando no ha entrado en operación. Tiene 62 kilómetros de longitud, lo que hace un total de seis frentes de construcción de 10 km de longitud cada uno, posee desde 23.3 metros hasta más de 150 metros de profundidad y 25 lumbreras (Comisión Nacional del Agua, 2018, p 10-11).

Resultado también de una compleja planeación y proceso de construcción, y como consecuencia de que la obra ha sido pensada para que, en años futuros, sea posible realizar mantenimiento a la infraestructura de drenaje, gracias a túneles que pueden trabajar de forma alternada y simultáneamente en época de secas y de lluvias. Con esta megaobra, se busca

proteger a los habitantes de condiciones insalubres, producto de la contaminación por aguas negras, reduciendo el riesgo de inundación en la ciudad (SEMARNAT, 2008, p 5).

Mapa. Distribución del Túnel Emisor Oriente en el territorio nacional



Fuente: Comisión Nacional del Agua. (2018). *Libro Blanco: Construcción del Túnel Emisor Oriente*. Ciudad de México. Página 10.

En el tema de construcción, como ya se mencionó, la obra se ha tardado más tiempo de lo que en un inicio se pensó. Uno de los retos de la ingeniería hidráulica fue la diversidad de suelos que el Valle de México tiene; para solucionar la problemática de los suelos, se utilizaron máquinas especiales para cada tipo de suelo de cada tramo y así poder excavar hasta 150 metros de profundidad. Por el otro lado, la mega obra es tan grande que, para poder construirla, se excavaron inicialmente 23 lumbreras para poder ingresar el material y equipo durante la construcción de la obra; otro factor es el hundimiento por la sobreexplotación del acuífero (Benítez Verónica, 2009).

Su costo se ha triplicado a lo establecido inicialmente, ascendiendo a un total del gasto autorizado acumulado del 2008 al 2018 de \$ 31,086,517,158.00 (Comisión Nacional del Agua. 2018, p 74) presupuesto al cuál, también se reporta que tuvo aportaciones de CONAGUA y del Fideicomiso 1928 para apoyar los Proyectos de Abastecimiento de Agua

Potable, Drenaje y Saneamiento del Valle de México de julio del 2012 a junio del 2018 de \$19,321,915,61040.

El inicio de las lluvias, según la Comisión Nacional del Agua para el 15 de mayo serán las que muestren si resuelve el problema. Lo cierto es, que hay otros factores, que ahora son determinantes -si no lo fueron en el pasado- de las inundaciones pluviales urbanas en este territorio, y es ello lo que se mostrará en las páginas siguientes.

1.8 Panorama actual: aumento del riesgo de inundación

Hoy en día, dentro de la Ciudad de México la presencia de lluvias intensas denota que el territorio es afectado constantemente sin que se gestionen adecuadamente, provocando daños y pérdidas económicas difíciles de cuantificar, que incluyen no solo el patrimonio, sino vidas humanas.

El año 2018 inició con una sorpresiva granizada en la Ciudad de México, que según con Protección Civil provocó encharcamientos e inundaciones en vialidades tanto primarias como secundarias, las Alcaldías más afectadas fueron: Álvaro Obregón, Azcapotzalco, Benito Juárez, Coyoacán, Gustavo A. Madero, Iztacalco, Iztapalapa, Magdalena Contreras, Tláhuac, Venustiano Carranza y Xochimilco. Las inundaciones provocaron daños principalmente en el transporte público, como es el caso del Sistema de Transporte Colectivo (STC), que ve afectado su servicio principalmente en las líneas: 3, 5, 9, 12, A y B (El Universal Metrópoli, 2018b; La Silla Rota, 2018; La Silla Rota, 2019; Milenio Digital, 2019; Rodríguez, 2018). Otras consecuencias derivadas del fenómeno son los árboles caídos, además de bardas y hasta la suspensión de operaciones en el Aeropuerto (Aristegui, 2018). Cabe enlistar también el desbordamiento del Río San Buenaventura que afectó tanto a colonos de la delegación Tlalpan como de la delegación Xochimilco. Dos casos importantes en el año 2018 fueron la inundación del Centro Deportivo Olímpico México (Índigo, 2018) y la muerte de un menor de 9 años arrastrado por el agua, en la primera semana de lluvias de junio del año 2018 en una coladera que no estaba cerrada, en la alcaldía de Iztapalapa, debido a que las lluvias provocaron que el agua alcanzara más de 70 centímetros de altura, según reportes de Protección Civil³ (Animal Político, 2018; Chilango, 2018; El Universal

³ “Un niño de nueve años falleció ahogado tras ser arrastrado por la corriente de agua cuando se dirigía a su casa con su madre luego de salir de la escuela en la Colonia San Miguel Teotongo, en Iztapalapa.

Metrópolis, 2018; Milenio Digital, 2018; Olvera, 2018; Plumas atómicas, 2018; Publimetro, Solís, 2018; 2018; Velasco, 2018) Esta alcaldía representa un ejemplo de un espacio muy vulnerable en términos hídricos (por su escasez) y sociales, por la profunda desigualdad que, al mismo tiempo que se inunda ante lluvias torrenciales, presenta graves problemas de desabasto de agua en la vivienda. El año de 2019 también; en un escenario urbano de doble contingencia ambiental, provocada por incendios, ozono, y emisiones vehiculares, el 15 de mayo dio inicio las lluvias con una granizada (Excelsior, 2019).

Como se dijo en un inicio, si bien la Ciudad de México tiene una gran historia de inundaciones que han superado en su mayoría la capacidad de gestión de los gobiernos; lo cierto es que ahora, la incertidumbre asociada al cambio climático presenta otros escenarios, donde la respuesta de construcción hidráulica quizá ya no sea suficiente. Las condiciones no son las mismas y las respuestas sociales e institucionales deben cambiar, orientándose hacia una respuesta adaptativa y de resiliencia urbana.

No se tiene un diagnóstico claro de los riesgos a los que está expuesta la población, aun contándose con un Atlas de riesgos para la Ciudad de México y es necesario socializar la perspectiva de la gestión integral de riesgos. Se requiere más información de las afectaciones que se han producido e incorporar indicadores sociodemográficos a aquellos que se tengan sobre eventos y daños a la infraestructura (si se tiene) que puedan dar una imagen más puntual de lo que pasa en la ciudad por estos eventos.

En la ocurrencia de este fenómeno hay varios factores causales, el territorial es decisivo, pero también lo es la basura en las calles que colapsa los sistemas de drenaje, la edad del drenaje, el desorden urbano, tanto de movilidad como de ocupación del suelo, los asentamientos en zonas de conservación, que son factores fuera de la gestión del agua, pero tan determinantes, o más, en la vulnerabilidad hídrica de la ciudad.

Es necesario contar con un diagnóstico actualizado del fenómeno de inundaciones pluviales en la Ciudad y más allá de ella, aunque en este primer acercamiento se circunscribirá la

Un reporte policial indica que, mientras corrían, el niño se zafó de la mano de su madre, resbaló y, al caer, fue arrastrado hasta quedar atorado en una coladera en el cruce de Eloy Cavazos y Armillita. Paramédicos confirmaron a la madre que el niño murió por ahogamiento.

Elementos de la Policía de Investigación, peritos en criminalística y fotografía, arribaron al lugar para iniciar las primeras diligencias y trasladar el cuerpo al anfiteatro.

Según reportes de Protección Civil, el nivel del agua rebasó los 70 centímetros de altura, por lo que emitió alerta roja para Cuajimalpa y alerta amarilla en Iztapalapa, Álvaro Obregón, Coyoacán, Tlalpan, Gustavo A. Madero y Magdalena Contreras.” (Animal Político, 2018)

investigación a la Ciudad, debido a limitaciones presupuestarias y de tiempo. No obstante, se explicará la ciudad dentro de la cuenca y estableciendo, en su caso, la interdependencia que tiene respecto a su entorno ambiental y metropolitano.

La Ciudad de México cuenta actualmente, de acuerdo con la información pública del Atlas de Riesgos de la Secretaría de Gestión Integral de Riesgos de la CDMX (2019), con información de escenarios de afectación por fallas en los principales emisores del drenaje (Gran Canal, Emisor Poniente y Central), que están basados en el caudal de la tubería de los emisores para precipitación a 8 horas y una semana en segmentos de la red primaria, en términos de encharcamientos ocasionados por la acumulación superficial de aguas sobre el suelo de la ciudad existen 3 capas (2018, 2017, 2016) de puntos que no registran valores de intensidad y en su mayoría de causalidad, identifican en promedio 250 registros de encharcamiento. Según expresó la Secretaría de Gestión Integral de Riesgos de la CDMX, se está integrando la información de los registros de SACMEX y por primera Protección civil de actúa coordinadamente con las dependencias del gobierno de la ciudad ⁴.

No obstante, sí se considera que las bases de SACMEX anualmente contienen en promedio 3,000 registros para toda la ciudad es evidente que la información provista por la Secretaría de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil de la CDMX es insuficiente para analizar a detalle, la incidencia, causalidad y siniestralidad asociada al fenómeno en todo el territorio de la ciudad.

Por lo que el Mapa de riesgos de la Ciudad de México no contiene información sobre las causas y condicionantes reales de inundaciones en el territorio, sobre el peligro a través de un análisis hidráulico de los flujos superficiales y zonas de acumulación originadas por el relieve transformado de la ciudad, así como su incorporación con datos de precipitación para la estimación de periodos de retorno, la vulnerabilidad social y física analizada por medio de la elaboración de indicadores y cartografía de las diferentes condiciones sociodemográficas y económicas de los sistemas expuestos presentes en la zona de estudio, elementos indispensables para la identificación del riesgo ante inundaciones pluviales y la respectiva proposición de alternativas concretas para su reducción y mitigación. Razón por lo cual en esta investigación se propone desarrollar una metodología que incorpore los factores de la

⁴ Seminario sobre Seguridad hídrica urbana: La gestión del riesgo de inundaciones en la Ciudad de México, El Colegio de México, 19 de junio de 2019.

dinámica natural y física, económica y social, que en conjunto son indispensables para la identificación del grado de riesgo en cada Alcaldía, y en un segundo momento, que se difunda esta información.

El presente trabajo busca no solo caracterizar a fondo el fenómeno, si no también definir una metodología que aporte mecanismos de reducción de riesgos basados en las causas, relaciones y condicionantes del territorio urbano, para analizar de manera integral el territorio de la ciudad.

2. CARACTERIZACIÓN DE LOS PRINCIPALES ASPECTOS DE LA CIUDAD DE MÉXICO PARA UN DIAGNÓSTICO DEL FENÓMENO DE INUNDACIONES

En este apartado se identifican y describen los principales elementos del medio físico natural, sociodemográfico y económico relacionados a las inundaciones pluviales de la Ciudad de México con el propósito de representar un contexto de la situación territorial que contribuirá al posterior análisis del fenómeno. Los principales aspectos físicos relacionados con las inundaciones pluviales suscitadas en la Ciudad de México se obtuvieron de Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

2.1 Principales aspectos físicos

2.1.1 Cuencas y subcuencas

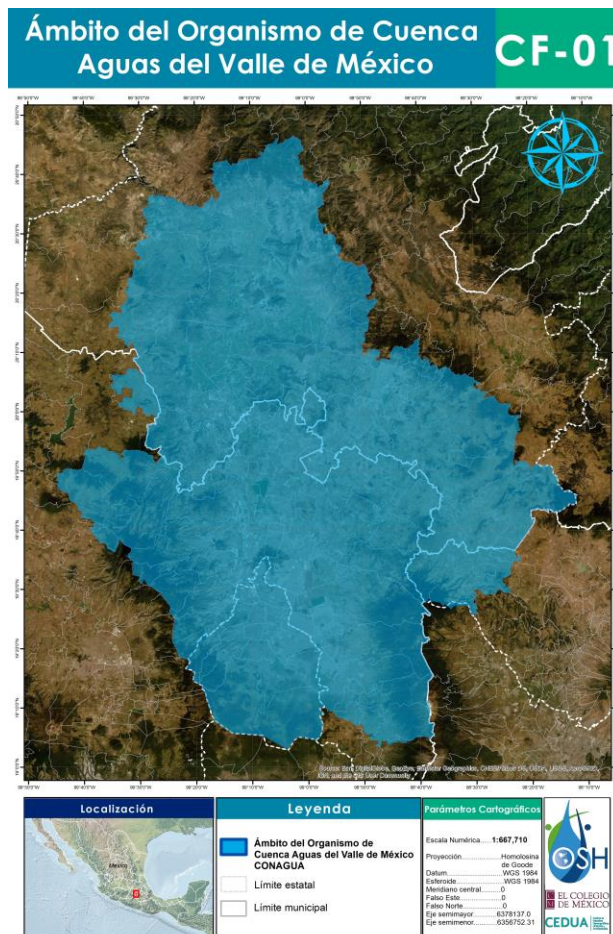
La Ciudad de México se ubica en la región hidrológica-administrativa (RHA) *XIII Aguas del Valle de México* de acuerdo a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA); el órgano administrativo, normativo, técnico y consultivo encargado de la gestión del agua en México, tal como se indica en el Acuerdo de Circunscripción Territorial de los Organismos de Cuenca, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 1 de abril de 2010 y ocupa 1,486 km² de los 18,229 km² de superficie continental de dicha región. (CONAGUA, 2018:23, 25).

Tabla 2. Región Hidrológico-administrativa XIII Valle de México

	Superficie continental (km ²)	Agua renovable 2017 (hm ³ /año)	Población a mediados de año 2017 (millones de hab.)	Agua renovable per cápita 2017 (m ³ /habitante/año)	Aportación al PIB nacional 2016 (%)	Municipios o alcaldías de la CDMX (número)
No. RHA XIII	18229	3401	23.55	144	24.63	121
Ciudad de México	1 486	644	8.81	55	16.97	16

Fuente: CONAGUA, 2018:23, 25.

La cuenca abarca mucha más extensión de la delimitada por la demarcación política de la Ciudad de México.

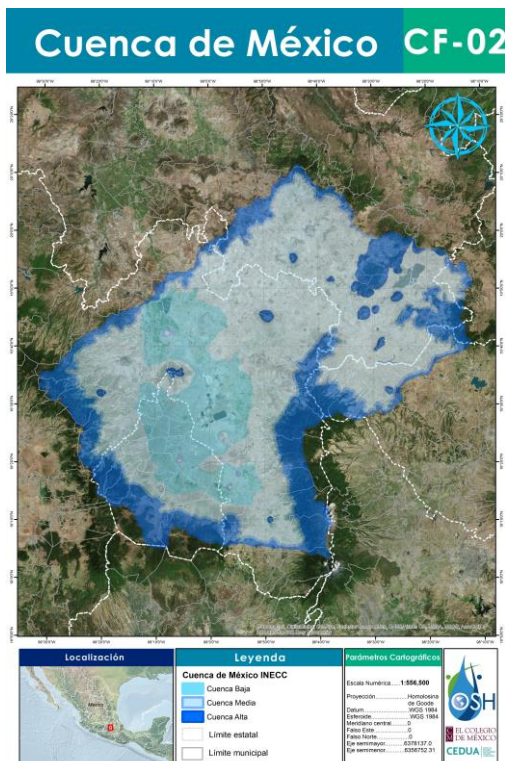


Fuente: Elaboración propia con información de CONAGUA, 2016

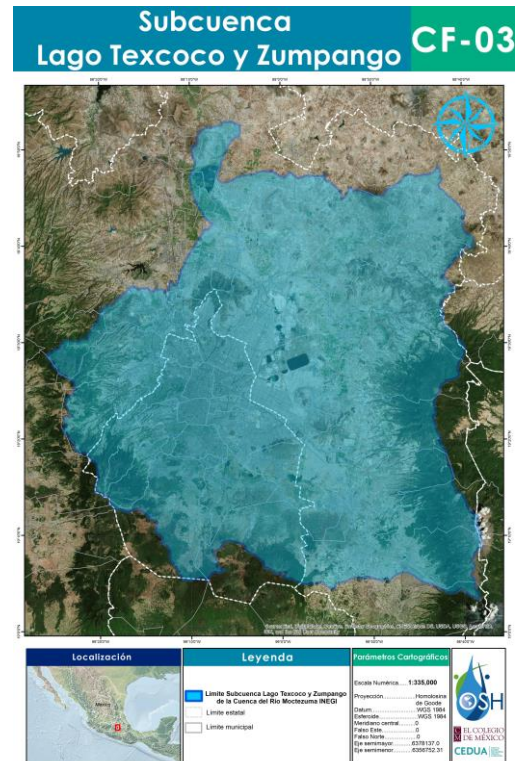
En el año 2016 El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) realizó un Mapa de Cuencas Hidrográficas de México, escala 1: 250,000 identificando 1,473 cuencas; dentro de ellas en la *Cuenca de México* definió el territorio de la Ciudad de México (mapa CF-02), la divide en tres tipos de cuenca de acuerdo a su altitud: Cuenca baja; la superficie representada con azul claro, Cuenca media ilustrada con un tono azul grisáceo y Cuenca Alta marcada con azul fuerte. (INECC, 2018), no obstante, posteriormente la CONAGUA junto con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) realizaron otra delimitación de cuencas, reduciendo el número a 734 cuencas.

En el Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas (SIATL) del INEGI en el año 2010 localizó a la Ciudad de México dentro de la Subcuenca Lago de Texcoco y Zumpango perteneciente a la Cuenca del Río Moctezuma (INEGI, 2010), como lo precisó el INECC “la Subcuenca es la unidad de planeación-gestión donde se da la identificación y diagnóstico de

las fuentes de los impactos negativos” (Cotler & Pineda, 2007:21) por lo que es importante precisar su ubicación espacial (mapa CF-03); como se observa el área de la subcuenca abarca casi en su mayoría el territorio de la Ciudad de México y sus alrededores dejando fuera una pequeña área al sur de las alcaldías Cuajimalpa, Tlalpan, Milpa Alta, que pertenecen a otra cuenca, por lo que dichas zonas no interactúan al sistema hidráulico de la ciudad, esta misma zona (*Cuenca de México* identificada por el INECC y parte del *Organismo de Cuenca* precisado por CONAGUA) tampoco la reconoce como parte del sistema.



Fuente: Elaboración propia con información de INECC, 2016

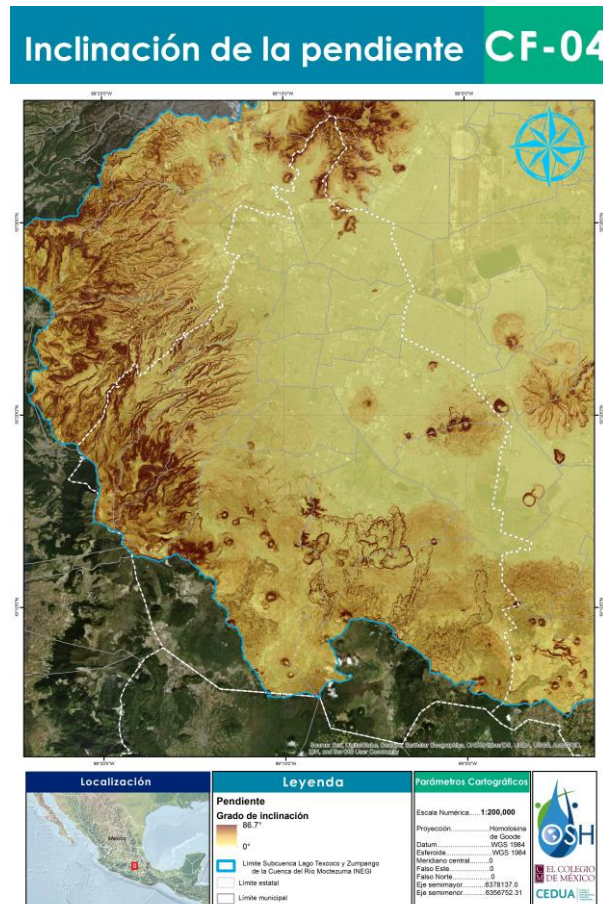


Fuente: Elaboración propia con información de SIATL del INEGI, 2010

2.1.2 Inclinación de la Pendiente

Las diferencias en la altitud del territorio vinculado a la ciudad definen la inclinación de la pendiente que esta asume, que detalla las superficies con mayor potencial de acumulación (zonas con planicies) o de escurrimiento (zonas altas) del flujo de agua aportado por las precipitaciones en la región. Las zonas con mayor inclinación de la pendiente son aquellas más altas (mapa CF-04), donde se ubican las elevaciones o cerros de la ciudad, identificadas con color café las cuales llegan en su punto más alto hasta un grado de inclinación de 86.7°. Dichas zonas, las más altas de la ciudad se localizan al suroeste en partes puntuales de las

alcaldías Álvaro Obregón, Magdalena Contreras, Tlalpan, al sur en algunas zonas de la alcaldía de Xochimilco, al norte de la alcaldía Gustavo A. Madero, al este de Iztapalapa y Tláhuac. Las tonalidades más claras de café y los tonos amarillos especifican áreas con menor inclinación de la pendiente, zonas de mayor planicie en el territorio, ubicadas al oriente de la ciudad.



Fuente: Elaboración propia con información del INEGI, 2011

2.1.3 Uso de Suelo y Vegetación

El uso de suelo y la cobertura de vegetación de un territorio son elementos que pueden exacerbar o aminorar el grado de acumulación de los escurrimientos y el flujo de agua procedente de la precipitación debido entre otros aspectos a la posible interrupción del proceso de infiltración del ciclo del agua. Es en este sentido de gran relevancia caracterizar los principales aspectos del uso de suelo y cobertura que la ciudad de México asume en la actualidad, así como los principales cambios que ha experimentado.

De acuerdo con la información disponible de las fuentes oficiales a nivel nacional, INEGI y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), y de la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial (PAOT) de la Ciudad de México, se elaboraron los mapas de este apartado que identifican las principales coberturas de vegetación presentes en la ciudad, así como su respectivo uso de suelo.

Para poder contrastar las diferencias en la superficie ocupada por las distintas coberturas de Uso de suelo y Vegetación en la ciudad se ocupó la información de la Serie 1 y 6 de INEGI, donde debido a las diferencias en la clasificación de coberturas se agruparon conforme los usos de suelo y vegetación de la serie 1 las distintas coberturas de la serie 6 (Ver Anexo II. Información estadística. A) Clasificación del Uso de suelo y Vegetación Serie 6 adaptada a la Serie I).

Dicha agrupación de coberturas se realizó para poder contrastar la dinámica del uso de suelo en la ciudad de los años 1978 al 2017, periodos donde el INEGI elaboró la información, en la cual se observa que la mayoría de las coberturas vegetales han disminuido su superficie ocupada.

El Manejo agrícola, pecuario y forestal (plantaciones) es el uso de suelo que ha experimentado la mayor pérdida de ocupación territorial con aproximadamente 219 kilómetros cuadrados menos. En contraste el entorno urbano, representado como la cobertura de “las ciudades importantes” presenta un aumento de ocupación del suelo de casi 213 kilómetros de superficie.

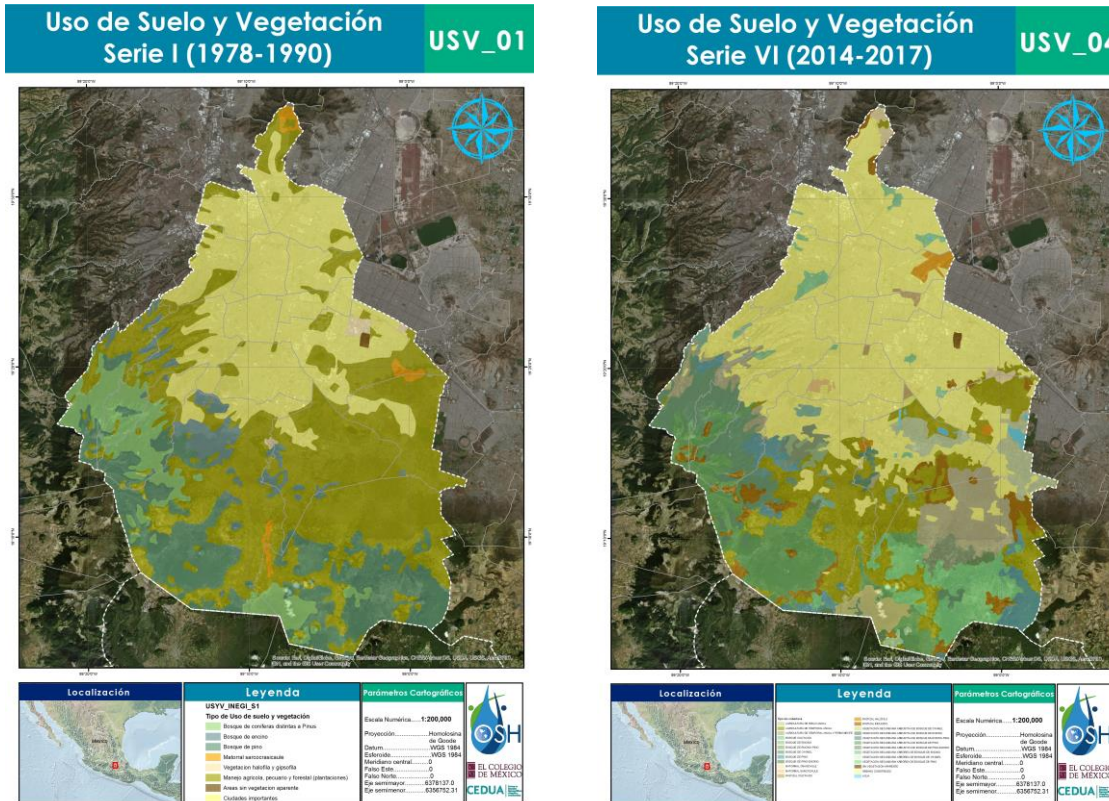
Las coberturas que hay son bosque de pino y vegetación halófila y gipsófila presentan un aumento de superficie, la primera de 38.448 Km² y la segunda de 3.593 Km². Los cambios de todas las coberturas se aprecian en la siguiente tabla:

Tabla 3. Cambio de Uso de suelo y Vegetación Serie 6-Serie 1

Uso de suelo y Vegetación	Área Km ² Serie 1 INEGI	Área Km ² Serie 6 INEGI	Cambio de cobertura Serie 6-Serie 1
Áreas sin vegetación aparente	1.504	1.41	-0.094
Bosque de coníferas distintas a Pinus	111.427	101.16	-10.267
Bosque de encino	54.385	26.01	-28.375
Bosque de pino	244.052	282.50	38.448
Ciudades importantes	434.264	647.24	212.976
Manejo agrícola, pecuario y forestal (plantaciones)	637.634	418.60	-219.034
Matorral sarcocrasicaule	12.299	10.45	-1.849
Vegetación halófila y gipsófila	6.907	10.50	3.593

Elaboración propia con información de la Serie 1 (1978-1991) y 6 (2014-2017) de INEGI

La ocupación del suelo de la Serie 1 (1978-1990) y la Serie 6 (2014-2017) del INEGI se observa en el mapa USV_01 y USV_04 respectivamente. La zona sur y norte modificaron el uso de suelo de *Manejo agrícola, pecuario y forestal (plantaciones)* a una cobertura *urbana*; Cuajimalpa de Morelos, Álvaro Obregón, Tlalpan, Xochimilco, Tláhuac e Iztapalapa son las alcaldías que denotan mayor cambio en esta superficie ocupada. Las coberturas vegetales se concentran en el sur de la ciudad, en ambos mapas se presenta la mayor concentración de área sin vegetación aparente en la alcaldía de Iztapalapa.



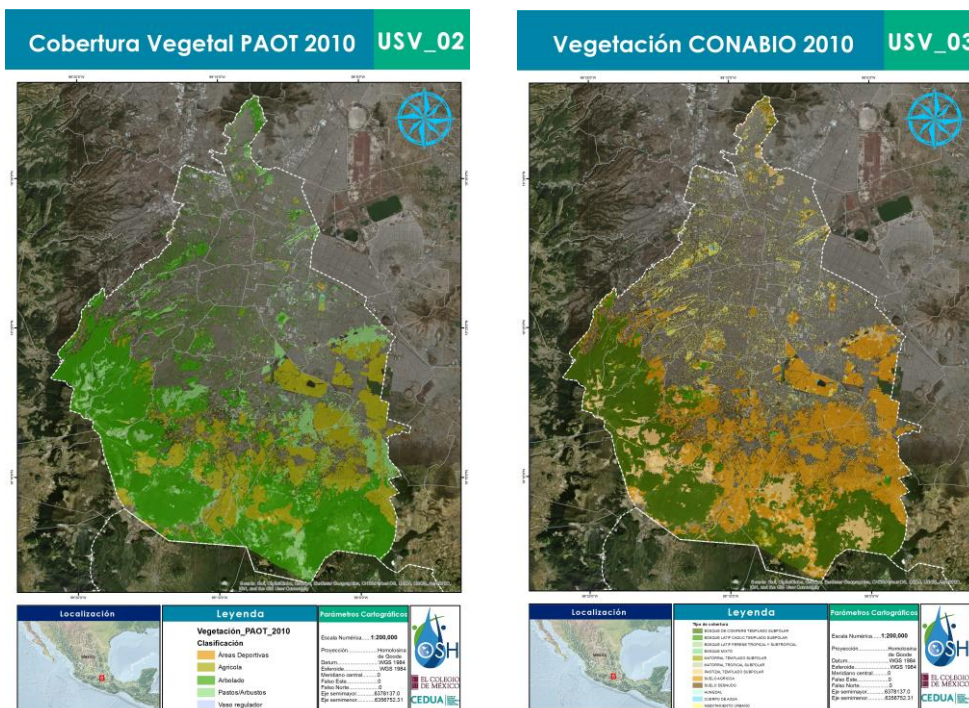
Fuente: Elaboración propia con información del INEGI, 2017

El mapa USV_02 identifica la cobertura vegetal de la PAOT del año 2010, en él se puede observar que la cobertura relativa a la vegetación arbolada se concentra en su mayoría en la periferia sur de la ciudad; sur de Cuajimalpa de Morelos, Álvaro Obregón, La Magdalena Contreras, Tlalpan, Xochimilco, Milpa Alta, en el sur de la alcaldía Miguel Hidalgo, el oriente de Coyoacán, y el norte de la alcaldía Gustavo A. Madero.

Las áreas agrícolas se concentran en el sur oriente de la ciudad; en las alcaldías de Tlalpan, Xochimilco, Milpa Alta y Tláhuac. En estas mismas demarcaciones se localizan las coberturas de pastos y arbustos de la ciudad y en la zona sur de Iztapalapa, Cuajimalpa de

Morelos, Álvaro Obregón, La Magdalena Contreras y poca presencia en el noroeste de las alcaldías Gustavo A. Madero y Venustiano Carranza. Es importante reconocer que la PAOT distingue como vaso regulador una pequeña área al norte central de la alcaldía de Iztapalapa, marcada en el mapa como un pequeño recuadro en color azul claro.

Por su parte tal como se observa en el mapa USV_03, generado a partir de la información de CONABIO, 2010, existen varias zonas de suelo agrícola alrededor de áreas urbanas en las alcaldías de Coyoacán, Iztapalapa, Gustavo A. Madero, Miguel Hidalgo, y en las alcaldías al sur de la ciudad; Xochimilco, Tláhuac, Cuajimalpa de Morelos, Álvaro Obregón, Magdalena Contreras, Tlalpan, y Milpa Alta. En las últimas cinco existe gran superficie de bosques y matorrales, en especial del bosque caducifolio templado. La mayoría de la superficie de la ciudad, centro y norte, concentra asentamientos urbanos. Por lo que se puede observar en los mapas generados a partir de las distintas fuentes oficiales, se puede afirmar que la zona sur de la ciudad concentra un uso de suelo distinto a la zona centro y norte de la ciudad, en donde la cobertura vegetal representa una importante ocupación con respecto a los asentamientos urbanos, por lo que el fenómeno derivado de la presencia de las lluvias, los encharcamientos o inundaciones, se presentan y afectan de manera diferenciada a las alcaldías de la ciudad debido a su distinta ocupación territorial.



Fuente: Elaboración propia con información de PAOT, 2010

2.2 Principales aspectos sociodemográficos

Este apartado desarrolla la información de las principales características sociales y demográficas presentes en la Ciudad de México relacionadas con la generación de inundaciones pluviales a partir de los datos oficiales obtenidos del censo de población y vivienda 2010, la encuesta intercensal del año 2015, del Atlas de riesgos de la Ciudad de México y de CONAPO institución que realiza el estudio de marginación directamente a partir de los datos del INEGI.

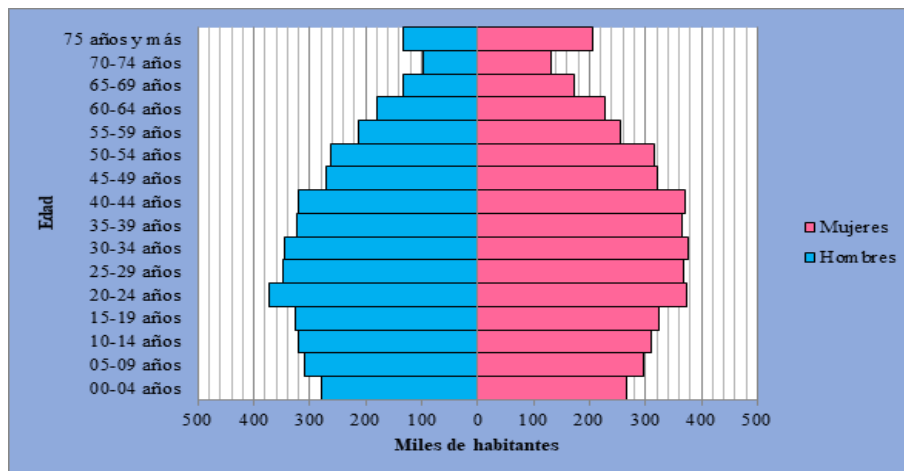
Esta pequeña caracterización otorga el panorama general de las condiciones prevalecientes en la población y las viviendas de las distintas alcaldías del territorio de la ciudad y será útil para considerar parte de su vulnerabilidad social ante el fenómeno en cuestión.

2.2.1 Distribución de la población

La Ciudad de México en el año 2015 contaba con una población de 8,918,653 habitantes donde 4,231,650 eran hombres y 4,687,003 mujeres. La población total de la ciudad representa el 7.5% respecto del total nacional que es de 119 millones 530 mil 753 habitantes, siendo la segunda entidad más poblada solo después del Estado de México (16, 187, 608) que representa el 13.5%. No obstante, de acuerdo con la encuesta Intercensal del año 2015 de INEGI, es la más densamente poblada con 5,967 habitantes por Km² en contraste con la densidad promedio nacional que es de 61 habitantes por Km², el Estado de México es la segunda con mayor densidad y tiene 724 habitantes por Km² mientras que Baja California Sur asume la menor densidad poblacional del país con 10 habitantes por Km², lo que denota la marcada diferencia de concentración demográfica vigente en la ciudad con respecto a otras entidades de la República.

La siguiente pirámide poblacional identifica por grupos quinquenales el comportamiento demográfico de la ciudad, la población femenina es similar a la masculina en casi todos los grupos de edad, distinguiéndose una ligera mayoría a partir de los grupos de población adulta joven, de 20 a 24 años en adelante. Según los datos de la encuesta intercensal INEGI, 2015 existe un 52.55% de población femenina en relación con el 47.45% de población masculina. La pirámide muestra un comportamiento demográfico progresivo lo que indica una estructura de población joven-adulta y con perspectivas de crecimiento, la mayoría de la población se encuentra en los estratos de 20 a 24 años y de 30-34 años.

Gráfica 9. Pirámide de población de la Ciudad de México 2015

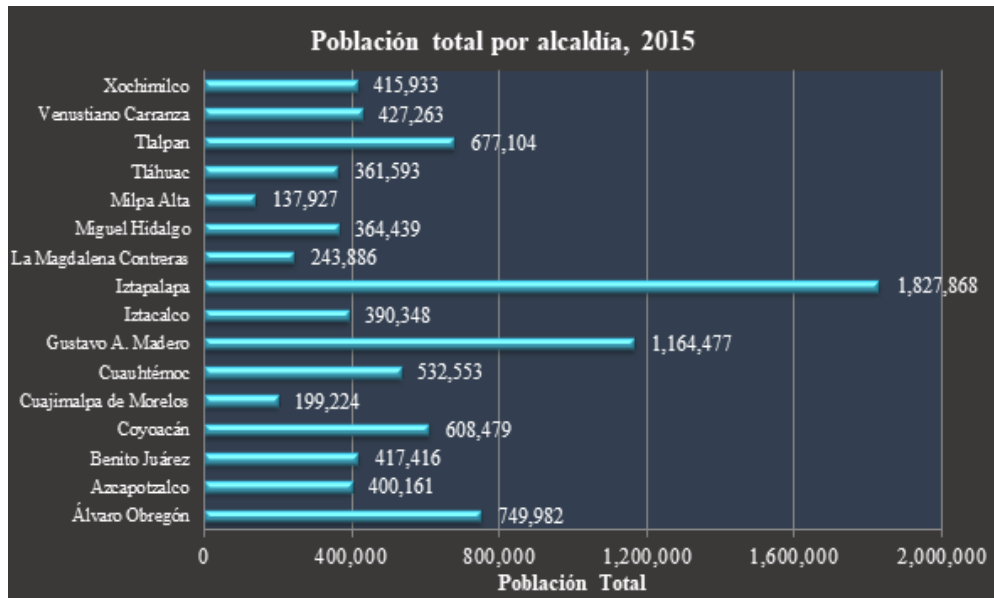


Fuente: Elaboración propia con información de la encuesta intercensal INEGI, 2015

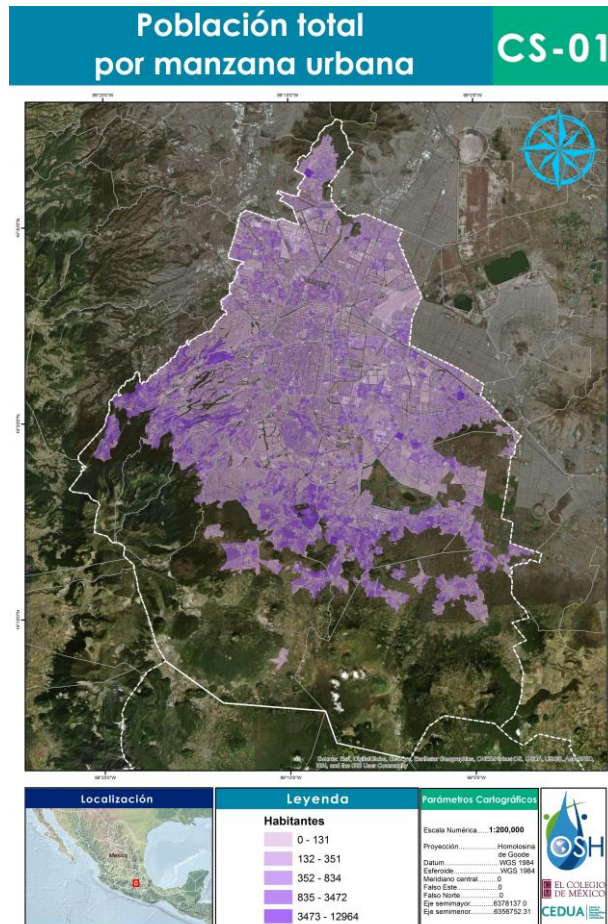
La población se encuentra distribuida en las 16 alcaldías que la conforman, donde Iztapalapa concentra el 20.5% de la población total de la ciudad con 1,827,868 habitantes, Gustavo A. Madero representa el 13.1% con 1,164,477 personas y Álvaro Obregón asume el 8.4% con una población de 749,982. Por su parte la alcaldía con menor población es Milpa Alta con 137,927 personas lo que equivale al 1.5% de la población total de la ciudad. Es posible apreciar en la gráfica *población total por alcaldía, 2015* y en el cuadro *Distribución de la población de la Ciudad de México por alcaldía, 2015* dicha distribución demográfica a nivel alcaldía.

Para observar un mayor detalle de la distribución de la población dentro de las alcaldías se elaboró el mapa CS-01 a nivel manzana, con la información disponible a esta escala, obtenida del Censo de población y vivienda del año 2010 de INEGI. La población de la Ciudad de México se distribuye de manera diferenciada en el territorio, para el 2010 las manzanas con mayor concentración demográfica se localizaban en la periferia de la ciudad en el oriente de la alcaldía de Iztapalapa, Iztacalco, nororiente de Tlalpan, occidente de la Magdalena Contreras, Cuajimalpa, Xochimilco, norte de Cuauhtémoc, Miguel Hidalgo y Atzacotzalco. Las manzanas con menor cantidad de población se ubican en el centro de la ciudad en la alcaldía Benito Juárez y Venustiano Carranza.

Gráfica 10. Población por manzana



Fuente: Elaboración propia con información de la encuesta intercensal INEGI, 2015



Fuente: Elaboración propia con información del INEGI, 2010

2.2.3 Crecimiento de la mancha Urbana

La expansión urbana es el "desarrollo urbano disperso y de baja densidad que resulta de la ausencia de un proceso de planeación sistemático o de una planeación de uso del suelo a escala regional" (Bruegmann, 2005 citado por Pulido *et al.* 2017 p.40). La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) es la más grande en territorio y población del país, junto con Monterrey y Guadalajara, pues en 1990 absorbieron más del 50% de la industria y del 40% de la población urbana del país (Garza, 1995, p.9).

La expansión de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México dio comienzo en la década de 1950 por medio de rasgos de integración física y funcional de unidades político-administrativas contiguas. La urbe ha crecido en más del 500% desde 1950 y su crecimiento horizontal demanda cada vez mayor consumo de suelo. La metropolización de una ciudad tiene lugar cuando, en sus procesos de expansión y con fines de desarrollo urbano, utiliza suelo que pertenece a uno o más municipios en los cuales no se ubica la ciudad central (Sobrino, 2003, p. 461).

El área donde se presenta el mayor crecimiento corresponde al Estado de México, ya que en la Ciudad de México el crecimiento territorial registrado entre 1990 a 2000 fue del 3% y en el Estado de México fue cercano al 30%, por lo que actualmente la mayor parte de la concentración poblacional y de área urbana se encuentra dentro de este estado (López Vázquez y Plata Rocha, 2009, p.87).

En el año 2000 la Ciudad de México concentró 18.6% de la población del país y su ritmo de crecimiento fue inferior que el total nacional; además, desde 1980 fue perdiendo de manera paulatina participación en su contribución económica, aunque en 1998 aún representó 32.5% del producto interno bruto nacional (Sobrino, 2003, p. 490). Es importante mencionar que el crecimiento del área urbana no se ha dado de manera continua, es decir, no sigue necesariamente la línea marcada por las zonas previamente urbanizadas. Si bien una parte importante de la mancha sigue esta tendencia, también se presenta una urbanización a saltos, en la que destaca la de los pueblos conurbados y las zonas rurales. Dicho proceso de expansión urbana en la periferia se ve determinado por dos factores principales: 1) la misma población desplazada de las zonas centrales que ha alimentado en forma creciente el poblamiento periférico, y 2) la crisis económica que ha generado la formación de

asentamientos populares en terrenos inadecuados para la urbanización (Rodríguez, 2002, p.41).

En general, la mancha urbana de la Ciudad de México sigue en constante crecimiento y fue responsable de más del 16% de los cambios sufridos en la zona durante la década de los noventa. Esta presión estuvo dirigida principalmente hacia las zonas de agricultura de riego y hacia la de temporal, donde se localizan las mayores pérdidas por superficie (López Vázquez y Plata Rocha, 2009, p.99).

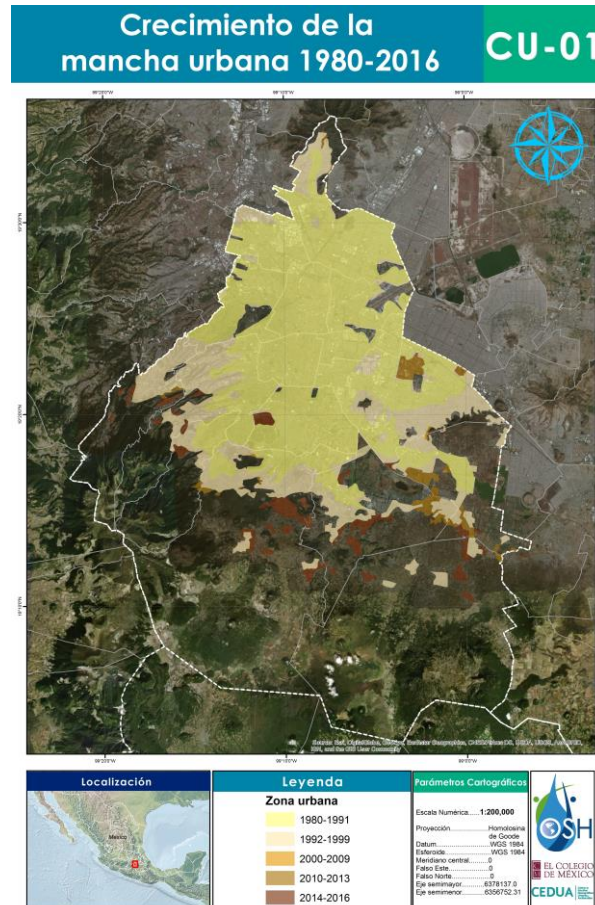
En cuanto al crecimiento poblacional, éste se multiplicó entre 1980 y 2010 en 1.42 veces, mientras que la superficie ocupada por la misma se multiplicó 3.57 veces en el mismo (Pulido et al. 2017 p.38). Sin embargo, a pesar de que las tasas de crecimiento poblacional disminuyeron considerablemente en las últimas décadas (0.3% en el periodo 1990-2000, por ejemplo), las delegaciones que cuentan con porcentajes importantes de suelo de conservación registran tasas de crecimiento más altas (Schteingart y Salazar, 2003, p.438).

Asimismo, y en materia de seguridad hídrica, hay que considerar que muchas veces el crecimiento urbano implica el uso intensivo y la contaminación de los recursos hídricos en las zonas urbanas y su periferia, seguido por el desarrollo de importaciones de agua desde largas distancias, lo cual requiere del desarrollo e implementación de políticas que se ajusten a cada caso para su posible solución (Escolero et al. p.410).

En el caso particular de la Ciudad de México, se tiene como antecedente y como claro ejemplo la publicación de una declaratoria de usos y destinos para el área de conservación ecológica (publicada en noviembre de 1982), en la que se advertía la disminución de las áreas de recarga de acuíferos como resultado de la expansión urbana en la zona. A partir de ello se puede afirmar que, en lo referente a la relación entre expansión urbana y ambiente, la creación de un Área Natural Protegida ha permitido y promueve un mejor control de la expansión urbana (Schteingart y Salazar, 2003, p.459).

La cartografía CU-01 elaborada con la cartografía de INEGI Uso de Suelo y Vegetación Serie I a la Serie VI identifica el crecimiento de la mancha urbana de la Ciudad de México de 1978 a 2017. La zona urbana se ha expandido al sur y al norte, la mayor ampliación territorial dentro de la Ciudad se realizó en la década de los años 90 identificado en color carne, el color café identifica las zonas amplificadas en el 2010 al 2017, las tonalidades más oscuras

identifican el crecimiento más reciente, que se presentó al sur de la ciudad en las alcaldías de Cuajimalpa, Coyoacán, Álvaro Obregón, Magdalena Contreras, Iztapalapa, Tláhuac, Tlalpan, Xochimilco y Milpa Alta, las tres últimas con mayor intensidad espacial.



Fuente: Elaboración propia con información del INEGI, 1978-2017

2.2.4 Marginación Urbana

La marginación se define “como un problema estructural de la sociedad, en donde no están presentes ciertas oportunidades para el desarrollo, ni las capacidades para adquirirlas. Si tales oportunidades no se manifiestan directamente, las familias y comunidades que viven en esta situación se encuentran expuestas a ciertos riesgos y vulnerabilidades que les impiden alcanzar determinadas condiciones de vida” (CONAPO, 2010). En este sentido la marginación de una población⁵ con respecto a otra muestra su grado de vulnerabilidad.

⁵ El índice de marginación urbana del Consejo Nacional de Población (CONAPO) toma en cuenta cuatro dimensiones socioeconómicas: acceso a la educación y salud, el disfrute de un hábitat adecuado en la vivienda y la disponibilidad de bienes de primera necesidad, con los cuales a través de 10 indicadores observa las

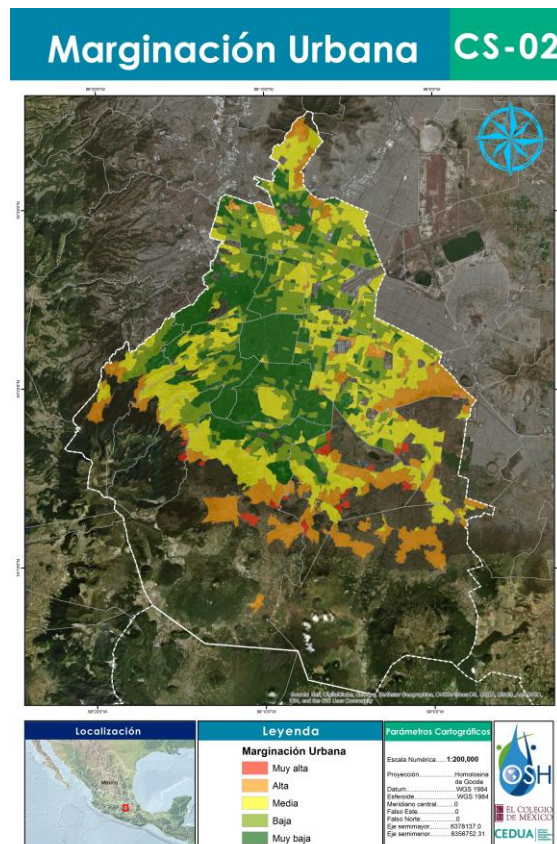
El mapa de marginación muestra la distribución espacial de dicho índice en toda la Ciudad de México tomando en cuenta la información proporcionada por CONAPO a nivel AGEB urbano. El índice de marginación dentro del territorio es en su mayoría bajo, medio y muy bajo, no obstante, la periferia de la ciudad presenta grados altos y muy altos de marginación urbana, marcados con tonalidades anaranjadas y rojas. Las zonas con mayor grado de marginación urbana se localizan al sur de Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco, Magdalena Contreras y Tlalpan, como se observa en el mapa CS-02. La siguiente tabla identifica por alcaldía el número de habitantes según su grado de marginación urbana estimados por CONAPO en el año 2010, donde se observa que la mayor población de la Ciudad de México se encontraba en grado medio de marginación urbana con 3,534,827 habitantes en dicha condición.

Tabla 4. Población por alcaldía según grado de marginación urbana, 2010

Entidad federativa	Población	Grado de marginación urbana				
		Muy alto	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo
Ciudad de México	8 757 457	39 054	901 703	3 534 827	2 217 462	2 064 411
Alcaldía						
Azcapotzalco	414 711	---	1 396	74 167	209 689	129 459
Coyoacán	620 416	---	4 041	211 406	97 083	307 886
Cuajimalpa de Morelos	183 528	---	38 900	66 141	56 839	21 648
Gustavo A. Madero	1 173 152	---	85 162	546 699	306 483	234 808
Iztacalco	384 029	---	---	157 131	165 100	61 798
Iztapalapa	1 791 672	5 489	364 227	881 564	397 913	142 479
La Magdalena Contreras	238 431	6 188	21 337	110 104	74 885	25 917
Milpa Alta	113 716	689	87 472	25 555	---	---
Álvaro Obregón	726 551	---	8 443	410 285	148 478	159 345
Tláhuac	356 085	2 562	40 285	256 965	43 948	12 325
Tlalpan	639 795	5 669	135 118	276 733	70 888	151 387
Xochimilco	398 692	18 457	107 905	187 501	49 789	35 040
Benito Juárez	385 439	---	---	613	11 247	373 579
Cuauhtémoc	528 212	---	5 291	102 880	264 174	155 867
Miguel Hidalgo	372 101	---	---	51 471	130 901	189 729
Venustiano Carranza	430 927	---	2 126	175 612	190 045	63 144

Fuente: Estimaciones del CONAPO con base en el INEGI, Censo de Población y Vivienda 2010.

intensidades de exclusión que posee determinada población y que en conjunto componen la intensidad de la marginación urbana dentro de cada área geostatística básica urbana (AGEB), su distinto grado de Marginación. (CONAPO, 2010: 269-275).



Fuente: Elaboración propia con información de CONAPO, 2010

2.3 Principales aspectos económicos

Los aspectos económicos otorgan un panorama general del poder adquisitivo diferenciado en la Ciudad de México por parte de los habitantes de dicha región.

3.1 Condición económica general de la Ciudad de México dentro de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM)

Las 16 alcaldías de la Ciudad de México y 60 municipios (59 del Estado de México y 1 de Hidalgo) integran la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) reconocida por el INEGI, CONAPO y la Secretaría de Desarrollo Social. Dicha región en el año 2015, según datos del INEGI, presenta una población total de 20,892,724 habitantes con una extensión alrededor de 7,866 km² que representa el 0.4% del total de superficie continental nacional (1 960 189 km²).

De acuerdo con los datos del Censo Económico de INEGI, 2014 la ZMVM concentra una producción bruta de 3,675,453.78 millones de pesos, mientras que la producción bruta del total nacional es de 13,984,313 millones de pesos, lo que significa que el 0.4% del territorio

nacional concentra el 26.28% de la producción bruta nacional. La importancia económica de la ZMVM a nivel nacional se destaca pues concentra el 19.33% de los giros económicos y el 23.56% de la población empleada del país, tal como se aprecia en la siguiente tabla:

Tabla 5. Giros económicos y población empleada

Entidad	Giros económicos		Población Empleada		Producción en millones de pesos (2014)	
	Total	% ZMVM	Total	% ZMVM	Total	% ZMVM
ZMVM	817973	19.33	5083414	23.56	3675453.78	26.28
Total nacional	4230745		21576358		13984313	

Fuente: Censo Económico de INEGI, 2014

La Ciudad de México se presenta como centro económico de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) ya que concentra el 80% de la producción total de todo el valle, tan solo dos alcaldías concentran (Cuauhtémoc 21.56% y Miguel Hidalgo 17.9%) cerca del 40% de la producción bruta total de la ZMVM. En contraste en conjunto los municipios del Estado de México integrantes de la ZMVM representan el 19.5% de dicha característica y el municipio del estado de Hidalgo aporta únicamente 0.4%.

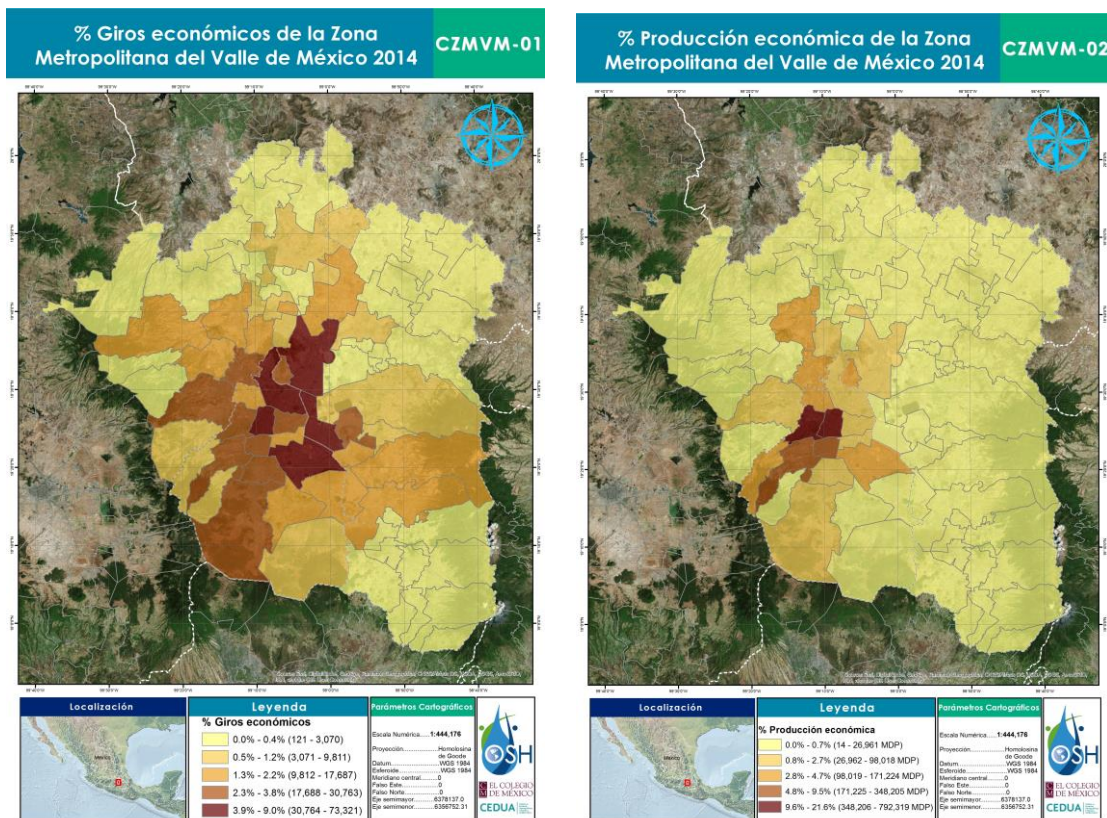
En cuanto a la población empleada de la ZMVM, el 28.6% se localiza en los municipios del Estado de México, 0.5% en el único municipio del estado de Hidalgo integrante de la ZMVM y el 70.9% labora en la Ciudad de México, lo que destaca el alto grado de competitividad económica que aporta a la región.

La población total (2015), el porcentaje de giros económicos, de población empleada y de producción en millones de pesos (2014) por cada uno de los municipios y alcaldías que integran la ZMVM se identifica en el Anexo II. B) Información estadística. Principales datos económicos de la ZMVM. En donde se destacan las alcaldías de Cuauhtémoc, Miguel Hidalgo y Álvaro Obregón como las demarcaciones de mayor producción económica.

La cartografía presente en esta sección, identifica las principales características económicas de la región se elaboró con la información del Censo Económico de INEGI, 2014, por su alta relevancia como principal fuente oficial en México.

Como se observa en el mapa CZMVM-01 “% Giros económicos de la Zona Metropolitana del Valle de México 2014”, las alcaldías y municipios ubicados al nororiente de la ciudad de México; Gustavo A. Madero, Cuauhtémoc, Iztapalapa, Ecatepec de Morelos, Nezahualcóyotl, identificados con café fuerte, concentran la mayor cantidad giros

económicos de toda la zona metropolitana con de 30,764 hasta 73,321 lo que representa del 3.9 al 9% del total de giros. Las alcaldías y municipios de la zona poniente y centro de la Ciudad de México y su periferia; Miguel Hidalgo, Benito Juárez, Coyoacán, Tlalpan, Álvaro obregón, Venustiano Carranza, Chimalhuacán, Tlalnepantla de Baz, Naucalpan de Juárez, marcados en café más claro, concentran alrededor de 2.3 a 3.8% del total de giros de la ZMVM con 17,688 a 30763 giros económicos. Toda la periferia norte y sur oriente de la ZMVM presenta los niveles más bajos de concentración de giros económicos con menos del 1.3%, es decir menos de 9,812 giros económicos, lo que representa un alto contraste en la presencia del desarrollo de actividades económicas entre los altos niveles que el centro de la ZMVM concentra, en donde la mayoría de las demarcaciones políticas con dichas características se localizan dentro de los límites administrativos de la Ciudad de México y sus alrededores.



Fuente: Elaboración propia con información del INEGI, 2014

En el mapa CZMVM-02 “% Producción económica de la Zona Metropolitana del Valle de México 2014”, se considera toda la producción económica que generaron en un año todos

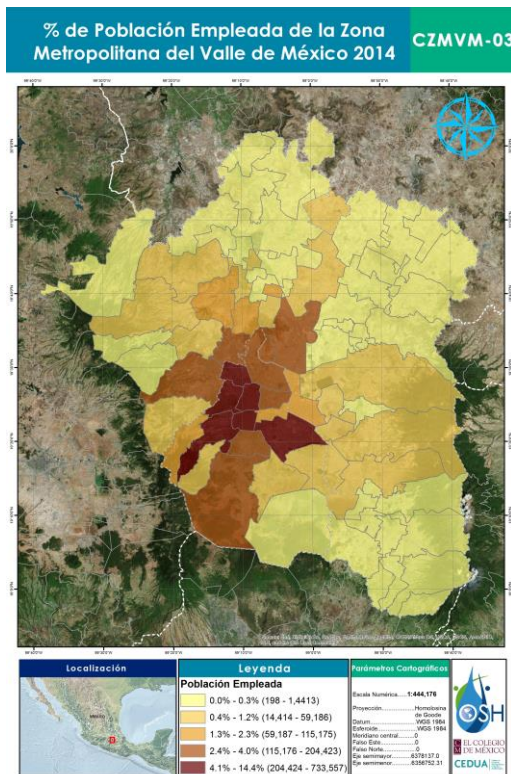
los giros económicos de las alcaldías y de los municipios de la ZMVM, es importante reconocer que la mayoría de la producción económica de toda la región se concentra tan solo en cuatro alcaldías: Cuauhtémoc con 792,318.95 millones de pesos (MDP) y Miguel Hidalgo con 657,791.999 MDP, Álvaro Obregón con 348204.793 MDP y Benito Juárez con 336,140.738 MDP asumen el 21.56%, 17.9%, 9.5% y 9.1% respectivamente, es decir más del 50% de la producción bruta total de la ZMVM. Lo que exhibe el alto grado de concentración del poder adquisitivo del centro poniente de la ciudad de México. En contraste, tal como se observa en dicho mapa, la gran mayoría de los municipios que integran la ZMVM, que rodean a la ciudad, junto con las alcaldías al sur oriente de la Ciudad y la Magdalena Contreras, no aportan, dentro de su demarcación, ni el 1% de la producción económica de la región.

Por su parte en el mapa CZMVM-03 “% de Población empleada de la Zona Metropolitana del Valle de México 2014” muestra que la mayor cantidad de personas laborando se concentran en el centro poniente de la Ciudad de México, en las alcaldías de Azcapotzalco, Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc, Benito Juárez, Álvaro Obregón, y en el oriente en Iztapalapa, con más del 4.1% de toda la población empleada de la ZMVM, un estrado de 204,424 a 733,557 habitantes.

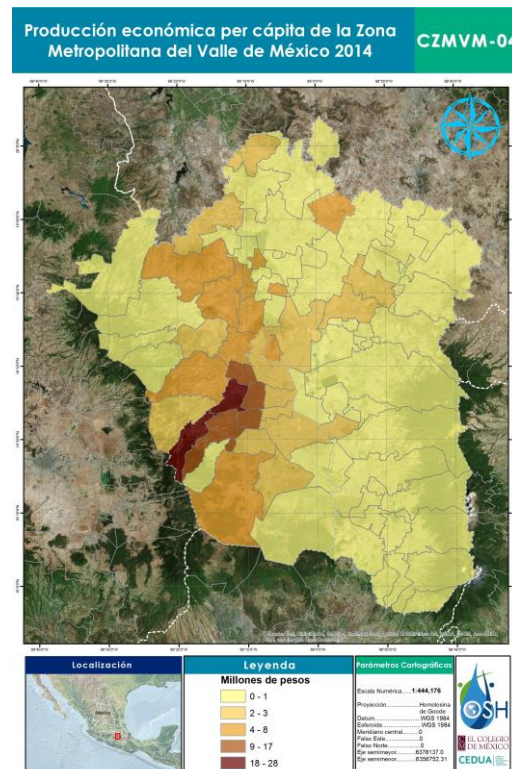
El mapa CZMVM-04 “Producción Per cápita de la Zona Metropolitana del Valle de México 2014” se elaboró tomando en cuenta el valor de producción bruta y la cantidad de población empleada en todos los giros de cada alcaldía y municipio que integra la ZMVM, por lo que el valor expresa la razón entre la producción y el número de empleados, es un estimado que identifica las zonas donde los empleados tienen mayor o menor poder adquisitivo, como el *PIB Pér cápita*, un indicador utilizado a nivel global que muestra, si fuese equitativa la repartición de producción económica o capital generado, que cantidad de capital le tocaría a cada persona. Es una generalización de los datos que ayuda a reflejar las desigualdades en la producción económica, empleabilidad y capacidad de poder adquisitivo de los integrantes de la región.

El poniente de la ZMVM asume las mejores condiciones de producción económica per cápita, de hecho 6 alcaldías de la Ciudad de México ubicadas al noroeste, son las que asumen el mayor poder adquisitivo; Miguel Hidalgo y Cuajimalpa de Morelos presentan un poder

adquisitivo promedio de 18 a 28 millones de pesos anuales, Álvaro Obregón, Benito Juárez, Cuauhtémoc y Azcapotzalco tienen una producción per cápita que asciende de 9 a 17 millones de pesos anuales. En contraste el oriente de la ciudad genera de 2 a 3 millones de pesos anuales, asumiendo menores niveles de producción per cápita que la alcaldía de Tlalpan y varios municipios de la ZMVM ubicados en su mayoría al noroeste de la ciudad, quienes en promedio cuentan con de 4 a 8 millones de pesos anuales para sus trabajadores. No obstante, la gran mayoría de municipios se ubican en el rango de 0 a 1 millón de pesos anuales por empleado, estrato en el que destaca la presencia de las alcaldías de Tláhuac, La Magdalena Contreras y Milpa Alta. Con los datos observados en las tablas y los mapas se puede inferir que la ciudad de México es aún un polo de atracción y concentración de la dinámica económica presente en la región, por su alta conglomeración tanto en la oferta de actividades o giros económicos, empleos y producción económica refiere, sin embargo, cabe destacar que la mayor producción económica se concentra en el norponiente de la ciudad.



Fuente: Elaboración propia con información del INEGI, 2014



Fuente: Elaboración propia con información del INEGI, 2014

2.3.1 Actividades de mayor producción económica de la Ciudad de México dentro de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM)

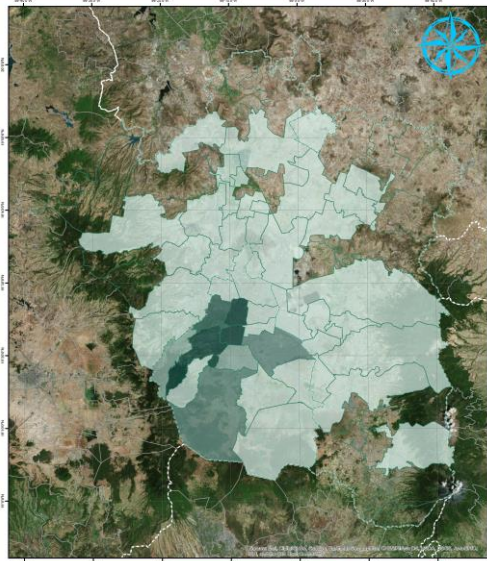
Las tres actividades que generan la mayor producción económica de la ciudad con respecto a la producción de la ZMVM son los Servicios financieros, la Industria Manufacturera y el Comercio, según los datos del Censo económico del INEGI, 2014.

En lo que respecta a la actividad de Servicios financieros la mayor producción se localiza en tres alcaldías; Cuauhtémoc, Benito Juárez y Álvaro Obregón con ingresos anuales que van de 91,162 hasta 178,599 millones de pesos. Miguel Hidalgo, Tlalpan e Iztapalapa asumen los siguientes niveles de productividad más importantes relativos a esta actividad con entre 46,313 a 91,161 millones de pesos anuales. Por su parte, como se observa en el mapa CZMVM-05 la mayoría de las alcaldías del oriente y de los municipios de la ZMVM generan de 3 a 2,822 millones de pesos anualmente por dicha actividad económica, sin embargo, existen municipios de la ZMVM que no tienen producción económica concerniente a este tipo de ocupación económica por lo que el mapa los presenta sin color dentro de las clasificaciones de producción.

La Industria manufacturera concentra la mayor producción económica anual en el norponiente de la ciudad, en la alcaldía de Azcapotzalco y los municipios Tlalnepantla de Baz y Cuautitlán Izcalli con 64,507 a 102,847 millones de pesos. En Miguel Hidalgo, Benito Juárez, Iztapalapa, Ecatepec de Morelos, Tultitlán, Tepotzotlán y Naucalpan de Juárez con 24,884 a 64,506 millones de pesos anualmente. Mientras que la mayoría de los municipios del oriente de la ZMVM y las alcaldías de Milpa Alta y La Magdalena Contreras producen de 3 a 4742 millones de pesos pertinentes a este tipo de industria, como se visualiza en el mapa CZMVM-06.

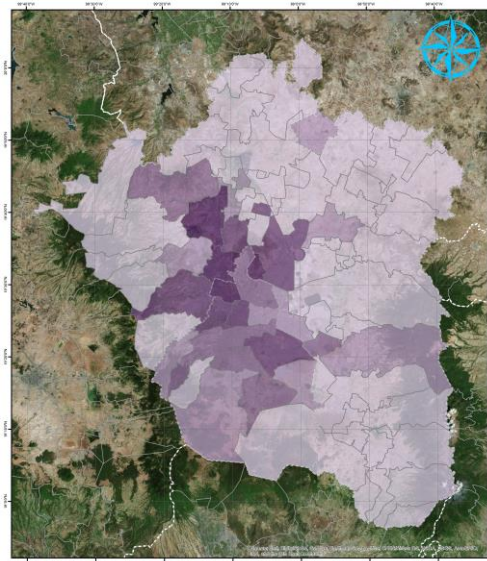
Por su parte la actividad económica concerniente al comercio se aprecia en el mapa CZMVM-07, donde los municipios y alcaldías que generan mayor producción económica se localizan con las tonalidades de verde más oscuro, en el norte y centro de la Ciudad de México en las alcaldías de Gustavo A. Madero, Cuauhtémoc, Benito Juárez, Miguel Hidalgo, Coyoacán e Iztapalapa, así como en la periferia norte de la ciudad; en Ecatepec de Morelos, Tlanepantla de Baz, Naucalpan de Juárez con una producción que asciende entre 8,624 y 22,339 millones de pesos por año.

Producción económica Servicios financieros Zona Metropolitana del Valle de México 2014 CZMVM-05



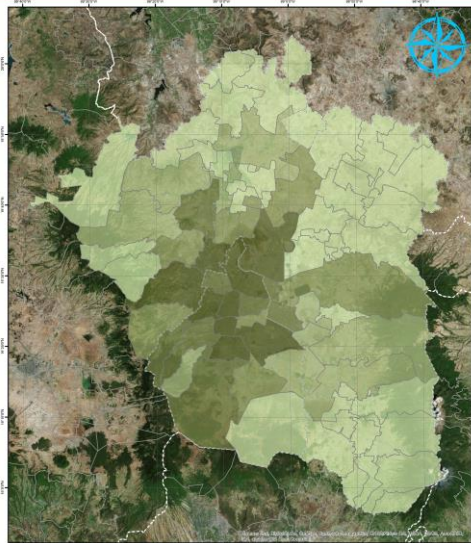
Localización	Leyenda	Parámetros Cartográficos
	<p>Millones de pesos</p> <ul style="list-style-type: none"> 3 - 2,822 2,823 - 17,577 17,578 - 46,312 46,313 - 91,161 91,162 - 178,599 	<p>Escala Numérica... 1:444,176</p> <p>Proyección... Hemisferio de Goual</p> <p>Datum... WGS 1984</p> <p>Estimulo... UTM 18Q</p> <p>Meridiano central... 0</p> <p>Falso Este... 0</p> <p>Falso Norte... 0</p> <p>Eje semimayor... 6398137.0</p> <p>Eje semenor... 6398752.31</p>

Producción económica Industria manufacturera Zona Metropolitana del Valle de México 2014 CZMVM-06



Localización	Leyenda	Parámetros Cartográficos
	<p>Millones de pesos</p> <ul style="list-style-type: none"> 3 - 4742 4,743 - 13,453 13,454 - 24,883 24,884 - 64,506 64,507 - 102,847 	<p>Escala Numérica... 1:444,176</p> <p>Proyección... Hemisferio de Goual</p> <p>Datum... WGS 1984</p> <p>Estimulo... UTM 18Q</p> <p>Meridiano central... 0</p> <p>Falso Este... 0</p> <p>Falso Norte... 0</p> <p>Eje semimayor... 6398137.0</p> <p>Eje semenor... 6398752.31</p>

Producción económica Comercio Zona Metropolitana del Valle de México 2014 CZMVM-07



Localización	Leyenda	Parámetros Cartográficos
	<p>Millones de pesos</p> <ul style="list-style-type: none"> 4 - 597 598 - 1,935 1,936 - 3,257 3,258 - 8,623 8,624 - 22,339 	<p>Escala Numérica... 1:444,176</p> <p>Proyección... Hemisferio de Goual</p> <p>Datum... WGS 1984</p> <p>Estimulo... UTM 18Q</p> <p>Meridiano central... 0</p> <p>Falso Este... 0</p> <p>Falso Norte... 0</p> <p>Eje semimayor... 6398137.0</p> <p>Eje semenor... 6398752.31</p>

Fuente: Elaboración propia con información del INEGI, 2014

2.3.2 Condición de actividad económica

La población económicamente activa (PEA) identifica aquella población en edad de trabajar y producir, sin embargo, no refleja la población que realmente se encuentra laborando, por tanto, esta condición de actividad económica es un estimado de la población que puede ser productiva económicamente⁶.

De acuerdo con los datos de la encuesta intercensal de INEGI, 2015 la PEA representa entre 52.7% (Milpa Alta) y 62% (Benito Juárez) de los habitantes de cada una de las alcaldías, donde más del 95% de la PEA se encuentra ocupada, cabe aclarar que esta cifra se remite a las respuestas de los habitantes, los cuales en ocasiones consideran un trabajo el empleo informal. Cuajimalpa de Morelos con 97.33% es la alcaldía con mayor porcentaje de PEA ocupada, Tláhuac con 95.09% es la demarcación que asume menor cantidad de este tipo de habitante. La población no económicamente activa representa el 37.92% de la población de la alcaldía Benito Juárez mientras que Milpa Alta tiene 47.21% de habitantes en dicha condición. La siguiente tabla identifica la condición de actividad económica por alcaldías del año 2015.

Tabla 6. Condición de actividad económica por alcaldía, 2015

Alcaldía	Población de 12 años y más	Condición de actividad económica ¹				
		Población económicamente activa ²			% Población no económicamente activa	% No especificado
		% Total	% Ocupada	% Desocupada		
Total Ciudad de México	7,507,406	56.01	95.91	4.09	43.66	0.33
Álvaro Obregón	630,150	57.51	96.98	3.02	41.86	0.63
Azcapotzalco	343,673	54.99	95.68	4.32	44.81	0.20
Benito Juárez	373,026	62.00	96.78	3.22	37.92	0.08
Coyoacán	528,168	55.07	96.47	3.53	43.88	1.06
Cuajimalpa de Morelos	163,588	57.19	97.33	2.67	42.46	0.34
Cuauhtémoc	463,610	60.83	95.61	4.39	38.95	0.22
Gustavo A. Madero	980,735	53.18	95.57	4.43	46.60	0.21
Iztacalco	332,707	55.13	95.52	4.48	44.68	0.19
Iztapalapa	1,502,797	54.93	95.24	4.76	44.88	0.19
La Magdalena Contreras	201,078	55.29	95.30	4.70	43.65	1.06

⁶ El INEGI considera como PEA a la población de 12 años y más de edad, la población no económicamente activa son aquellas personas de 12 años y más pensionadas o jubiladas, estudiantes, dedicadas a los quehaceres del hogar, que tienen alguna limitación física o mental permanente que les impide trabajar. El INEGI clasifica la PEA como ocupada y desocupada, la primera es aquella que manifestó tener un trabajo y la segunda no lo tiene y manifestó buscarlo.

Miguel Hidalgo	316,505	61.05	97.03	2.97	38.70	0.25
Milpa Alta	108,906	52.70	96.40	3.60	47.21	0.09
Tláhuac	296,585	52.97	95.09	4.91	46.78	0.25
Tlalpan	563,870	56.68	96.14	3.86	43.06	0.27
Venustiano Carranza	364,060	55.90	95.51	4.49	43.90	0.20
Xochimilco	337,948	54.30	96.05	3.95	45.46	0.24

¹ La distribución porcentual de la condición de actividad económica se calcula respecto de la población de 12 años y más. ² La distribución porcentual se calcula respecto al total de la población económicamente activa.

Fuente: Encuesta Intercensal INEGI, 2015

Para un mayor detalle de la concentración de la PEA se utilizó el Censo de Población y Vivienda 2010 del INEGI escala manzana urbana, para elaborar el mapa CE-01 en el cual se puede observar que dicha población se encuentra dispersa de manera diferenciada en la ciudad, su mayor disponibilidad de 927 a 4,968 habitantes se distingue en las zonas más oscuras, al noroeste de la alcaldía Miguel Hidalgo, norte de Cuauhtémoc, centro de Coyoacán, Iztapalapa, al sur de Tlalpan, Xochimilco y Álvaro Obregón, en contraste la menor cantidad de este tipo de población se encuentran al noreste de la ciudad.



Fuente: Elaboración propia con información del INEGI, 2010

2.3.3 División ocupacional

La división ocupacional de los habitantes de la ciudad refleja el sector económico donde se emplea la población, el INEGI en su encuesta intercensal 2015 clasifica la ocupación de la

población como: funcionarios, profesionistas, técnicos y administrativos, trabajadores agropecuarios, trabajadores en la industria, comerciantes y trabajadores en servicios diversos. La mayoría de las alcaldías de la ciudad asume mayor porcentaje de ocupación en la primera clasificación con más del 40% de su población ocupada en dicha categoría, excepto las alcaldías de: Iztapalapa con 34.8%, La Magdalena Contreras con 35.87%, Milpa Alta con 22.99%, Tláhuac 3.15% y Xochimilco con 35.35%, en cuyo caso su población asume sus mayores niveles de ocupación porcentual con más del 41% en la clasificación de: Comerciantes y trabajadores en servicios diversos. A continuación, es posible apreciar por alcaldía el porcentaje de población respectiva a cada división ocupacional.

Tabla 7. División ocupacional por alcaldía, 2015

Alcaldía	Población ocupada	División ocupacional ¹				
		% funcionarios, profesionistas, técnicos y administrativos ²	% Trabajadores agropecuarios	% Trabajadores en la industria ³	% Comerciantes y trabajadores en servicios diversos ⁴	% No especificado
Total Ciudad de México	4,033,273	43.91	0.39	14.63	39.44	1.62
Álvaro Obregón	351,409	42.30	0.14	16.55	39.34	1.66
Azacapozalco	180,813	48.17	0.02	14.19	35.99	1.63
Benito Juárez	223,843	69.81	0.01	5.02	24.04	1.12
Coyoacán	280,561	54.74	0.04	10.44	32.04	2.74
Cuajimalpa de Morelos	91,063	41.60	0.26	16.85	39.82	1.46
Cuauhtémoc	269,664	51.26	0.06	8.13	38.54	2.02
Gustavo A. Madero	498,501	40.56	0.10	16.79	41.49	1.06
Iztacalco	175,194	46.45	0.15	14.20	38.10	1.09
Iztapalapa	786,218	34.80	0.10	18.50	45.30	1.31
La Magdalena Contreras	105,951	35.87	0.23	17.55	43.50	2.86
Miguel Hidalgo	187,477	58.87	0.07	6.87	31.84	2.35
Milpa Alta	55,323	22.99	6.95	22.31	46.97	0.79
Tláhuac	149,382	33.15	1.30	19.69	44.95	0.91
Tlalpan	307,257	44.49	0.72	15.09	37.91	1.80
Venustiano Carranza	194,371	42.44	0.04	12.52	43.57	1.44
Xochimilco	176,246	35.35	2.66	17.43	41.93	2.63

¹ corresponde a las ocupaciones agrupadas del Sistema Nacional de Clasificación de Ocupaciones (SINCO, 2011).

² Comprende funcionarios, directores y jefes; profesionistas y técnicos; así como trabajadores auxiliares en actividades administrativas.

³ Comprende: trabajadores artesanales; así como operadores de maquinaria industrial, ensambladores, choferes y conductores de transporte.

⁴ Comprende: comerciantes, empleados en ventas y agentes de ventas; trabajadores en servicios personales y vigilancia; así como trabajadores en actividades elementales y de apoyo.

Fuente: Encuesta Intercensal INEGI, 2015

2.3.4 Sectores económicos

El sector económico que ocupa a la mayor cantidad de población en las alcaldías de la ciudad es el sector de *Servicios* con más del 49% del personal, es la alcaldía de Milpa Alta quien asume la menor concentración de población en dicho sector con 49.34%, en contraste Benito Juárez ostenta el 73.94% de su población ocupada en dicho sector. El sector primario es el de menor ocupación con menos del 1% en la mayoría de las alcaldías, únicamente Milpa Alta (8.68%), Tláhuac (1.49%) y Xochimilco (2.93%) asumen más de este porcentaje en su población ocupada lo que expresa la predominancia económica del entorno urbano. La siguiente tabla identifica los niveles de ocupación porcentual del sector primario, secundario, comercio y servicios presente en el año 2015 en las alcaldías de la ciudad.

Tabla 8. Sector de actividad económica por alcaldía, 2015

Alcaldía	Población ocupada	Sector de actividad económica				
		% Primario ¹	% Secundario ²	% Comercio	% Servicios ³	% No especificado
Total Ciudad de México	4,033,273	0.49	14.86	20.13	61.57	2.95
Álvaro Obregón	351,409	0.23	14.69	16.11	65.28	3.70
Azcapotzalco	180,813	0.05	17.40	20.99	58.96	2.60
Benito Juárez	223,843	0.08	9.60	14.00	73.94	2.38
Coyoacán	280,561	0.06	11.74	16.19	67.68	4.33
Cuajimalpa de Morelos	91,063	0.30	17.82	14.71	63.18	3.99
Cuauhtémoc	269,664	0.11	8.93	23.07	64.45	3.44
Gustavo A. Madero	498,501	0.13	17.35	22.30	58.24	1.99
Iztacalco	175,194	0.18	13.72	21.29	62.03	2.79
Iztapalapa	786,218	0.17	18.00	24.51	55.10	2.23
La Magdalena Contreras	105,951	0.27	14.09	16.03	65.29	4.31
Miguel Hidalgo	187,477	0.09	11.62	15.03	68.65	4.62
Milpa Alta	55,323	8.68	19.80	21.18	49.34	0.99
Tláhuac	149,382	1.49	18.76	22.11	55.83	1.81
Tlalpan	307,257	0.89	14.62	15.89	65.54	3.07
Venustiano Carranza	194,371	0.09	11.44	25.68	59.68	3.12
Xochimilco	176,246	2.93	15.18	20.03	58.07	3.80

¹ Comprende: agricultura, ganadería, silvicultura, pesca y caza.

² Comprende: minería, extracción de petróleo y gas, industria manufacturera, electricidad, agua y construcción.

³ Comprende: transporte, gobierno y otros servicios.

Fuente: Encuesta Intercensal INEGI, 2015

2.3.5 Ingresos

El ingreso económico por trabajo es desigual dentro de las alcaldías de la ciudad según los datos de la Encuesta Intercensal INEGI, 2015, las alcaldías con mayor porcentaje de población ocupada adquiriendo los mayores ingresos de más de dos salarios mínimos son Benito Juárez con 77.76%, Cuauhtémoc (68.16%) y Cuajimalpa de Morelos (66.65%), por su parte las alcaldías de Milpa Alta con 11.1%, Tláhuac (8.30%) y Azcapotzalco (8.05%) concentran la mayor cantidad de población ocupada con menores ingresos hasta 1 salario

mínimo. En la siguiente tabla es posible observar el ingreso por trabajo en el año 2015 por alcaldía.

Tabla 9. Ingreso por trabajo por alcaldía, 2015

Alcaldía	Población ocupada	Ingreso por trabajo ¹			
		% Hasta 1 s.m. ²	% Más de 1 a 2 s.m.	% Más de 2 s.m.	% No especificado
Total Ciudad de México	4,033,273	6.24	22.02	60.83	10.91
Álvaro Obregón	351,409	5.27	21.25	61.58	11.90
Azcapotzalco	180,813	8.05	17.92	53.68	20.34
Benito Juárez	223,843	3.96	8.71	77.76	9.57
Coyoacán	280,561	6.81	17.66	62.23	13.31
Cuajimalpa de Morelos	91,063	3.67	18.49	66.65	11.18
Cuauhtémoc	269,664	5.37	19.44	68.16	7.02
Gustavo A. Madero	498,501	6.52	24.51	59.93	9.04
Iztacalco	175,194	5.67	21.59	65.20	7.54
Iztapalapa	786,218	7.33	26.71	55.59	10.36
La Magdalena Contreras	105,951	5.41	23.10	65.81	5.68
Miguel Hidalgo	187,477	3.13	12.29	63.07	21.51
Milpa Alta	55,323	11.10	33.74	49.73	5.42
Tláhuac	149,382	8.30	31.62	55.32	4.76
Tlalpan	307,257	6.55	21.46	60.21	11.78
Venustiano Carranza	194,371	4.80	24.22	64.51	6.47
Xochimilco	176,246	7.54	26.23	50.07	16.16

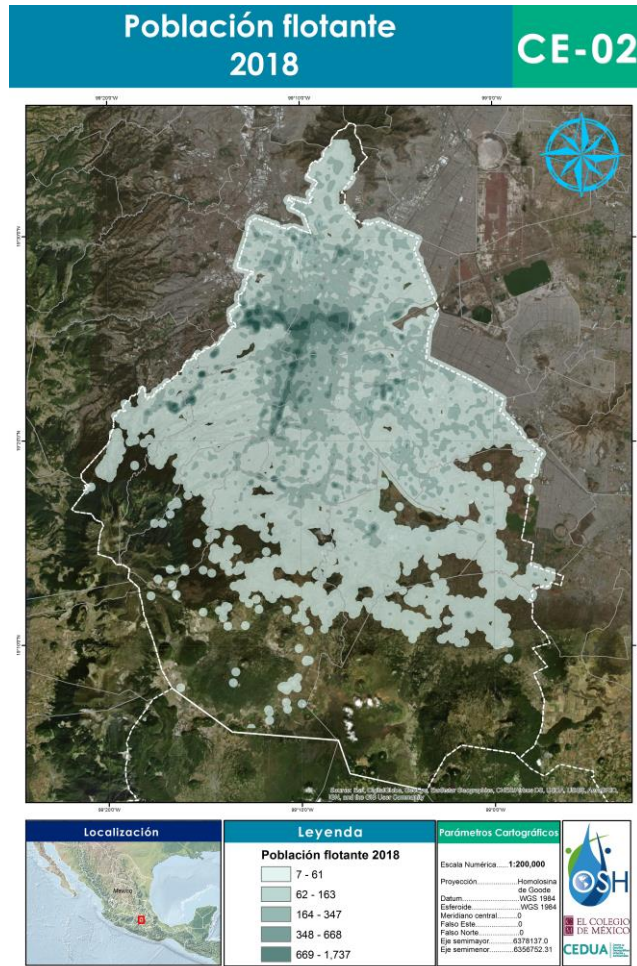
¹ Se expresa en salario mínimo mensual (s.m.). ² Incluye a la población ocupada que no recibe ingresos.

Fuente: Encuesta Intercensal INEGI, 2015

2.3.6 Población Flotante

La población flotante es el contingente demográfico compuesto por aquellas personas que no habitan oficialmente una determinada demarcación política, sino que residen de forma temporal o laboran en dicho ámbito geográfico, en la Ciudad de México es común observar este tipo de población, pues debido a su dinámica económica al ser parte de la Zona Metropolitana como la urbe más importante del país, el flujo de personas que trabajan, consumen y producen dentro de su demarcación política es constante. Para identificarlas se utiliza la información de personal ocupado del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) 2018 del INEGI.

El mapa CE-02 identifica la concentración de dicha población, la cual como se visualiza en la cartografía se concentra principalmente en el centro y occidente de la ciudad, en las alcaldías de Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc, Benito Juárez.



Fuente: Elaboración propia con información del INEGI, 2018

3. ANÁLISIS DE RECURRENCIA, CAUSALIDAD E INTENSIDAD DE LOS ENCHARCAMIENTOS DE LA CIUDAD DE MÉXICO 2010-2018

Este análisis se generó con la información otorgada en el 2018 por la Jefatura de Centro de Información del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX), conforme al artículo 212 de la Ley de Transparencia, Acceso a la Información Pública y Rendición de Cuentas de la Ciudad de México, en respuesta a la solicitud de información pública: 0324000116618, mediante la Unidad de Transparencia de dicha institución y con la información otorgada en el año 2019 conforme a los artículos 2, 199 y 212 de la misma Ley a la solicitud de folio: 0324000036019 de la Unidad Departamental de seguimiento y la Unidad de Transparencia del SACMEX.

El análisis de causalidad e intensidad del fenómeno se elaboró para el periodo 2010 a 2018, con la información otorgada por SACMEX. El tratamiento de dicha información sigue la metodología de geocodificación descrita en el Anexo metodológico. Aspectos metodológicos. A) Metodología para geocodificación de registros de puntos de encharcamiento de la Ciudad de México del año 2010 al año 2018 cabe aclarar que con el motor de ubicaciones de Google Maps se pudieron georreferenciar el 80% del total de registros de la base datos, siendo el otro 20% restante conflictivo por abreviaciones, uso de modismos, faltas de ortografía o por un mal llenado de la dirección del registro. Para la identificación precisa del Riesgo por Inundaciones en la Ciudad de México es indispensable considerar que existe un elemento casuístico en el desempeño del drenaje o condiciones de la ciudad que afectan su infraestructura y capacidad de drenaje superficial (acumulación de basura o material orgánico suelto, presión en drenaje por actividades humanas, etc.) y que finalmente es un elemento que influye en el desarrollo de encharcamientos o inundaciones pluviales.

Tomando en cuenta lo anterior, resulta imperativo analizar los registros históricos asociados a inundaciones pluviales para identificar, en lo posible, recurrencia y causalidad de las inundaciones pluviales y así definir un mapa que considere aquellos elementos que no son

predecibles en términos estadísticos, pero sí son previsibles considerando su recurrencia y reincidencia.

Para dicho fin, en esta investigación se empleó la base de datos elaborada por la Unidad Departamental de Centro de Información adscrita a la Dirección de Fortalecimiento Institucional del Sistema de Aguas de la Ciudad de México, con registros desde 2010 y hasta 2018. Dichos registros contienen la información necesaria para analizar no sólo la incidencia de los encharcamientos sino también su intensidad y causas reportadas por personal operativo de la dependencia.

La base de datos, para su análisis e integración espacial fue georreferenciada a través de un proceso de geocodificación, método que determino ubicaciones cartográficas (coordenadas) a partir de una previa definición de la toponimia del territorio (calles, direcciones, puntos de referencia). Dicha georreferenciación debe ser lo más detallada posible para evitar duplicidad de ubicaciones o errores topológicos de ubicación importantes. Para mayor información sobre la metodología véase el Anexo III. Aspectos metodológicos. A) Metodología para geocodificación de registros de puntos de encharcamiento de la Ciudad de México del año 2010 al año 2018.

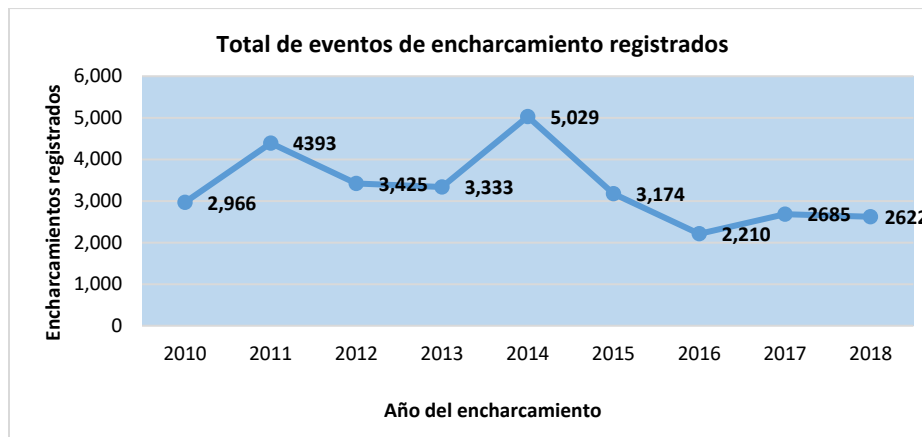
3.1 Recurrencia de los encharcamientos de la Ciudad de México 2010-2018

De acuerdo con el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX) se tiene un registro de 29,837 eventos de encharcamientos en total para el periodo 2010-2018, en donde 2014 es el año con mayor cantidad de eventos registrados con 5,029 seguido de 2011 con aproximadamente 4,393 eventos, tal como se muestra en la siguiente tabla y gráfica del total de eventos.

Tabla 10. Encharcamientos registrados por SACMEX

Año	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	TOTAL
Encharcamientos registrados	2,966	4393	3,425	3,333	5,029	3,174	2,210	2685	2622	29,837

Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX, 2018



Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX, 2018

Sin la influencia de 2014, la tendencia de incidencia del fenómeno es a la baja, sin embargo, es muy importante reconocer que la estadística generaliza todo el territorio de la ciudad, así como las causas de los encharcamientos en la Ciudad, ambos elementos que son importantes para caracterizar de manera adecuada el fenómeno.

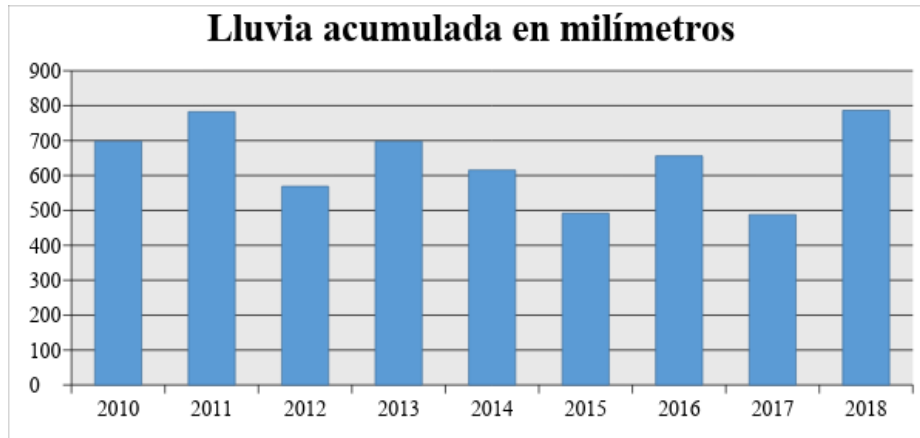
También es importante considerar que 2014, de acuerdo con registros pluviométricos de la CONAGUA fue un año con una lluvia regular, siendo el cuarto año menos lluvioso en el periodo de los datos, por lo que no es atribuible la cantidad de incidencias a la entrada de precipitación en el Valle de México. Es importante analizar los datos meteorológicos de 2014 para identificar si existe un elemento en la distribución e intensidad de la lluvia en dicho año que sea relevante. Resulta importante determinar ¿Por qué se registra el mayor número de eventos en este año? Cuestión que se abordará a través de entrevistas con funcionarios públicos.

3.1.1 Lluvia como factor detonante

En los registros de eventos es evidente que 2014 fue un año atípico, no solo en términos de ser un año anti-tendencial sino porque la cantidad de registros de eventos de encharcamientos excede por 1000 registros el siguiente año con mayor cantidad de eventos, por esta razón se propone tratar de identificar si es que existe una relación causal directa con la precipitación registrada en la ciudad.

De acuerdo con la información registrada por el Servicio Meteorológico Nacional, el comportamiento de la lluvia en el periodo 2010-2018 fue como se presenta a continuación:

Tabla 11. Lluvia acumulada



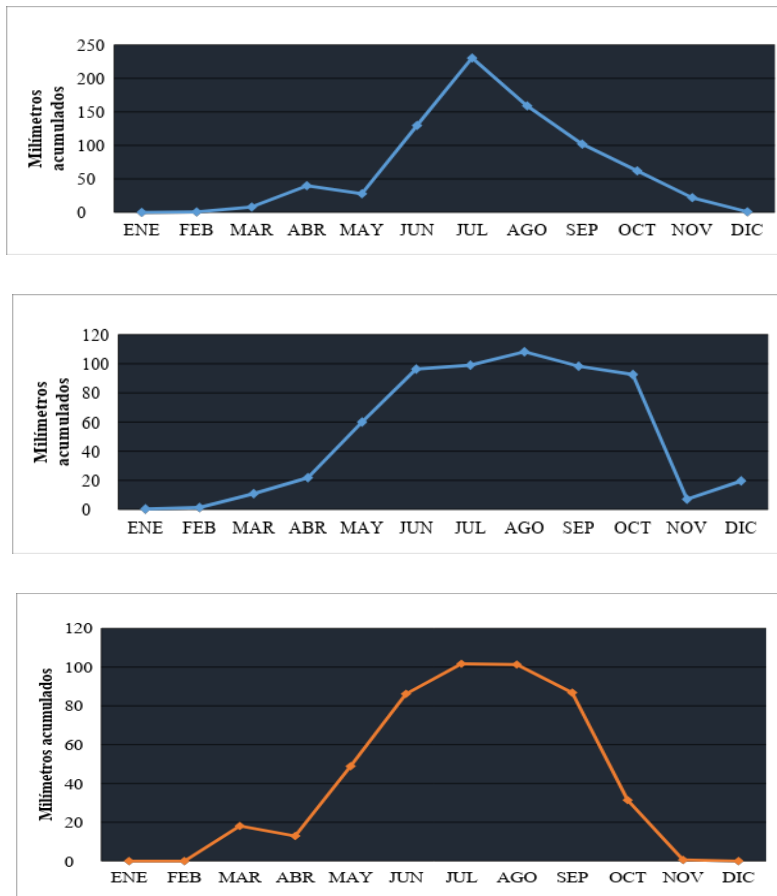
Fuente: Elaboración propia con información del Servicio Meteorológico Nacional, 2018

En términos generales, 2014 fue el año con mayores registros de encharcamientos no fue un año con lluvias fuera de lo normal, de hecho, fue un año con un déficit con respecto al año anterior, por el contrario 2011, el siguiente año con más registros de encharcamientos efectivamente fue un año que podría considerarse atípico, solamente siendo superado por 2018, donde la Ciudad de México recibió casi 800 milímetros de lluvia acumulada.

La distribución de lluvia por mes en 2014 identifica un año con una distribución de lluvia normal, con una temporada húmeda que no muestra importantes diferencias en lluvia acumulada como por ejemplo si se observa en 2011, donde la curva de distribución claramente muestra un pico, que bien puede asociarse a lluvias torrenciales de corta duración; eventos que propician inundaciones por la cantidad de agua que recibe el drenaje en un corto periodo de tiempo.

Como se puede apreciar la distribución normal de precipitación se aprecia en el año 2017, por su parte el año 2018 altos grados de precipitación en relación con el año anterior, sobre todo en el mes de agosto donde registra 200 milímetros de lluvia.

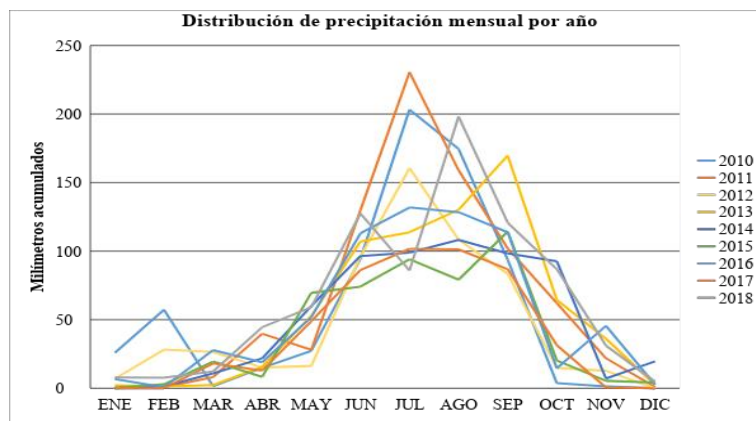
Gráfica 10. de Distribución de Lluvia



Fuente: Elaboración propia con información del Servicio Meteorológico Nacional, 2018

La distribución de la lluvia identifica julio y agosto como los meses con más lluvia en la Ciudad, el año 2011, 2010 y 2018 presentan los valores de mayor intensidad de precipitación.

Gráfica 11 Distribución de precipitación mensual por año



Fuente: Elaboración propia con información del Servicio Meteorológico Nacional, 2018

Es necesario analizar la información disponible sobre causas a mayor detalle para identificar la cantidad de registros existentes en 2014 y poder entonces completar un diagnóstico que identifique aquellas condicionantes del territorio que aumentan la exposición y vulnerabilidad al fenómeno.

3.2 Distribución espacial del fenómeno en la Ciudad de México

Para la correcta expresión espacial es necesario identificar los principales aspectos de referencia que se tomaran a este nivel de análisis, escala Ciudad de México. El mapa base B-01 es el que se utilizará en el análisis pertinente a nivel Ciudad de México.



Fuente: Elaboración propia con información de INEGI, 2018

Para observar la distribución espacial de la información histórica sobre inundaciones pluviales y precisar recurrencia e intensidad del fenómeno en la Ciudad de México se

georreferenciaron las bases de datos provistas por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX) para 9 años (2010 a 2018) a través de la metodología de geocodificación descrita en el Anexo III. Aspectos metodológicos. A) Metodología para geocodificación de registros de puntos de encharcamiento de la Ciudad de México del año 2010 al año 2018 y se realizaron mapas de calor (Hot spots y densidad de Kernel) en un Sistema de Información Geográfica (SIG) a través de la metodología de densidad de kernel (Ver Anexo III. Aspectos metodológicos. B) Metodología de densidad de Kernel).

El resultado es una cobertura de *Densidad* que indica la concentración de puntos donde es más frecuente la presencia de eventos de encharcamiento.

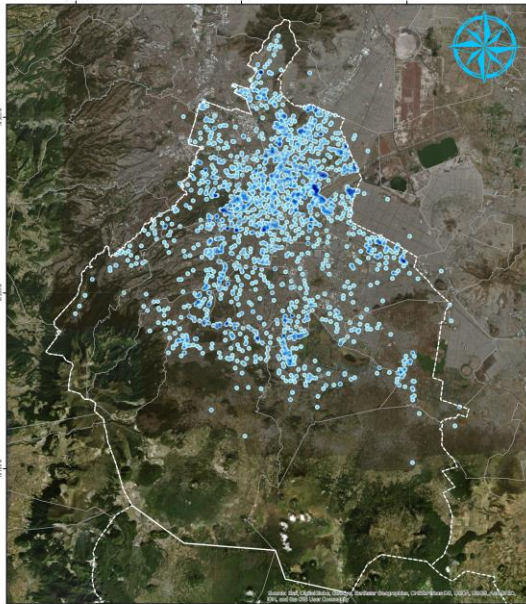
Como resultado de dicho proceso se elaboraron los siguientes mapas de densidad de eventos de encharcamiento para cada año de la información disponible, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018, en ellos se puede observar la distribución de los encharcamientos en la ciudad y como se ha modificado su comportamiento en el periodo de estudio.

En la cartografía las tonalidades con azul más claro reflejan menor frecuencia de eventos y las tonalidades más oscuras identifican aquellas áreas donde se concentran la mayor cantidad de eventos de encharcamiento, como se puede apreciar la distribución y concentración de los encharcamientos ha variado en los distintos años de estudio, no obstante las mayores densidades de los eventos de encharcamiento, las zonas con azul más oscuro, identificadas en el mapa como de densidad alta y muy alta, se presentan en su mayoría en el centro y el oriente de la Ciudad de México.

Regiones al sur de la ciudad, específicamente el noroeste de Tlalpan y Xochimilco han intensificado su densidad de eventos de encharcamiento, identificándose con muy alta densidad en los últimos años 2017 y 2018 situación que se identificaba con menores niveles de densidad en el mapa del año 2010.

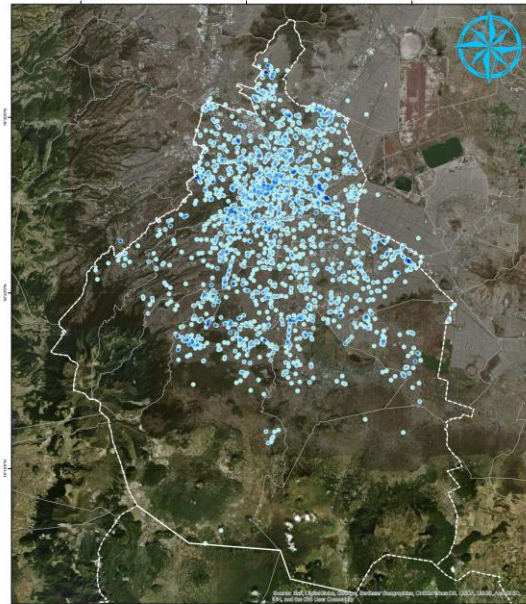
En la cartografía se distingue claramente el año 2014 como el periodo con mayor cantidad de eventos acumulados en mayor medida en el centro y el oriente de la Ciudad de México.

Densidad de eventos de encharcamiento 2010 DE-01



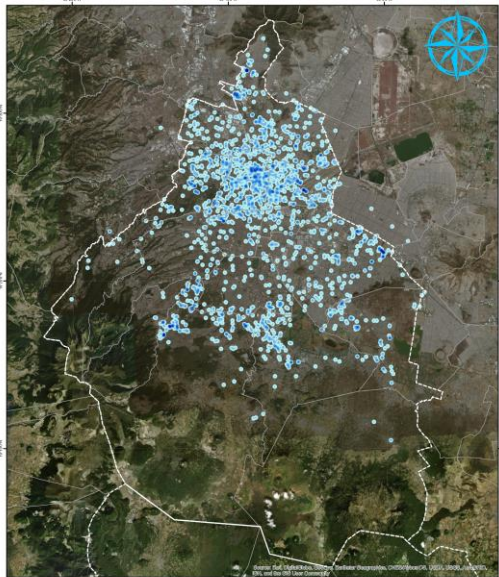
Localización	Leyenda	Parámetros Cartográficos
	Densidad de Eventos de encharcamiento Muy baja Baja Media Alta Muy alta	Escala Numérica: 1:200,000 Proyección: Homocilindrica de Coanda Datum: WGS 1984 Meridiano central: WGS 1984 Falso Este: 0 Falso Norte: 0 Esp. semimayor: 6378137.31 Esp. semenor: 6356732.31

Densidad de eventos de encharcamiento 2011 DE-02



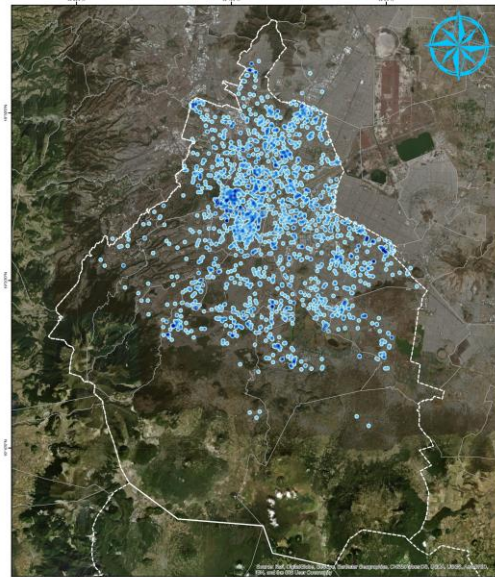
Localización	Leyenda	Parámetros Cartográficos
	Densidad de Eventos de encharcamiento Muy baja Baja Media Alta Muy alta	Escala Numérica: 1:200,000 Proyección: Homocilindrica de Coanda Datum: WGS 1984 Meridiano central: WGS 1984 Falso Este: 0 Falso Norte: 0 Esp. semimayor: 6378137.31 Esp. semenor: 6356732.31

Densidad de eventos de encharcamiento 2012 DE-03



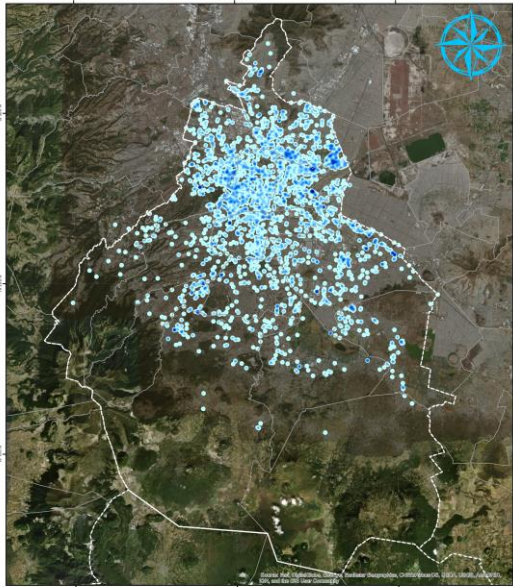
Localización	Leyenda	Parámetros Cartográficos
	Densidad de Eventos de encharcamiento Muy baja Baja Media Alta Muy alta	Escala Numérica: 1:200,000 Proyección: Homocilindrica de Coanda Datum: WGS 1984 Meridiano central: WGS 1984 Falso Este: 0 Falso Norte: 0 Esp. semimayor: 6378137.31 Esp. semenor: 6356732.31

Densidad de eventos de encharcamiento 2013 DE-04



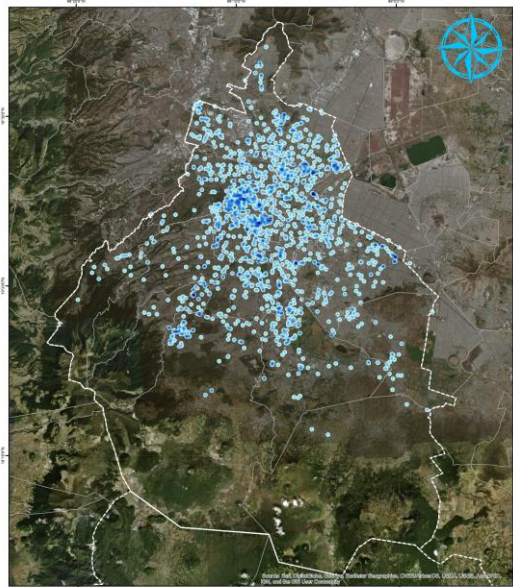
Localización	Leyenda	Parámetros Cartográficos
	Densidad de Eventos de encharcamiento Muy baja Baja Media Alta Muy alta	Escala Numérica: 1:200,000 Proyección: Homocilindrica de Coanda Datum: WGS 1984 Meridiano central: WGS 1984 Falso Este: 0 Falso Norte: 0 Esp. semimayor: 6378137.31 Esp. semenor: 6356732.31

Densidad de eventos de encharcamiento 2014 DE-05



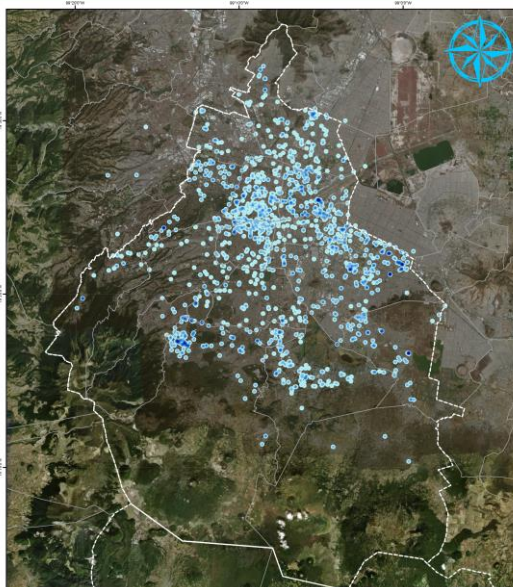
Localización	Leyenda	Parámetros Cartográficos
	Densidad de Eventos de encharcamiento Muy baja Baja Media Alta Muy alta	Escala Numérica: 1:200,000 Proyección: Hemisferio de Gauss Datum: WGS 1984 Esfera: WGS 1984 Meridiano central: 0 Falso Norte: 0 Falso Este: 0 Falso Sur: 0 Falso Oeste: 0 Falso Sembrado: 0378137.0 Falso Sembrado: 0386752.31

Densidad de eventos de encharcamiento 2015 DE-06



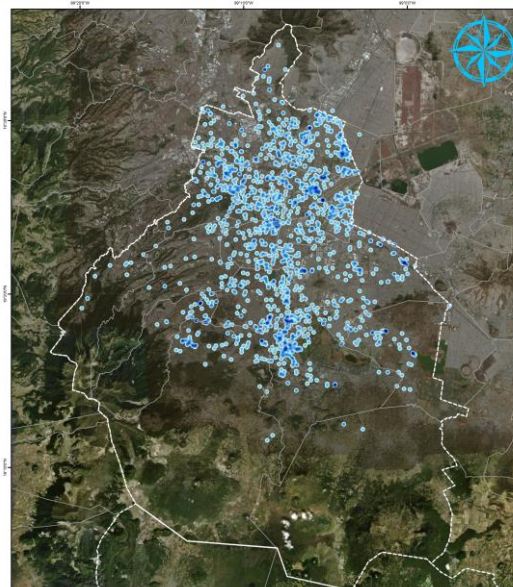
Localización	Leyenda	Parámetros Cartográficos
	Densidad de Eventos de encharcamiento Muy baja Baja Media Alta Muy alta	Escala Numérica: 1:200,000 Proyección: Hemisferio de Gauss Datum: WGS 1984 Esfera: WGS 1984 Meridiano central: 0 Falso Norte: 0 Falso Este: 0 Falso Sur: 0 Falso Oeste: 0 Falso Sembrado: 0378137.0 Falso Sembrado: 0386752.31

Densidad de eventos de encharcamiento 2016 DE-07

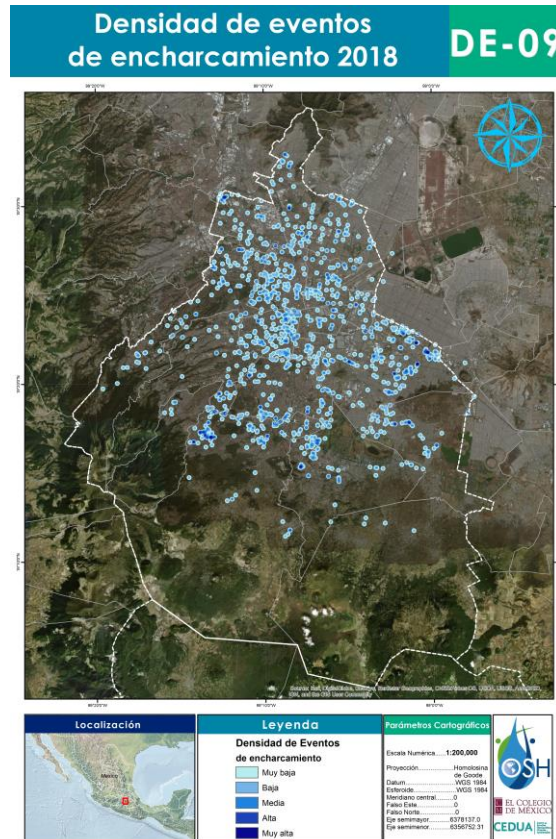


Localización	Leyenda	Parámetros Cartográficos
	Densidad de Eventos de encharcamiento Muy baja Baja Media Alta Muy alta	Escala Numérica: 1:200,000 Proyección: Hemisferio de Gauss Datum: WGS 1984 Esfera: WGS 1984 Meridiano central: 0 Falso Norte: 0 Falso Este: 0 Falso Sur: 0 Falso Oeste: 0 Falso Sembrado: 0378137.0 Falso Sembrado: 0386752.31

Densidad de eventos de encharcamiento 2017 DE-08



Localización	Leyenda	Parámetros Cartográficos
	Densidad de Eventos de encharcamiento Muy baja Baja Media Alta Muy alta	Escala Numérica: 1:200,000 Proyección: Hemisferio de Gauss Datum: WGS 1984 Esfera: WGS 1984 Meridiano central: 0 Falso Norte: 0 Falso Este: 0 Falso Sur: 0 Falso Oeste: 0 Falso Sembrado: 0378137.0 Falso Sembrado: 0386752.31



Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX, 2018. INEGI, 2018

El mapa de *Densidad de frecuencia de encharcamientos 2010-2018*, identifica las zonas con mayor recurrencia de los eventos de encharcamientos registrados por SACMEX durante todo el periodo 2010-2018, exhibe las diferencias en la concentración de encharcamientos producidos en la ciudad. Los niveles de mayor concentración se presentan en azul fuerte y los menores en tonalidades de azul claro.

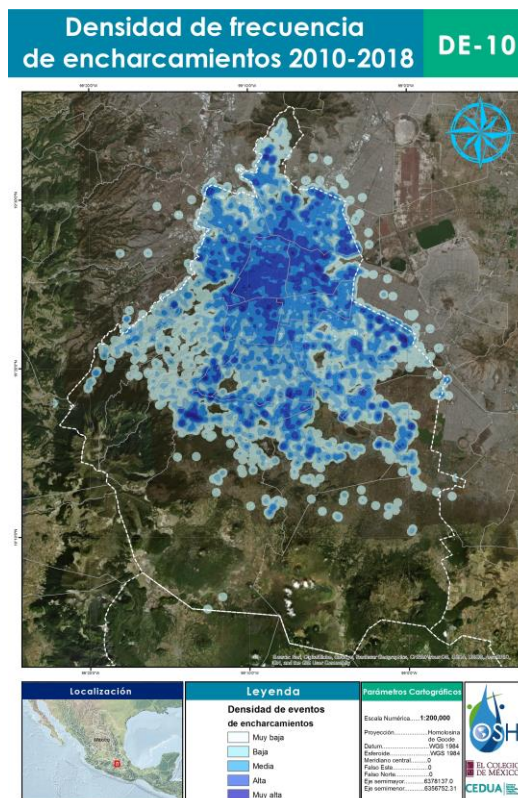
Como puede observarse, la Colonia Centro de la Ciudad de México es, de acuerdo con la información proporcionada la zona con mayor densidad de eventos en tiempos recientes, con una frecuencia de 598 eventos registrados. Pese a lo anterior, y considerando que el centro de la ciudad es la zona con mayor densidad de eventos de encharcamientos, existen también corredores donde puede apreciarse una clara alta incidencia del fenómeno como lo es el Oriente de la Ciudad, sobre el límite de la Delegación Iztapalapa o sobre el Periférico Poniente, una de las más importantes vialidades de la Ciudad. La siguiente tabla identifica las colonias con mayor frecuencia de encharcamientos registrados por SACMEX en la

Ciudad de México durante el 2010-2018, con su respectiva recurrencia en cantidad de eventos.

Tabla 11. Colonias con mayor frecuencia de encharcamientos

COLONIA	FRECUENCIA	COLONIA	FRECUENCIA
Centro	598	Del Valle Norte	161
Jardines Del Pedregal	380	Hipódromo	153
Moctezuma 2a. Sección	379	Lindavista	153
Roma Norte	326	Roma Sur	153
Federal	248	San Juan De Aragón 4a Y 6a Secc	148
Jardín Balbuena	222	Ermita Zaragoza	145
Juárez	205	Agrícola Pantitlán	143
Álamos	201	Granjas México	138
Pensador Mexicano	195	Héroes De Padierna	137
Pueblo Santa Martha Acatitla	189	Sta. Martha Acatitla Sur	133
Doctores	186	Guerrero	128
Agrícola Oriental	182	Santa María La Ribera	124
U Vicente Guerrero	181	El Rosario	115
Narvarte Oriente	169	Los Girasoles	112
Obrera	169		

Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX, 2018.



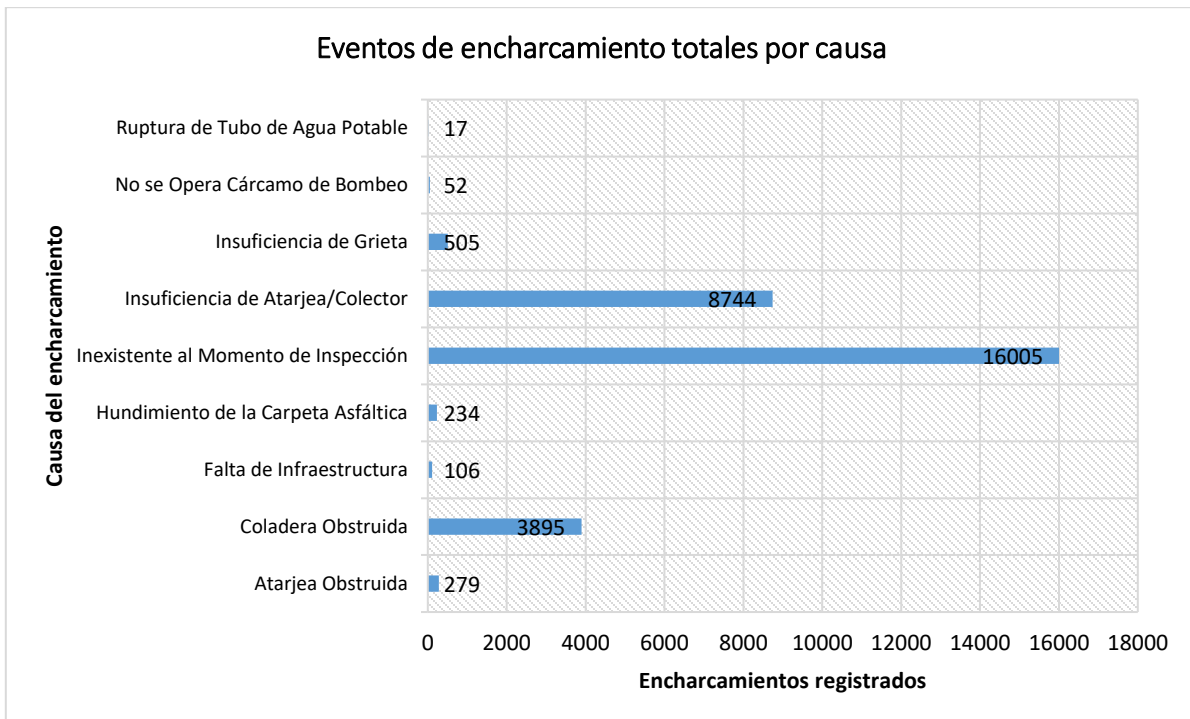
Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX, 2018. INEGI, 2018

3.3 Causalidad de los encharcamientos de la Ciudad de México 2010-2018

En la clasificación por causa de los registros de eventos de encharcamiento identificados por SACMEX, la causa que más se registró en la base de datos es la *inexistencia al momento de la inspección* con 16,005 eventos asignados a dicha situación, sin embargo es imperativo reconocer que, obviando dicha condición que no aporta detalle del motivo de los encharcamientos, la *insuficiencia de colector/atarjea* con 8,744 eventos de encharcamiento registrados es la causa clasificada con mayor recurrencia para el fenómeno en la Ciudad de México, seguida de *coladera obstruida* (3,895 encharcamientos), causa que se puede asociar a tapones generados por presencia de basura o material cementante en el drenaje.

Es probable, sin embargo, que la causa “inexistente al momento de la inspección” por la descripción en la base de datos se trate de eventos los cuáles esten asociados a una obstrucción física temporal de las coladeras, y que reanude su funcionamiento normal tras su saturación temporal.

Gráfica 12. Eventos de encharcamiento totales por causa



Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX, 2018

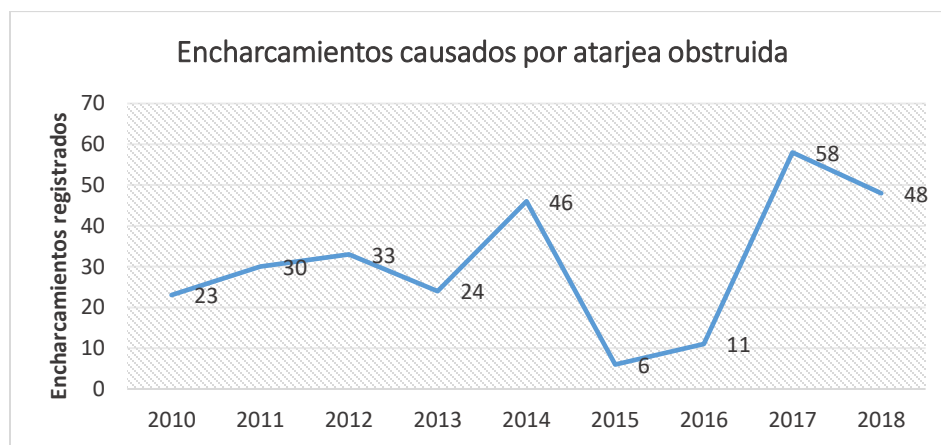
Tabla 12. Eventos de encharcamiento totales por causa, CDMX 2010-2018

Causa	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	TOTAL
Atarjea Obstruida	23	30	33	24	46	6	11	58	48	279
Coladera Obstruida	543	448	533	521	610	347	255	392	246	3895
Falta de Infraestructura	9	11	21	13	19	7	8	7	11	106
Hundimiento de la Carpeta Asfáltica	19	34	39	34	37	21	16	16	18	234
Inexistente al Momento de Inspección	1365	2635	1710	1815	2906	1917	1115	1320	1221	16005
Insuficiencia de Atarjea/Colector	961	1156	978	875	1333	812	764	846	1020	8744
Insuficiencia de Grieta	36	70	93	44	70	61	34	43	54	505
No se Opera Cárcamo de Bombeo	9	5	15	3	5	2	6	3	4	52
Ruptura de Tubo de Agua Potable	1	4	3	4	3	1	1	0	0	17

Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX, 2018

Los encharcamientos según la causa que los originó de acuerdo con los registros del SACMEX, 2018 se distribuyen de manera diferenciada en el periodo de tiempo analizado. Para su mejor apreciación a continuación se observa por causa y por año los eventos de encharcamiento suscitados en los años 2010 a 2018.

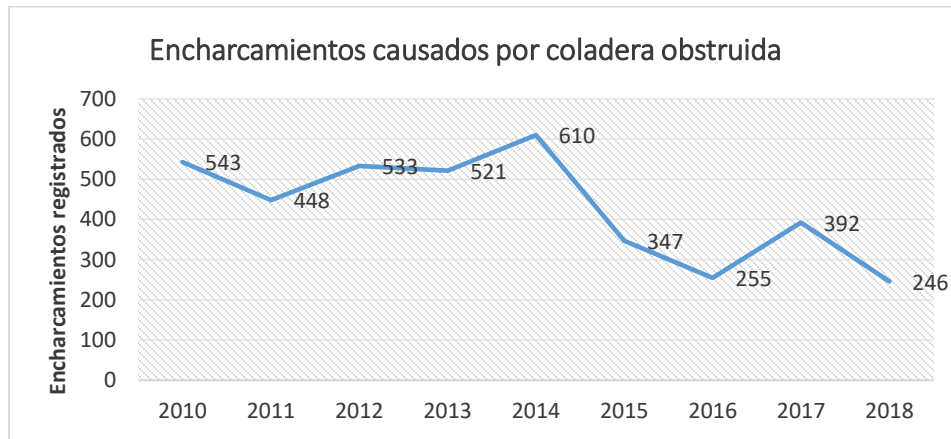
Gráfica 13. Encharcamientos causados por atarjea obstruida



Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX, 2018

El número de eventos de inundación presente en la Ciudad de México que identifican como su causa *atarjea obstruida*, tuvo mayor recurrencia en el año 2017 con 58 eventos y en el año 2018 con 48 eventos, lo que denotó una clara tendencia de intensificación del fenómeno por la causa.

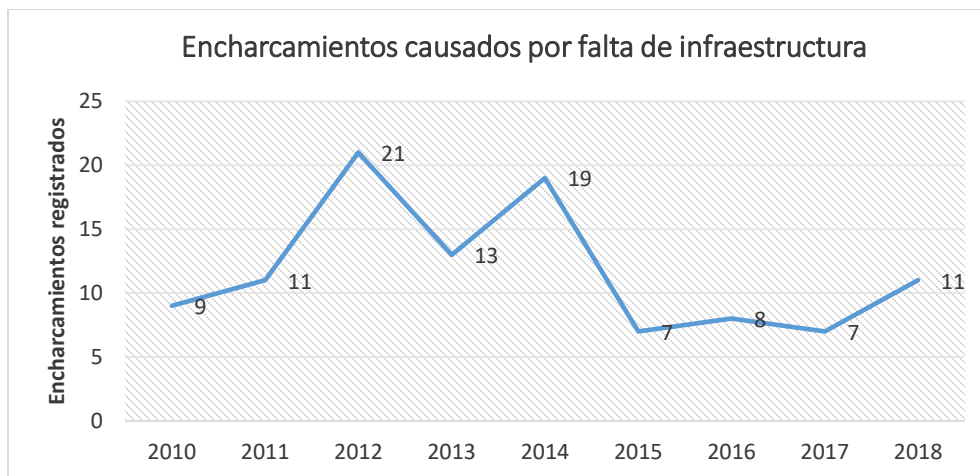
Gráfica 14. Encharcamientos causados por coladera obstruida



Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX, 2018

Los registros indican que los encharcamientos del año 2014 son los que presentan mayor cantidad de eventos a causa de *coladera obstruida*, con 610 eventos, la curva de distribución indica una tendencia a la baja de los encharcamientos registrados por esta causa pese a que mediáticamente se maneja que es la causa del 50% de los encharcamientos en la ciudad, de acuerdo a los registros es la tercera causa de mayor número de incidentes.

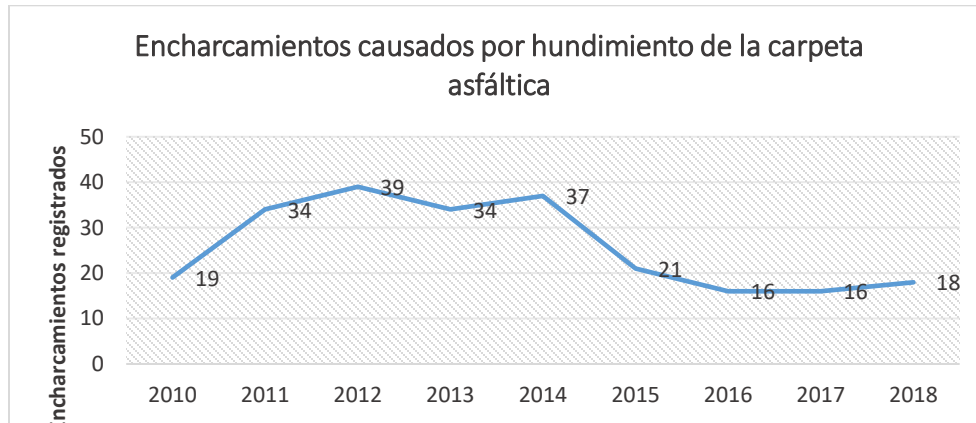
Gráfica 15. Encharcamientos causados por falta de infraestructura



Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX, 2018

La curva de distribución del fenómeno atribuido a la causa *falta de infraestructura* demuestra que pese a la frecuencia total de los eventos disminuye en la serie de tiempo, hay una tendencia a intensificarse en el último año.

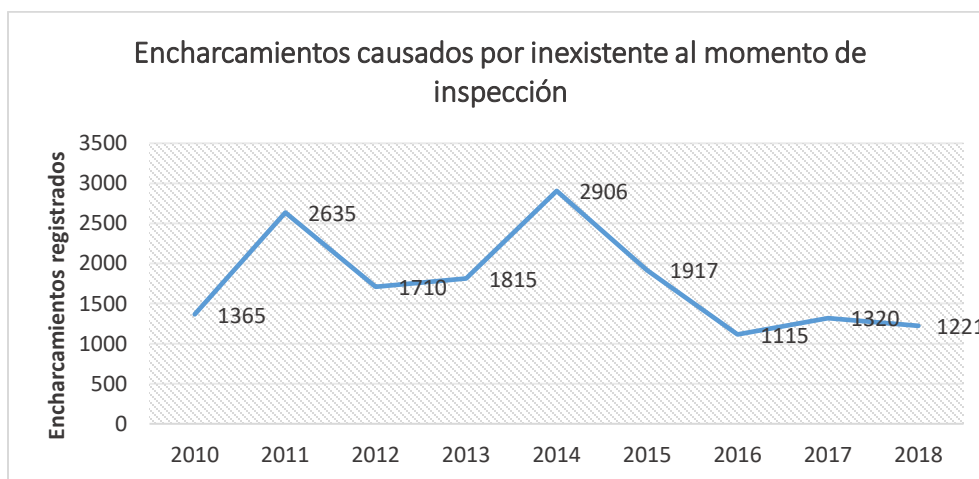
Gráfica 16. Encharcamientos causados por hundimiento de la carpeta asfáltica



Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX, 2018

2014 es el año que posee el mayor número de eventos de inundación a causa del *hundimiento de la carpeta asfáltica* por su parte 2017 tiene la menor cantidad de incidencia de este fenómeno, pese a que los hundimientos regionales o locales son proclives a intensificarse con movimientos sísmicos. El hundimiento regional es un proceso continuo en la ciudad por lo que es probable que a futuro afecte la infraestructura del drenaje como lo ha hecho.

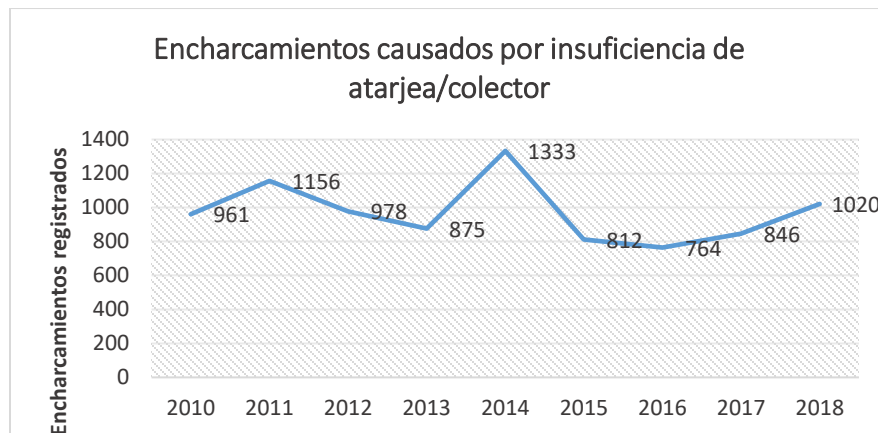
Gráfica 17. Inexistencia de encharcamientos al momento de la inspección



Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX, 2018

Esta problemática presenta la mayor cantidad de encharcamientos de la ciudad, el año 2011 con 2,635 registros y el año 2014 con 2,906 son los años con más cantidad de eventos asignados a este motivo que no precisa la causa de los encharcamientos. Tal como se refleja en la gráfica el año de más eventos de encharcamientos 2014 es también el año que presenta mayor cantidad de eventos atribuidos a esta causa lo que manifiesta esta problemática.

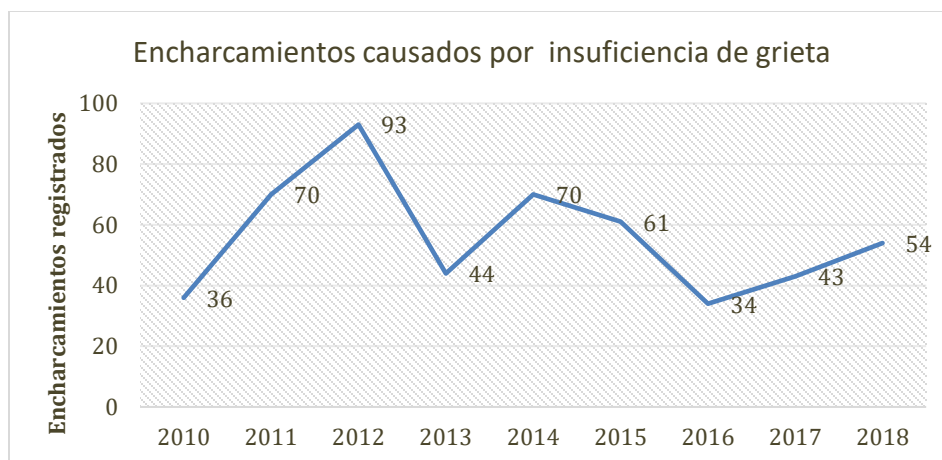
Gráfica 18. Encharcamientos causados por insuficiencia de atarjea/colector



Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX, 2018

El año 2016 con 1,053 eventos de encharcamiento y el 2014 con 1,333, asumen la mayor cantidad de eventos asignados a la *insuficiencia de atarjea y colector*.

Gráfica 19. Encharcamientos causados por insuficiencia de grieta



Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX, 2018

SACMEX identifica al año 2012 con 93 encharcamientos atribuidos a la *insuficiencia de grieta*, como el año de mayor cantidad de eventos de dicha problemática.

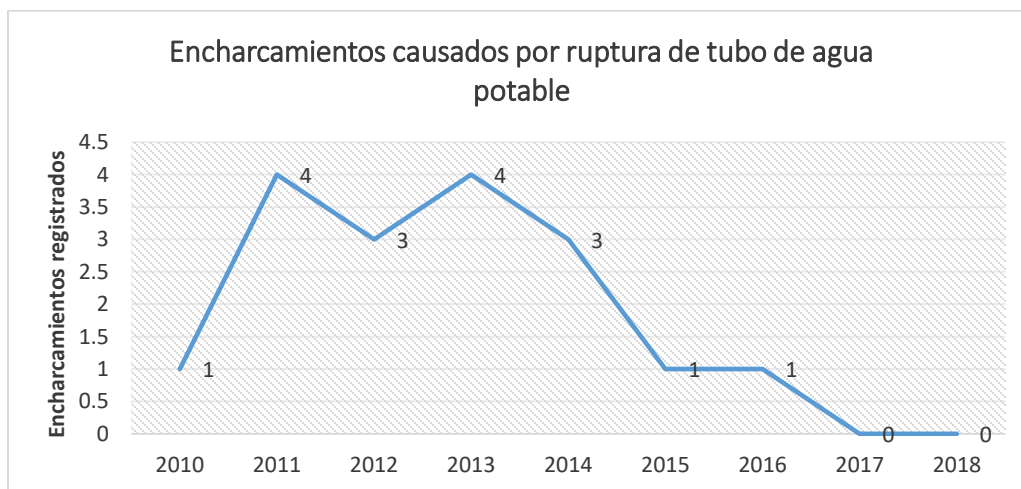
Gráfica 20. Encharcamientos causados por que no se opera cárcamo de bombeo



Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX, 2018

El año 2012 presenta la mayor cantidad de eventos de encharcamiento identificados a causa de *no se opera cárcamo de bombeo*, 2015 es el año con menor cantidad de incidencia de este fenómeno asignado a dicha causa.

Gráfica 21. Encharcamientos causados por ruptura de tubo de agua potable



Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX, 2018

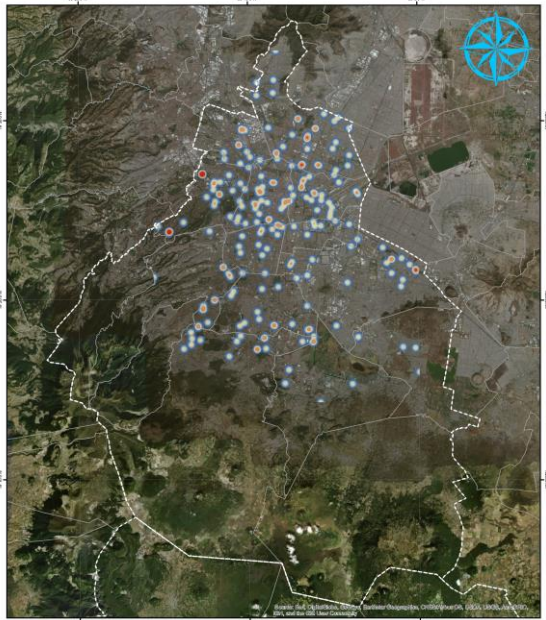
La problemática causante de los encharcamientos identificada por SACMEX como *ruptura de tubo de agua potable* presenta la menor cantidad de eventos, donde los años 2011 y 2013 asumen la mayor cantidad de ellos, 4 eventos.

Sin embargo, es importante observar la distribución espacial de las causas de los encharcamientos para identificar las áreas afectadas atribuidas a una determinada causa y poder proponer acciones que impulsen la reducción y posible solución a esta problemática. Con los datos disponibles se realizó un mapeo de densidad por cada tipo de causa registrada en la base de datos con el objetivo de caracterizar el comportamiento del fenómeno con base en su causalidad.

Los siguientes mapas identifican por causas la densidad de encharcamientos registrados por SACMEX durante el periodo 2010-2018, como se visualiza en los mapas, los encharcamientos causados por *atarjea obstruida* (noroeste y suroeste de la alcaldía de Miguel Hidalgo, sur de Gustavo A. Madero, este de Iztapalapa, noroeste de Venustiano Carranza y noreste de Tlalpan), *falta de infraestructura* (noroeste de la alcaldía de Cuauhtémoc y Tlalpan, centro de Tláhuac) y *hundimiento de la carpeta asfáltica* (centro de la alcaldía de Benito Juárez, suroeste de Cuauhtémoc, noreste de Iztapalapa y noroeste de Tlalpan) e *insuficiencia de grieta* (noroeste de Tlalpan y suroeste de Coyoacán) detallan con precisión las zonas de mayor recurrencia de afectación con color rojo, una muy alta densidad de encharcamientos atribuidos a dichas causas.

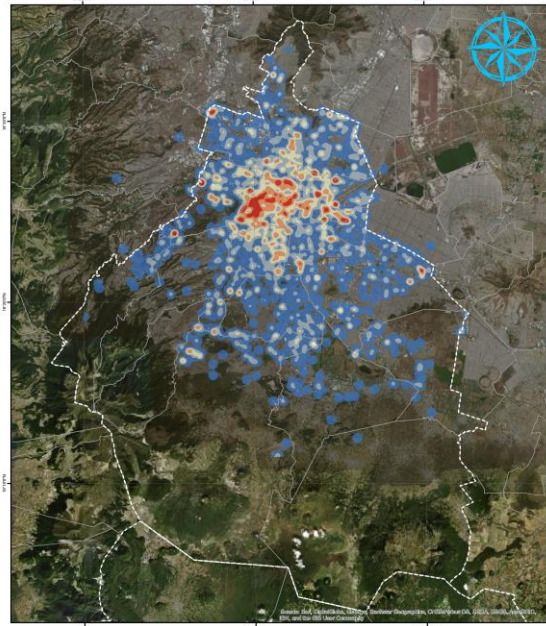
La densidad de encharcamientos causados por *coladera obstruida* (mayor concentración en el centro, periferia noroeste y este de la ciudad), *sin causa al momento de la inspección* (niveles altos y muy altos de densidad de encharcamientos en el centro, oriente y sur del demarcación política), *insuficiencia de atarjea y colector* (grados altos y muy altos de densidad de encharcamientos distribuidos en el este, centro, sur y noroeste de la Ciudad de México) presentan una mayor distribución en el territorio capitalino.

Densidad de encharcamientos causados por atarjea obstruida 2010-2018 DEC-01



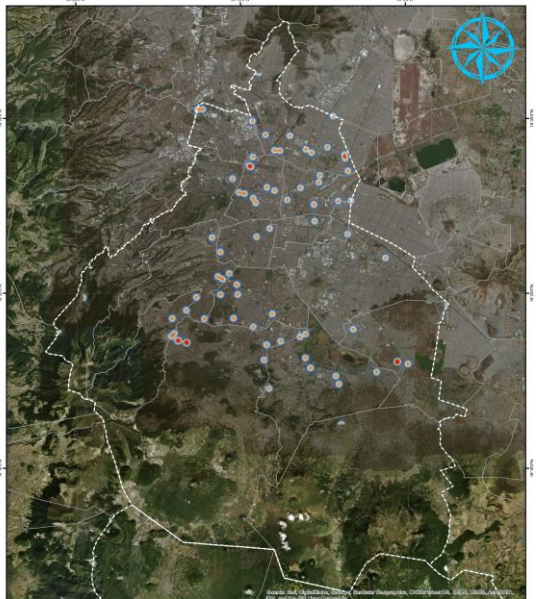
Localización	Leyenda	Parámetros Cartográficos
	Densidad de encharcamientos Muy baja Baja Media Alta Muy alta	Escala Numérica: 1:200,000 Proyección: Hemisferio de Occidente Datum: WGS 1984 Esfera: WGS 1984 Meridiano central: 0 Falso Este: 0 Falso Norte: 0 Eje semimayor: 6378137.0 Eje semenor: 6366752.31

Densidad de encharcamientos causados por coladera obstruida 2010-2018 DEC-02



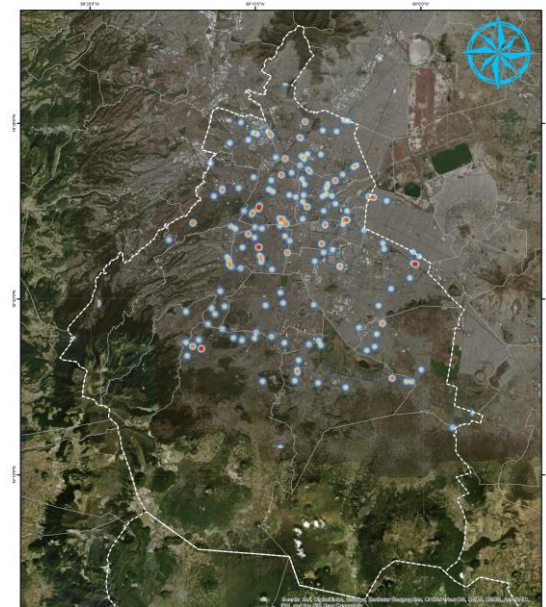
Localización	Leyenda	Parámetros Cartográficos
	Densidad de encharcamientos Muy baja Baja Media Alta Muy alta	Escala Numérica: 1:200,000 Proyección: Hemisferio de Occidente Datum: WGS 1984 Esfera: WGS 1984 Meridiano central: 0 Falso Este: 0 Falso Norte: 0 Eje semimayor: 6378137.0 Eje semenor: 6366752.31

Densidad de encharcamientos causados por falta de infraestructura 2010-2018 DEC-03



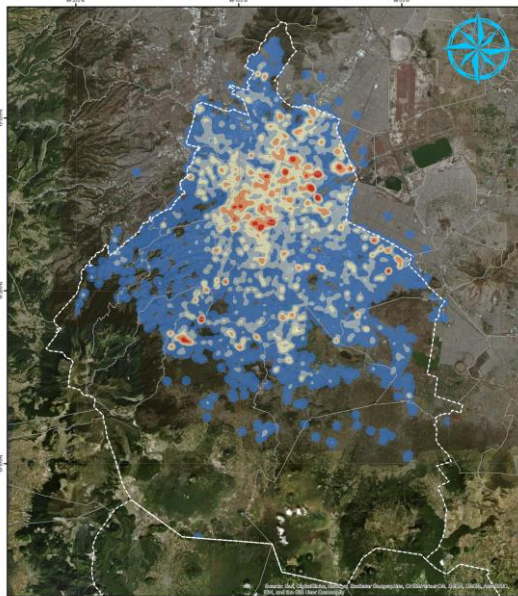
Localización	Leyenda	Parámetros Cartográficos
	Densidad de encharcamientos Muy baja Baja Media Alta Muy alta	Escala Numérica: 1:200,000 Proyección: Hemisferio de Occidente Datum: WGS 1984 Esfera: WGS 1984 Meridiano central: 0 Falso Este: 0 Falso Norte: 0 Eje semimayor: 6378137.0 Eje semenor: 6366752.31

Densidad de encharcamientos causados por hundimiento de la carpeta asfáltica 2010-2018 DEC-04



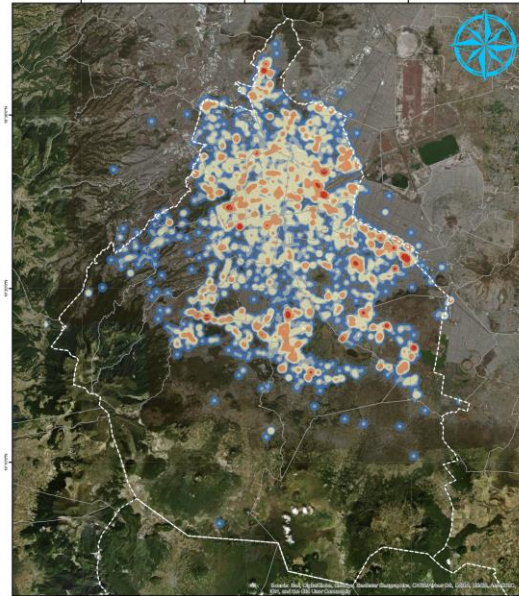
Localización	Leyenda	Parámetros Cartográficos
	Densidad de encharcamientos Muy baja Baja Media Alta Muy alta	Escala Numérica: 1:200,000 Proyección: Hemisferio de Occidente Datum: WGS 1984 Esfera: WGS 1984 Meridiano central: 0 Falso Este: 0 Falso Norte: 0 Eje semimayor: 6378137.0 Eje semenor: 6366752.31

Densidad de encharcamientos sin causa al momento de la inspección 2010-2018 DEC-05



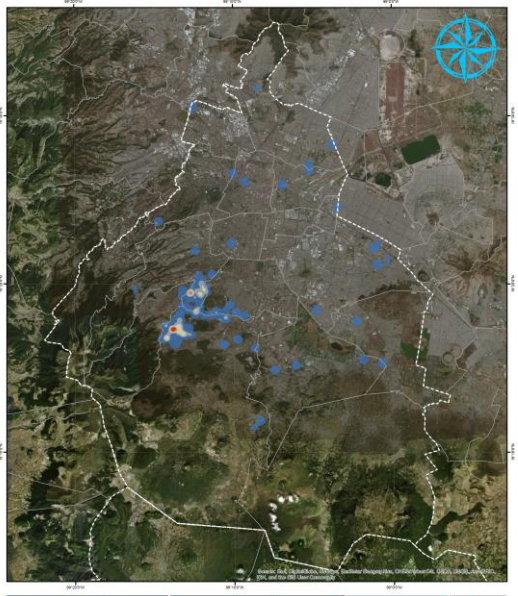
Localización	Leyenda	Parámetros Cartográficos
	Densidad de encharcamientos Muy baja Baja Media Alta Muy alta	Escala Numérica: 1:200,000 Proyección: Homocónica de Gauss Datum: WGS 1984 Elevación: WGS 1984 Meridiano central: 0 Falso Este: 0 Falso Norte: 0 Eje semimayor: 6378137.0 Eje semenor: 636782.31

Densidad de encharcamientos causados por insuficiencia de atarjea y colector 2010-2018 DEC-06



Localización	Leyenda	Parámetros Cartográficos
	Densidad de encharcamientos Muy baja Baja Media Alta Muy alta	Escala Numérica: 1:200,000 Proyección: Homocónica de Gauss Datum: WGS 1984 Elevación: WGS 1984 Meridiano central: 0 Falso Este: 0 Falso Norte: 0 Eje semimayor: 6378137.0 Eje semenor: 636782.31

Densidad de encharcamientos causados por insuficiencia de grieta 2010-2018 DEC-07



Localización	Leyenda	Parámetros Cartográficos
	Densidad de encharcamientos Muy baja Baja Media Alta Muy alta	Escala Numérica: 1:200,000 Proyección: Homocónica de Gauss Datum: WGS 1984 Elevación: WGS 1984 Meridiano central: 0 Falso Este: 0 Falso Norte: 0 Eje semimayor: 6378137.0 Eje semenor: 636782.31

Densidad de encharcamientos causados porque no se opero carcamo de bombeo 2010-2018 DEC-08



Localización	Leyenda	Parámetros Cartográficos
	Densidad de encharcamientos Muy baja Baja Media Alta Muy alta	Escala Numérica: 1:200,000 Proyección: Homocónica de Gauss Datum: WGS 1984 Elevación: WGS 1984 Meridiano central: 0 Falso Este: 0 Falso Norte: 0 Eje semimayor: 6378137.0 Eje semenor: 636782.31



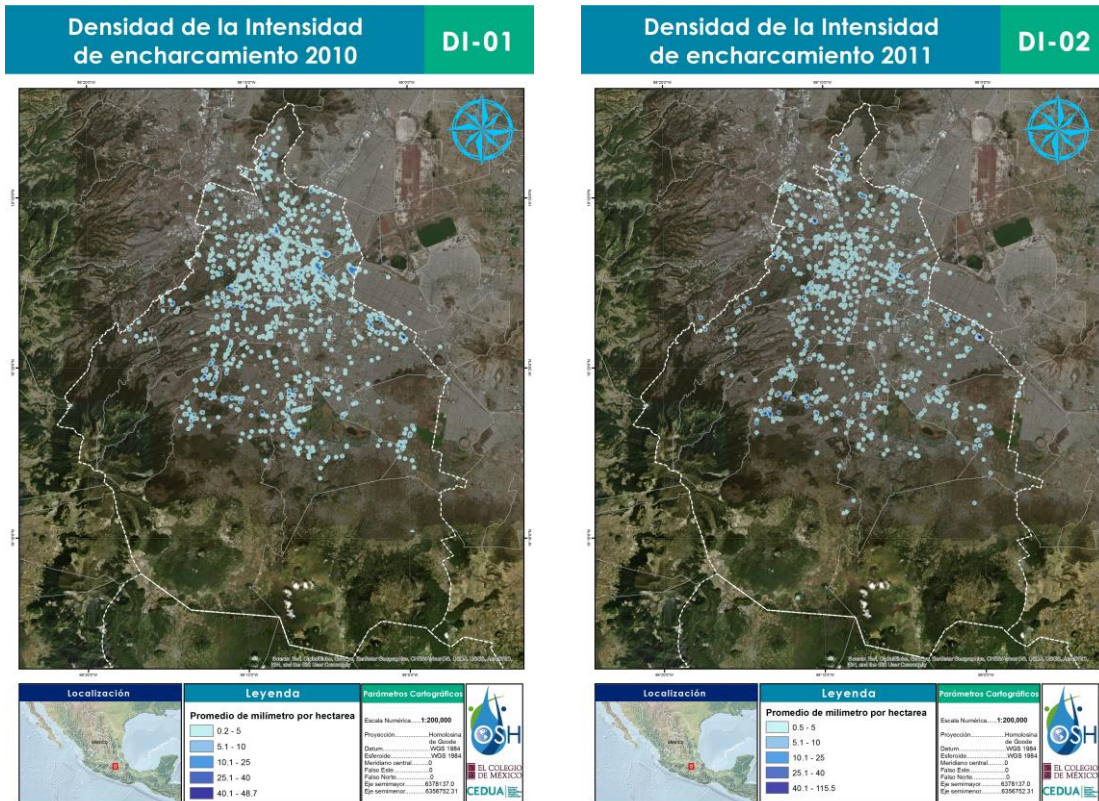
Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX, 2018. INEGI, 2018

3.4 Intensidad de los encharcamientos de la Ciudad de México 2010-2018

No solo la presencia del fenómeno es requerida para entender el comportamiento de los encharcamientos en la Ciudad, sino que también su intensidad ayuda a caracterizar el comportamiento hidráulico de la Ciudad de México para poder incidir en políticas de seguridad hídrica.

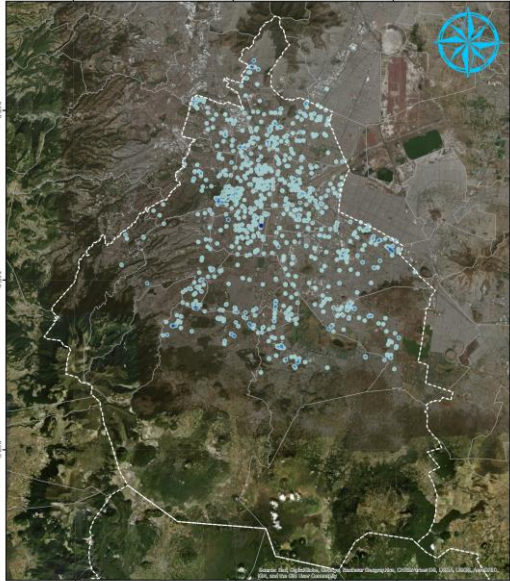
El tirante refleja el nivel máximo de la altura del agua de los encharcamientos, se asocia al nivel de daños o pérdidas que los fenómenos pudieran presentar debido a su ocurrencia; de acuerdo a la Real Academia de Ingeniería el *Tirante* se define como: “Resultado de dividir el área hidráulica por el ancho superficial del agua, parámetro fundamental en el estudio del movimiento de un fluido en un canal abierto, y también, en un canal rectangular la distancia entre la lámina de agua y el fondo”. Por ello identificar el promedio de este aporta información sobre la intensidad de los encharcamientos.

Los siguientes mapas identifican el promedio de milímetros por 250 hectáreas del tirante registrado por SACMEX de los encharcamientos del año 2010 al 2018, como se puede observar la densidad en la intensidad del fenómeno va en aumento, ya que en el año 2016 y 2017 se aprecia una mayor presencia de áreas específicas con la mayor concentración de intensidades más altas de los encharcamientos ocurridos en su año, en contraste con los años anteriores donde la intensidad del fenómeno se encuentra más dispersa.



Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX, 2018. INEGI, 2018

Densidad de la Intensidad de encharcamiento 2012 **DI-03**



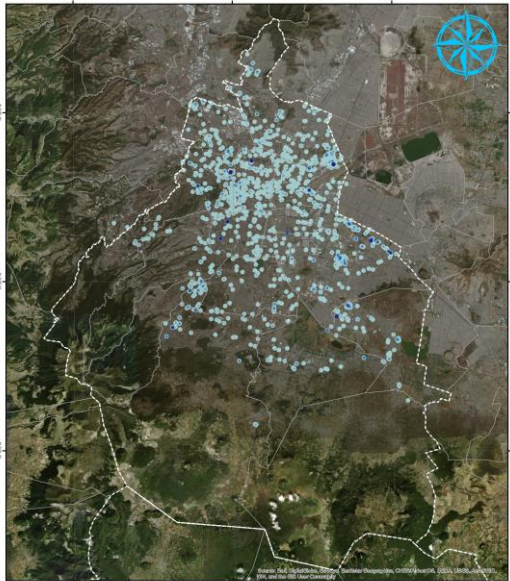
Localización	Leyenda	Parámetros Cartográficos
	<p>Promedio de milímetro por hectarea</p> <ul style="list-style-type: none"> 2.4 - 5 5.1 - 10 10.1 - 25 25.1 - 40 40.1 - 614.6 	<p>Escala Numérica: 1:200,000</p> <p>Proyección: Hemisferio de Gauss</p> <p>Datum: WGS 1984</p> <p>Elaboración: WGS 1984</p> <p>Meridiano central: 0</p> <p>Falso Este: 0</p> <p>Falso Norte: 0</p> <p>Eje semimayor: 6378137.0</p> <p>Eje semenor: 6356762.31</p>

Densidad de la Intensidad de encharcamiento 2013 **DI-04**



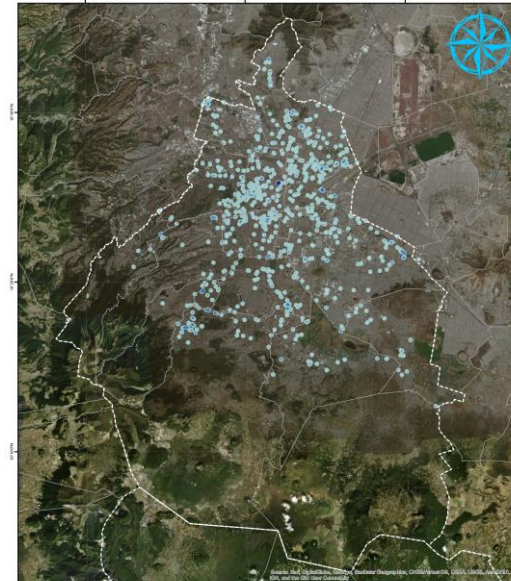
Localización	Leyenda	Parámetros Cartográficos
	<p>Promedio de milímetro por hectarea</p> <ul style="list-style-type: none"> 2.4 - 5 5.1 - 10 10.1 - 25 25.1 - 40 40.1 - 614.6 	<p>Escala Numérica: 1:200,000</p> <p>Proyección: Hemisferio de Gauss</p> <p>Datum: WGS 1984</p> <p>Elaboración: WGS 1984</p> <p>Meridiano central: 0</p> <p>Falso Este: 0</p> <p>Falso Norte: 0</p> <p>Eje semimayor: 6378137.0</p> <p>Eje semenor: 6356762.31</p>

Densidad de la Intensidad de encharcamiento 2014 **DI-05**



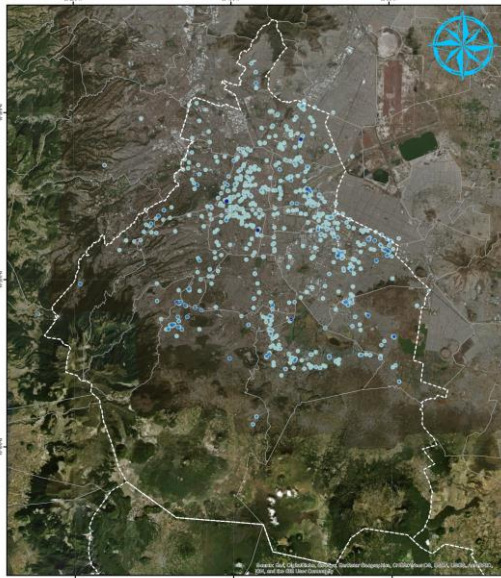
Localización	Leyenda	Parámetros Cartográficos
	<p>Promedio de milímetro por hectarea</p> <ul style="list-style-type: none"> 3 - 5 5.1 - 10 10.1 - 25 25.1 - 40 40.1 - 771 	<p>Escala Numérica: 1:200,000</p> <p>Proyección: Hemisferio de Gauss</p> <p>Datum: WGS 1984</p> <p>Elaboración: WGS 1984</p> <p>Meridiano central: 0</p> <p>Falso Este: 0</p> <p>Falso Norte: 0</p> <p>Eje semimayor: 6378137.0</p> <p>Eje semenor: 6356762.31</p>

Densidad de la Intensidad de encharcamiento 2015 **DI-06**



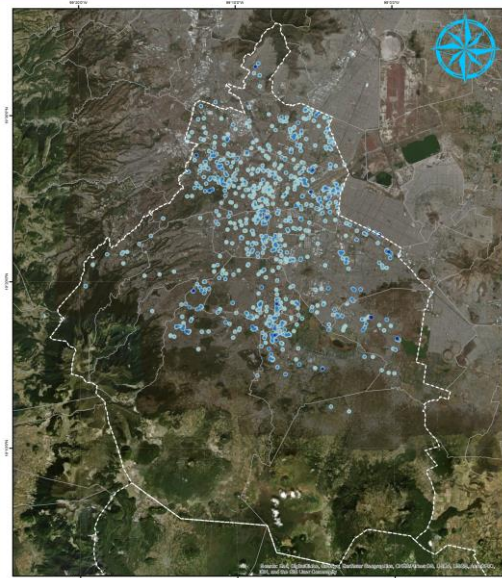
Localización	Leyenda	Parámetros Cartográficos
	<p>Promedio de milímetro por hectarea</p> <ul style="list-style-type: none"> 1.5 - 5 5.1 - 10 10.1 - 40 40.1 - 60 60.1 - 383.7 	<p>Escala Numérica: 1:200,000</p> <p>Proyección: Hemisferio de Gauss</p> <p>Datum: WGS 1984</p> <p>Elaboración: WGS 1984</p> <p>Meridiano central: 0</p> <p>Falso Este: 0</p> <p>Falso Norte: 0</p> <p>Eje semimayor: 6378137.0</p> <p>Eje semenor: 6356762.31</p>

Densidad de la Intensidad de encharcamiento 2016 **DI-07**



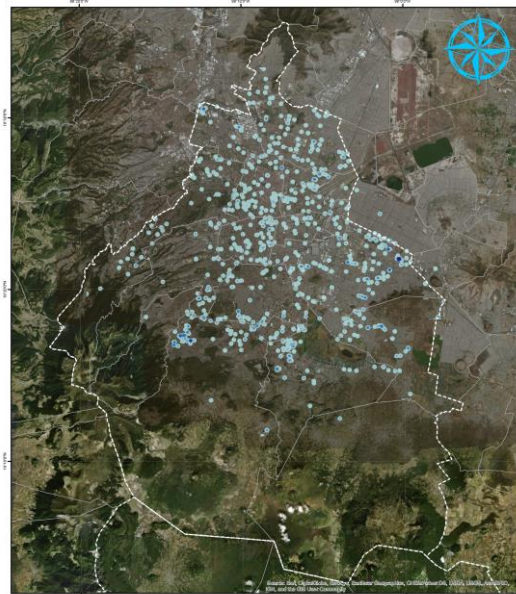
Localización	Leyenda	Parámetros Cartográficos
	Promedio de milímetro por hectarea 1.8 - 5 5.1 - 10 10.1 - 40 40.1 - 60 60.1 - 459.4	Escala Numérica: 1:200,000 Proyección: Homoclasica de Gauss Datum: WGS 1984 Esfera: WGS 1984 Meridiano central: 0 Falso Este: 0 Falso Norte: 0 Eje semimayor: 6378137.0 Eje semenor: 638752.31

Densidad de la Intensidad de encharcamiento 2017 **DI-08**



Localización	Leyenda	Parámetros Cartográficos
	Promedio de milímetro por hectarea 1 - 5 5.1 - 10 10.1 - 40 40.1 - 60 60.1 - 256	Escala Numérica: 1:200,000 Proyección: Homoclasica de Gauss Datum: WGS 1984 Esfera: WGS 1984 Meridiano central: 0 Falso Este: 0 Falso Norte: 0 Eje semimayor: 6378137.0 Eje semenor: 638752.31

Densidad de la Intensidad de encharcamiento 2018 **DI-09**



Localización	Leyenda	Parámetros Cartográficos
	Promedio de milímetro por hectarea 1.3 - 5 5.1 - 10 10.1 - 25 25.1 - 40 40.1 - 329.6	Escala Numérica: 1:200,000 Proyección: Homoclasica de Gauss Datum: WGS 1984 Esfera: WGS 1984 Meridiano central: 0 Falso Este: 0 Falso Norte: 0 Eje semimayor: 6378137.0 Eje semenor: 638752.31

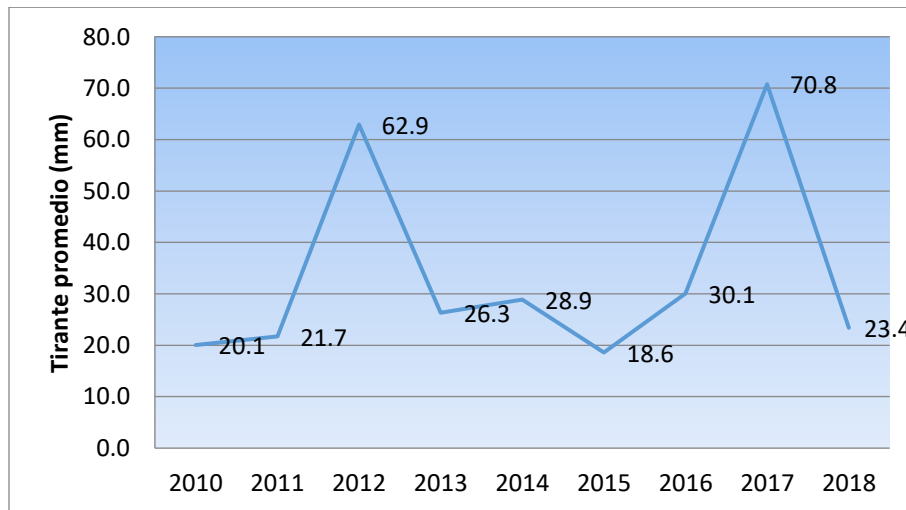
Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX, 2018. INEGI, 2018

3.5 Tirante promedio por causa de los encharcamientos de la Ciudad de México

Al comparar el tirante (altura del agua) de los encharcamientos con sus respectivas causas se encuentra que la intensidad en la Ciudad de México está en aumento, ya que los datos reflejan mayores niveles en el promedio del tirante en los últimos años 2016 y 2017 con respecto a los años anteriores, con excepción de la causa *inexistente al momento de la verificación* donde el año 2014 (el año con mayor cantidad de eventos de encharcamiento de todo el periodo de estudio) refleja mayor nivel en el promedio del tirante.

Una de las causas con mayor aportación al desarrollo de las inundaciones pluviales de mayor intensidad en la Ciudad de México es la *Insuficiencia de atarjea y colector*, la cual caracteriza el funcionamiento y dotación del drenaje de la ciudad y que se encuentra más dispersa en el territorio capitalino con una tendencia a intensificarse hacia la periferia de la ciudad (Mapa DEC-06, arriba identificado) y cuya intensidad asociada ha ido en aumento exponencial a lo largo del periodo 2015 a 2017.

Gráfica 22. Tirante promedio de encharcamientos causados por insuficiencia de atarjea/colector

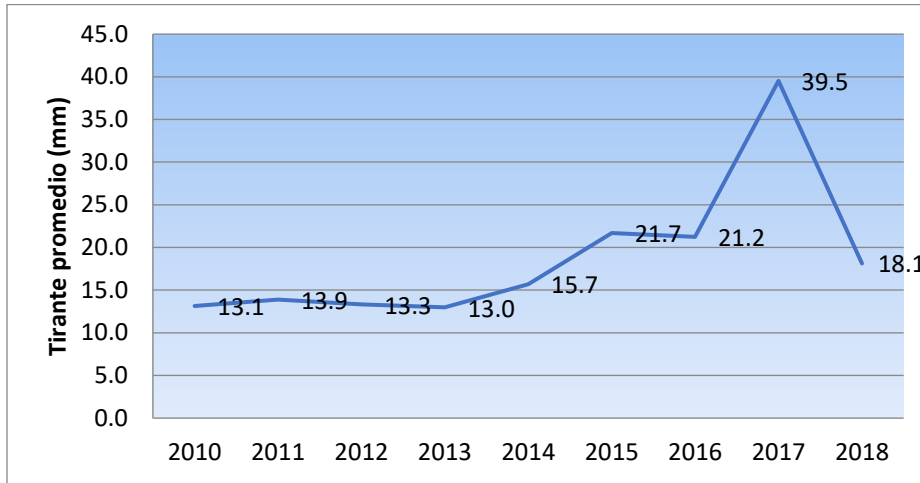


Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX, 2018.

La causa de *Coladera Obstruida* se atribuye mediáticamente a la basura que se genera diariamente en la ciudad, sin embargo, hay que señalar que no solo se hace referencia a la basura que se encuentra en la superficie sino también a la obstrucción del flujo de agua ocasionado por la cimentación de la red por el ingreso de químicos, materia orgánica o material de construcción. Lo que se observa en la gráfica de distribución es que la causa ha

aumentado la intensidad del fenómeno (medida a través del promedio del tirante en milímetros de todos los eventos asociados a esta causa) de 2010 a 2017. En el mapa DEC-02 se puede observar que dicha causa se concentra principalmente en el centro de la Ciudad de México, en concordancia con la densidad de eventos.

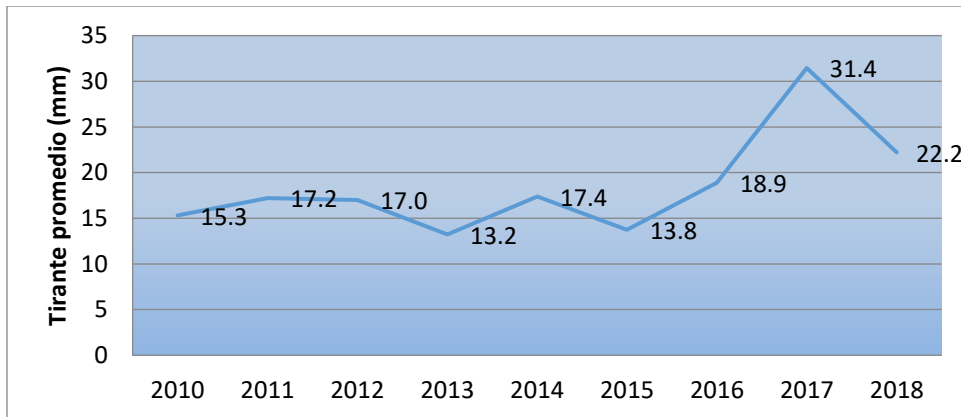
Gráfica 2. Tirante promedio de encharcamientos causados por coladera obstruida



Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX, 2018

La causa *Atarjea Obstruida* se refiere a las canaletas semi expuestas que principalmente funcionan para la captación de agua pluvial, la gráfica del tirante promedio en mm muestra que los encharcamientos registrados a esta causa han ido en aumento. Como se puede observar en el mapa DEC-01, su dispersión es muy focalizada pese a que temporalmente han generado un aumento en la intensidad de eventos registrados.

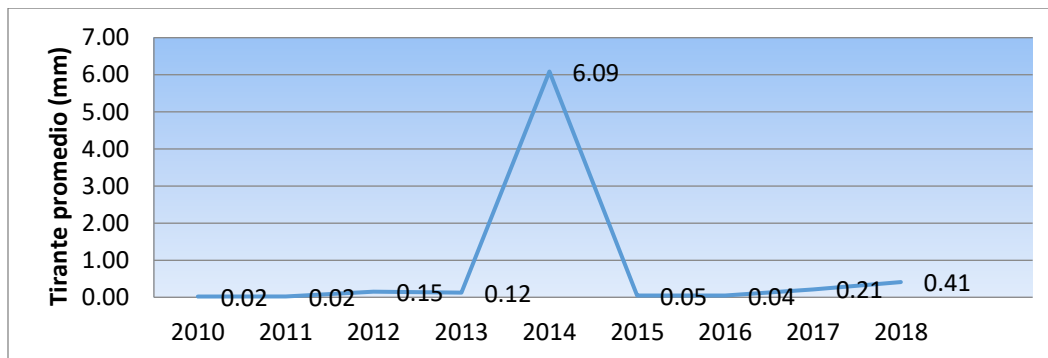
Gráfica 25. Tirante promedio de encharcamientos causados por atarjea obstruida



Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX, 2018

La causa con mayor asignación a eventos de encharcamientos es la más interesante, pues su promedio de intensidad en milímetros no es muy elevado en contraste con encharcamientos asignados a otras causalidades. En la base de datos se identifica como causa *inexistente al momento de la inspección*, lo que quiere decir que en su momento no se encontró razón para la interrupción de la operación del drenaje, alguna falla o deficiencia en la infraestructura. Este hecho descarta una coladera obstruida como causa del fenómeno, así como la insuficiencia ya que dichas causas se encuentran registradas en la base de datos. Es posible que dicha causa sea un indicativo de un funcionamiento lento de la red de drenaje, que fomente acumulaciones de agua en superficie las cuales no tienen otra causa física más que una operación retardada del sistema. Si este fuera el caso, el mapa de densidad (DEC-05) presentado con anterioridad, evidencia que la causa se encuentra presente, con mayor dispersión en toda la ciudad de México.

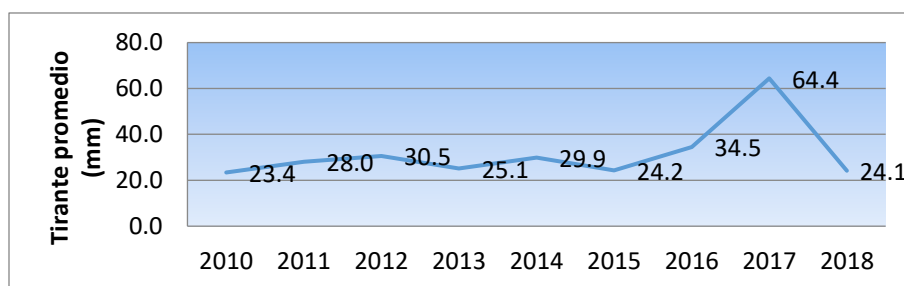
Gráfica 26. Tirante promedio de encharcamientos cuya causa no se encontró al momento de la inspección



Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX, 2018

El tirante promedio de los encharcamientos asignados a la causa *insuficiencia de grieta* exhiben una tendencia de incremento en el nivel del agua.

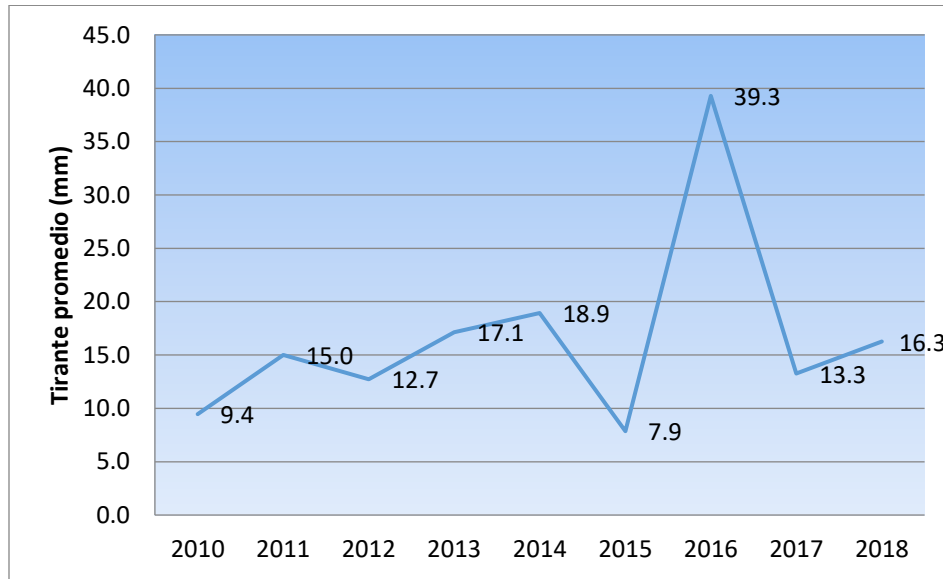
Gráfica 27. Tirante promedio de encharcamientos causados por insuficiencia de grieta



Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX, 2018

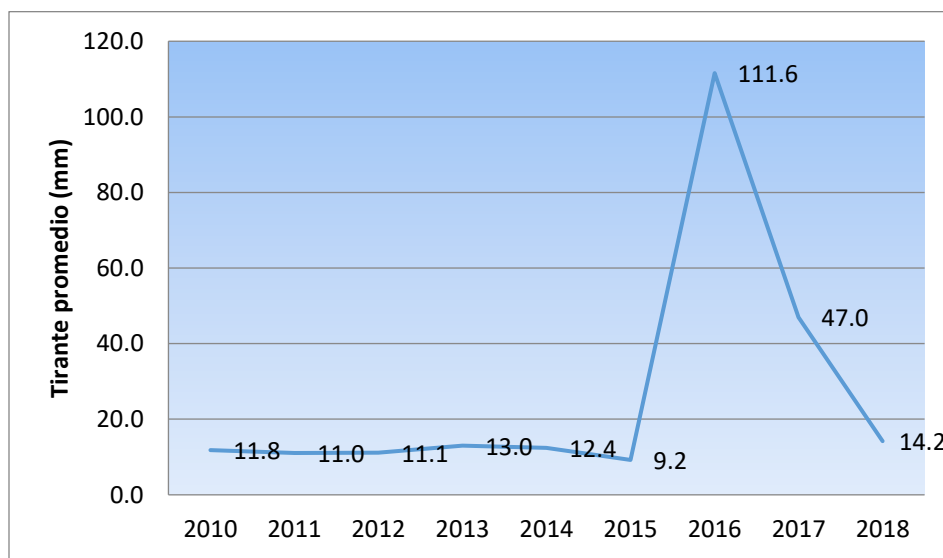
La gráfica asignada a las causas falta de infraestructura, hundimiento en la carpeta asfáltica, no se operó cárcamo de bombeo, identifican un aumento en la intensidad del tirante promedio medido en mm en los últimos años, especialmente en el año 2016.

Gráfica 28. Tirante promedio de encharcamientos causados por falta de infraestructura



Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX, 2018

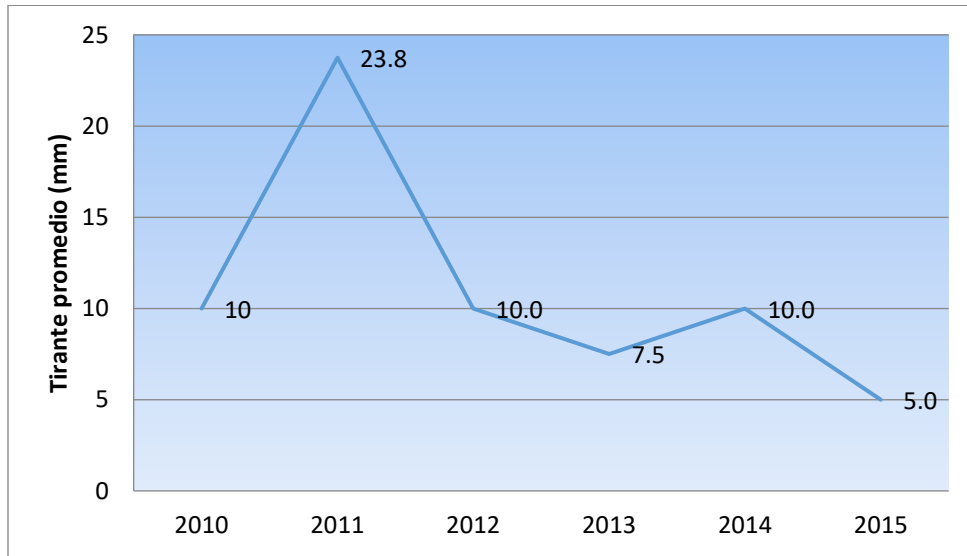
Gráfica 29. Tirante promedio de encharcamientos causados por hundimiento de la carpeta asfáltica



Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX, 2018

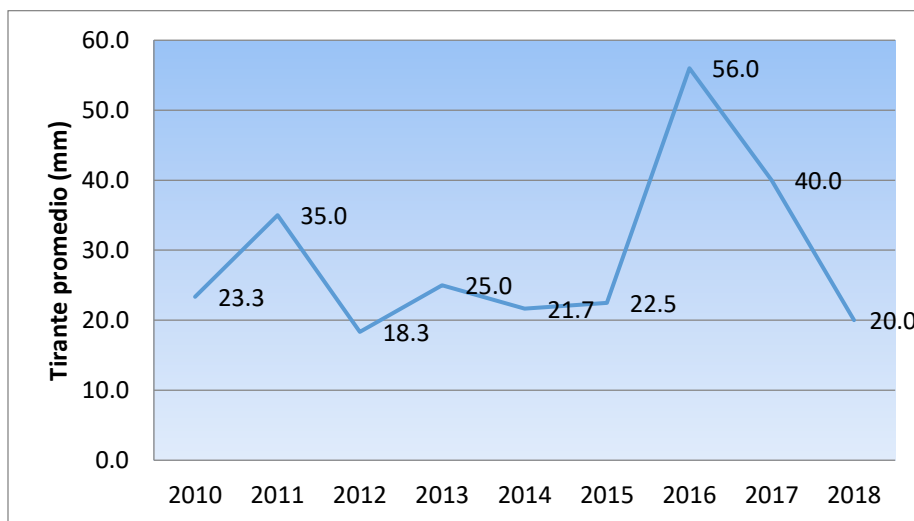
De acuerdo con los datos de SACMEX los encharcamientos producidos a causa de *ruptura de agua potable* registraron un mayor tirante promedio en el año 2011, con menor intensidad en los últimos años.

Gráfica 30. Tirante promedio de encharcamientos causados por ruptura de tubo de agua potable



Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX, 2018

Gráfica 31. Tirante promedio de encharcamientos causados por que no se opera cárcamo de bombeo



Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX, 2018

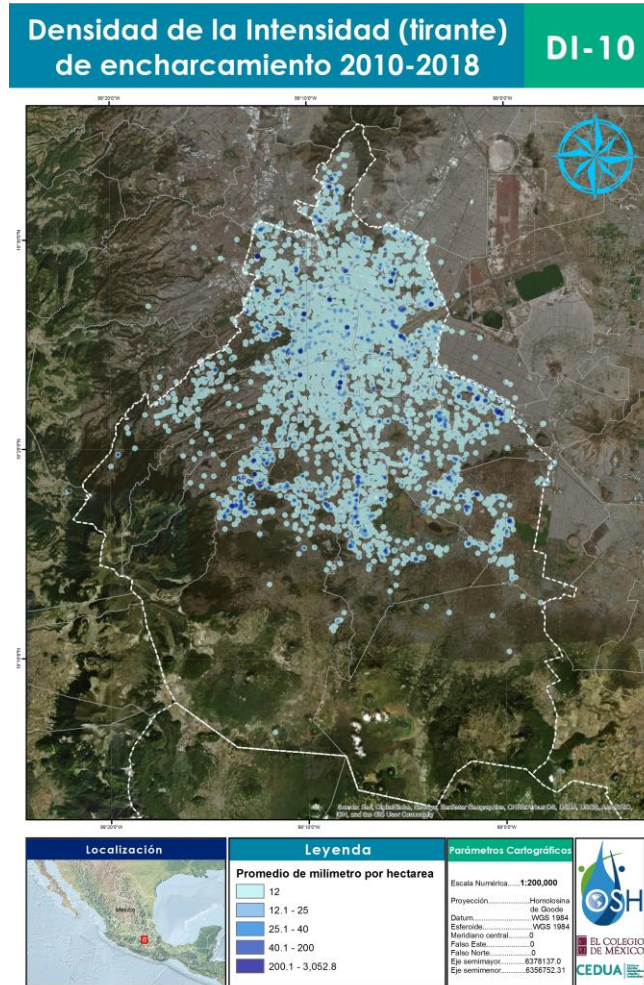
3.6 Densidad de la Intensidad de los encharcamientos por tirante 2010-2018

La base de datos de SACMEX registra tres parámetros para caracterizar la intensidad del evento: el tirante (altura) por evento, y la dimensión del espejo de agua por ancho y largo.

Metodológicamente, la obtención del tirante del agua es el elemento para caracterizar la intensidad de las inundaciones pues las ecuaciones de daños o pérdidas se asocian al nivel máximo de la altura del agua- El propósito de caracterizar dicha condición tomando en cuenta el método de densidad de Kernel (Anexo III. Aspectos metodológicos. B), tiene por objetivo identificar aquellas inundaciones de mayor intensidad tomando en cuenta su altura y densidad. En este caso la cartografía identifica el promedio de milímetros agrupado por 250 hectáreas del tirante registrado por SACMEX de los encharcamientos del año 2010 al 2018.

El mapa DI-10 detalla la densidad e intensidad por tirante medido en centímetros (cm) de los encharcamientos del periodo 2010-2018, las tonalidades más oscuras manifiestan aquellas zonas donde los tirantes (altura del agua en cm) de mayor magnitud se agrupan, como se observa una pequeña área del noroeste de la ciudad concentra una mayor intensidad.

Esto significa que pese a la alta recurrencia del fenómeno en el centro de la ciudad es en la periferia donde se pueden presentar las mayores afectaciones por inundaciones, cabe recordar que en la periferia es donde se presentan las causas relacionadas con el mal funcionamiento o insuficiencia de la infraestructura de drenaje.



Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX, 2018. INEGI, 2018

3.7 Encharcamientos por Colonia

Con la información generada en los mapas anteriores (DE-10, DI-10) a partir de los datos otorgados por SACMEX 2018, mediante un sistema de información geográfica se identificaron por colonia la cantidad de encharcamientos, el promedio del tirante, la acumulación y respectivo promedio de volumen de agua en metros cúbicos de los encharcamientos registrados del 2010 al 2018.

La acumulación del volumen de agua en m^3 presenta las demarcaciones con mayor problemática en cuanto a superficie de afectación. Es importante puntualizar que el promedio de intensidad en tirante y volumen de agua en m^3 se obtuvo de la suma total de todos los registros de 2010 a 2018 entre la cantidad de eventos registrados con el objetivo de identificar

las colonias con los episodios de inundación más intensos en todo el periodo observado, de esta forma es posible identificar colonias con una baja recurrencia de eventos, pero con una alta intensidad.

A continuación, se identifican las 25 colonias con mayor problemática en cada una de las características mencionadas.

Tabla 11. Colonias con mayor frecuencia de encharcamientos en el periodo 2010-2018

Colonia de mayor recurrencia	Colonia	Cantidad de encharcamientos (2010-2018)
1	CENTRO	603
2	MOCTEZUMA 2A. SECCION	386
3	JARDINES DEL PEDREGAL	381
4	ROMA NORTE	327
5	FEDERAL	248
6	JARDIN BALBUENA	227
7	PENSADOR MEXICANO	206
8	ALAMOS	205
9	JUAREZ	205
10	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA	190
11	DOCTORES	186
12	AGRICOLA ORIENTAL	184
13	U VICENTE GUERRERO	181
14	NARVARTE ORIENTE	176
15	OBREERA	175
16	DEL VALLE NORTE	163
17	HEROES DE PADIERNA	162
18	MORELOS	162
19	LINDAVISTA	157
20	SAN JUAN DE ARAGON 4A Y 6A SECC	155
21	HIPODROMO	154
22	ROMA SUR	154
23	ERMITA ZARAGOZA	146
24	AGRICOLA PANTITLAN	143
25	GRANJAS MEXICO	142

Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX, 2018

Tabla 12. Colonias con mayor tirante promedio de los encharcamientos registrados en el periodo 2010-2018

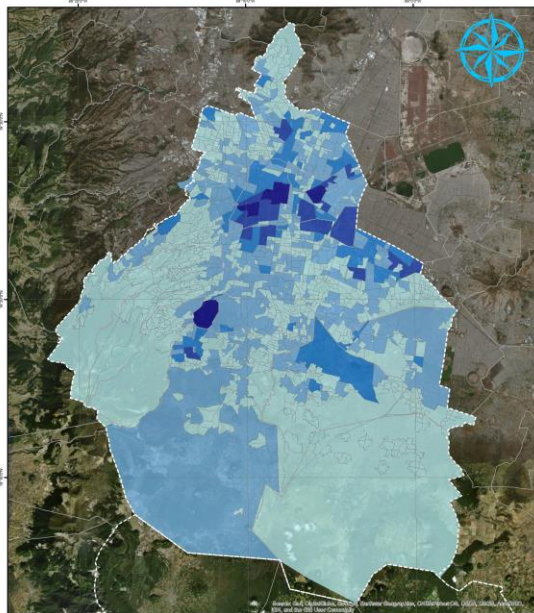
Colonia de mayor Tirante Promedio	Colonia	Cantidad de encharcamientos (2010-2018)	Tirante Promedio (mm)
1	PUEBLO SAN JUAN TLIHUACA	13	1540.0
2	VILLA DE CORTES	9	448.1
3	GRANJAS SAN JERONIMO	16	344.7
4	EXTREMADURA INSURGENTES	4	250.0
5	SAN JOSE BUENAVISTA	1	200.0
6	CONJ INFONAVIT CUEMANCO	10	165.5
7	AMPL TEPEPAN	2	135.0
8	TLAMACA	12	129.4
9	SAN PEDRO EL CHICO	15	111.9
10	TLAXPANA	49	108.1
11	NVO REN DE AXALCO	1	100.0
12	POLVORILLA	2	100.0
13	RANCHO DEL CARMEN DEL PUEBLO SAN BARTO	1	100.0
14	CAMPAMENTO DOS DE OCTUBRE	23	75.9
15	GERTRUDIS SANCHEZ 2A SECC	50	71.3
16	NATIVITAS	43	59.4
17	LAS PUERTAS	51	50.1
18	EL MOLINITO	1	50.0
19	JARDINES DEL LLANO	2	50.0
20	PASEO DE LAS LOMAS	1	50.0
21	SAN JUAN TICOMAN	1	50.0
22	UN HOGAR PARA CADA TRABAJADOR	9	45.6
23	AMPL PROGRESO NACIONAL	27	44.3
24	CAMPESTRE PALO ALTO	6	44.2
25	BUENAVISTA	80	42.8

Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX, 2018

3.7.1 Promedio de Intensidad de encharcamientos por Colonia

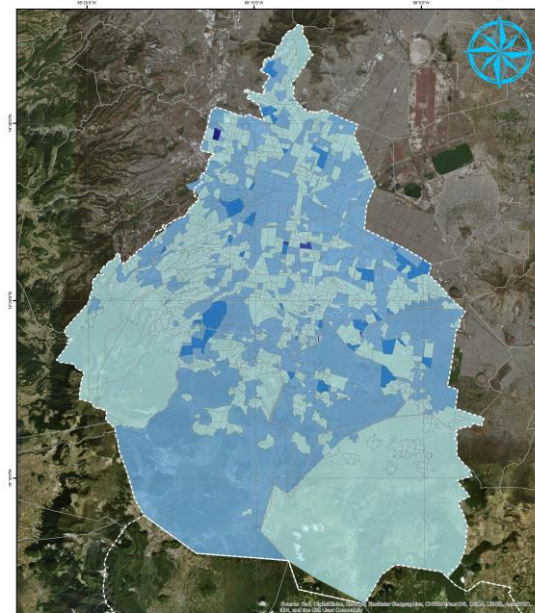
Como se puede observar en el mapa EC-01, las colonias del centro y la zona oriental de la ciudad de México son aquellas con mayor cantidad de eventos para el periodo de estudio, sin embargo, al contrastar el mapa con el EC-02 que identifica intensidad podemos evaluar que la intensidad de las inundaciones se encuentra mucho más dispersa por el territorio; lo que significa que mayor densidad de eventos no es equivalente a mayor intensidad.

Promedio de los encharcamientos por colonia 2010-2018 EC-01



Localización	Leyenda Promedio de encharcamientos	Parámetros Cartográficos
	<ul style="list-style-type: none"> 0 - 1 2 - 6 7 - 14 15 - 28 29 - 67 	Escala Numérica: 1:200,000 Proyección: Mercator Datum: WGS 1984 Meridiano central: 0 Falso Norte: 0 Eje semimayor: 6378137.0 Eje semenor: 6366752.31

Tirante promedio de los encharcamientos por colonia 2010-2018 EC-02



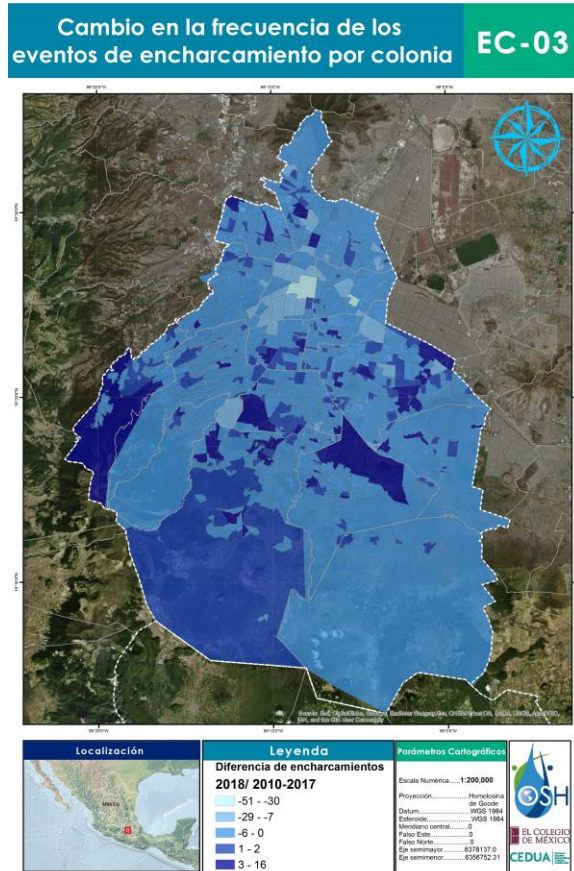
Localización	Leyenda Tirante promedio milímetros	Parámetros Cartográficos
	<ul style="list-style-type: none"> 0 - 5 6 - 19 20 - 67 68 - 158 159 - 556 	Escala Numérica: 1:200,000 Proyección: Mercator Datum: WGS 1984 Meridiano central: 0 Falso Norte: 0 Eje semimayor: 6378137.0 Eje semenor: 6366752.31

Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX, 2018. INEGI, 2018

3.7.2 Dinamismo de los Encharcamientos por colonia

Para finalizar, es relevante identificar las diferentes condiciones espaciales de los mecanismos que dan pie a las inundaciones pluviales en la Ciudad de México ya que, si bien la cantidad de eventos de encharcamiento ha disminuido a nivel estadístico, a nivel territorial se identifican colonias donde el fenómeno se ha incrementado de manera importante como se observa en el mapa de cambio en la frecuencia de encharcamientos por colonia EC-03 (el cual identifica la diferencia del promedio de eventos de encharcamiento de los años 2010-2017 a los encharcamientos registrados en el año 2018).

Se identifica que en la zona del centro de la ciudad la intensidad de los encharcamientos va a la baja y comienza a intensificarse en toda la periferia de la ciudad, específicamente en las zonas de mayor expansión urbana.

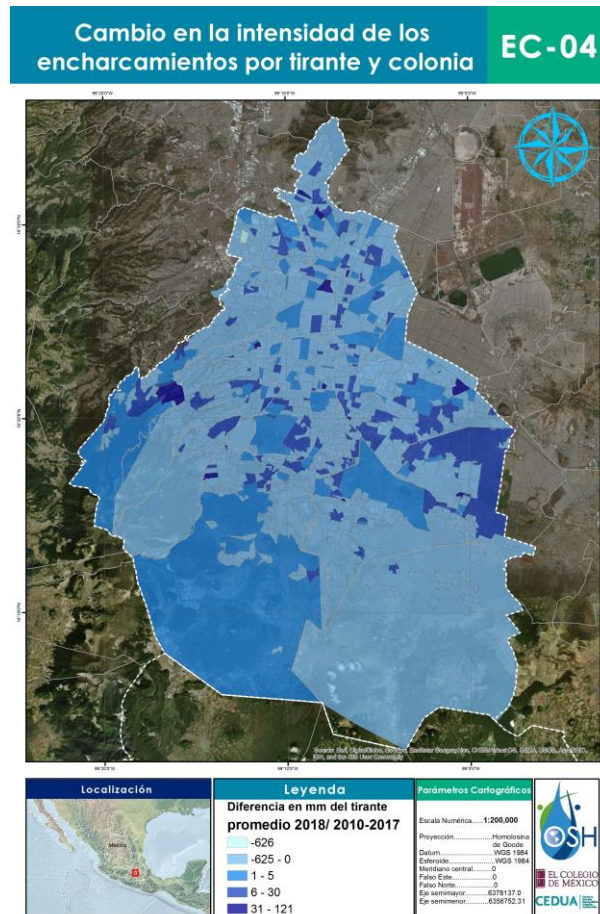


Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX, 2018. INEGI, 2018

El mapa EC-04 exhibe el cambio de la intensidad (tirante en mm) promedio de los encharcamientos que las colonias han asumido de los años 2010 a 2017 con respecto del año 2018. Es decir, identifica aquellas colonias donde se ha incrementado o disminuido el tirante en milímetros de los eventos de encharcamiento en el año 2018 con respecto al promedio del tirante de los años 2010 a 2017. Las colonias en azul oscuro identifican los espacios donde se ha incrementado la intensidad del fenómeno por lo tanto reflejan zonas de alerta y atención. Dichas colonias se sitúan en un corredor central que se extiende del sur al centro de la Ciudad de México.

Los mapas de cambio EC-03 y EC-04 resultan útiles para implementar acciones enfocadas a la mitigación y reducción de las colonias donde los eventos de encharcamientos poseen mayor frecuencia e intensidad. Una mayor recurrencia e intensidad de encharcamientos refleja áreas de inundaciones pluviales, las cuales de acuerdo con los datos del SACMEX han disminuido su frecuencia total, pero han incrementado su intensidad en los últimos años,

lo que pone en evidencia la necesidad de ejecutar políticas en materia de Seguridad Hídrica que den paso a la resolución de problemas complejos en materia de manejo de recursos hídricos.



Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX, 2018. INEGI, 2018

Los encharcamientos en la ciudad presentan una reducción general en la cantidad de eventos registrados, siendo las zonas de mayor frecuencia acumulada aquellas donde se ha reducido la reincidencia para el año 2018, es importante reconocer que, por los antecedentes hay que clasificar estas zonas de la ciudad como áreas con mayor exposición a encharcarse y dónde, el drenaje es insuficiente para dar alivio a la cantidad de agua acumulada en eventos hidrometeorológicos.

La recurrencia del fenómeno se concentra en el centro y las zonas periféricas del oriente de la Ciudad de México, su ocurrencia ha aumentado en regiones al sur de la ciudad,

específicamente el corredor habitacional Viaducto-Tlalpan y el nororiente de la ciudad, donde en los años 2017, 2018 se ha intensificado la densidad de eventos de encharcamiento. La Ciudad de México en los últimos años ha sufrido un aumento exponencial en el desarrollo de complejos habitacionales verticales, los cuales inciden en la operación y suficiencia de la red de drenaje actual.

La causa de mayor recurrencia registrada por SACMEX es la identificada en la base cómo “inexistente al momento de la inspección”, lo que quiere decir que en su momento no se encontró razón para la interrupción de la operación del drenaje, alguna falla o deficiencia en la infraestructura, sobre la cual habrá que indagar más. Este hecho descarta una coladera obstruida como causa física del fenómeno, así como la insuficiencia de la misma, ya que dichas causas se encuentran registradas en la base de datos. Es posible que dicha causa sea un indicativo de un funcionamiento retardado de la red de drenaje que fomente acumulaciones de agua en superficie las cuales no tienen otra causa física más que una operación retrasada del sistema. Si este fuera el caso, tal como se observa en su respectivo mapa evidencia que la causa se encuentra presente, con mayor dispersión en toda la Ciudad de México, pero concentrada en la zona sub-horizontal del valle.

Las causas de insuficiencia de atarjea y colector, así como grieta son aquellas que se relacionan directamente con insuficiencia en la dotación de infraestructura de drenaje, y pese a que han ido disminuyendo a lo largo del tiempo en recurrencia, han ido aumentando en intensidad, lo que significa que su incidencia, pese a ser menor es de mayor potencial para generar afectaciones en la ciudad.

Las causas que refieren un sistema de drenaje obstruido, son aquellas que se han asociado a la cultura de la ciudadanía, la presencia de basura en las calles y la falta de atención a los desechos que se arrojan al drenaje, específicamente la causa de Coladera obstruida se encuentra muy relacionada con la zona de mayor funcionalidad económica en la ciudad (el corredor Reforma-Insurgentes), lo que permite concluir que en efecto, el dinamismo social, los flujos y procesos económicos tienen un impacto directo en el drenaje, y qué es imperativo promocionar una cultura de la prevención enfocada a la generación de mejores prácticas en materia de gestión de residuos.

La intensidad del fenómeno medida a través del tirante (nivel de altura del agua) revela un incremento en el periodo de estudio (2010-2018), lo que indica un aumento en el nivel de afectación al que la población se encuentra expuesta, esto es muy importante de señalar pues, si bien el fenómeno en términos de recurrencia ha ido a la baja se ha intensificado en términos de afectación potencial. Los datos de lluvia para el periodo de estudio revelan que la cantidad e intensidad de inundaciones no necesariamente se encuentra relacionadas con la cantidad de lluvia precipitada sobre la ciudad, claro ejemplo es el año 2014.

El desarrollo del análisis por causas distingue una relación más estrecha del fenómeno con los procesos socioeconómicos que con los precursores y condicionantes físicas (sin descartar el contexto geofísico de la cuenca del valle de México y su sistema endorreico como causa primigenia). La densificación habitacional de la ciudad, el proceso de crecimiento vertical y la incesante densificación económica son causas igual de importantes para las inundaciones y encharcamientos que los fenómenos perturbadores de origen hidrometeorológico detonantes.

En conclusión, en la Ciudad de México ha aumentado la intensidad del fenómeno de la mano de la vulnerabilidad social y física construida a partir de una densificación de los sistemas expuestos que rebasa las capacidades instaladas para lidiar con la amenaza de los encharcamientos y las lluvias extremas.

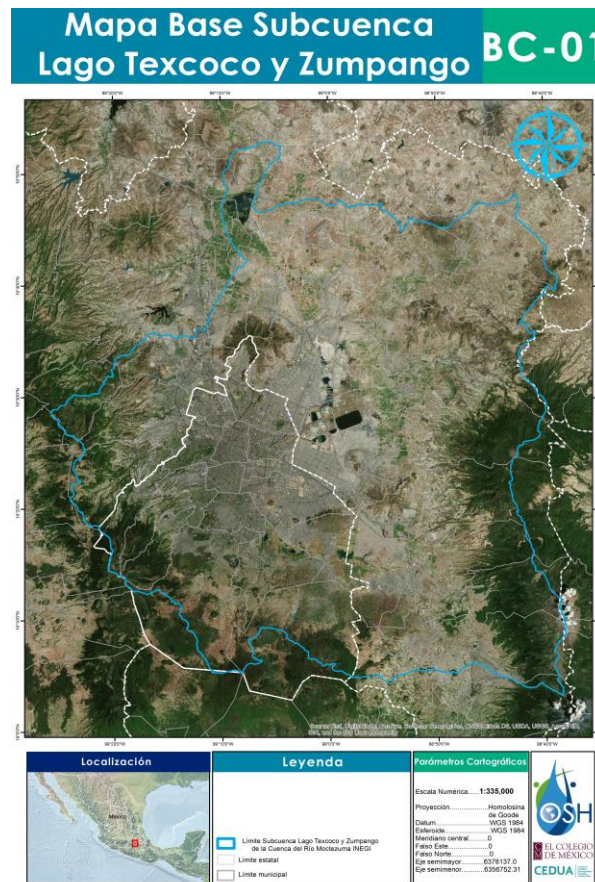
Las áreas de oportunidad de mejora de la Ciudad de México en cuanto a la prevención de encharcamientos deben centrarse en desarrollar programas enfocados a reducir la exposición y vulnerabilidad del sistema, enfocándose en las zonas donde el dinamismo económico y social sea mayor para promover una cultura de la prevención y fomentar una cultura resiliente, donde todos los componentes del sistema se articulen para generar una red de prevención y atención de riesgos en materia de seguridad hídrica.

4. ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LOS FLUJOS SUPERFICIALES Y LA ACUMULACIÓN SOBRE SUELO URBANO MODIFICADO EN LA CIUDAD DE MÉXICO

El análisis hidráulico identifica la susceptibilidad de los flujos superficiales y la acumulación sobre suelo urbano modificado en la Ciudad de México.

4.1 Mapa Base

En el análisis de los flujos superficiales se utilizará la delimitación de la subcuenca Lago de Texcoco y Zumpango perteneciente a la Cuenca del Río Moctezuma, delimitadas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en el Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas (SIATL), 2010.



Fuente: Elaboración propia con información del INEGI, 2011

Las inundaciones pluviales son producto de la acumulación de flujos superficiales asociados a precipitaciones intensas y a la capacidad de drenaje o infiltración de determinado territorio, por lo que asumen un componente topográfico muy importante.

En un entorno modificado como el de la ciudad de México, caracterizar la red de escorrentías superficiales ayuda a comprender el comportamiento de las ramificaciones de los cauces, las tendencias de acumulación y la dirección general del agua, lo que permite, en términos generales identificar zonas con mayor probabilidad a la acumulación del agua, por ende, de inundaciones pluviales.

A esta caracterización de probabilidad de acumulación la definiremos como *susceptibilidad* del fenómeno, pues es una característica siempre presente cuya expresión será condicionada por factores naturales (infiltración) y antrópicos (drenaje) incidentes en el marco de la topografía de la ciudad.

El mapa resultante es un análisis hidráulico del potencial de acumulación de flujos sobre un Modelo Digital de Superficie basado en los ramales de las escorrentías superficiales clasificados por orden tributario y el potencial de acumulación de agua definido mediante el Índice Topográfico de Humedad elaborado con un Modelo Digital de Terreno (Ver Anexo III. Aspectos metodológicos. C) Metodología para la identificación de Susceptibilidad ante Inundaciones Pluviales)

El primer paso para la generación del mapa de susceptibilidad es identificar el área de la cuenca que define la ciudad de México. La *cuenca hidrológica* es la unidad básica de los estudios hidrológicos, se puede definir como aquella superficie del terreno donde fluye el agua de las precipitaciones o de la nieve derretida, y converge en un área de terreno bajo donde el flujo se une a un cuerpo de agua como un río, un lago, un estuario, un mar o en el océano, es decir es aquella área drenada por los flujos de agua que en determinado punto se unen y desembocan hacia otro cuerpo de agua. “Las cuencas hidrográficas son espacios territoriales delimitados por un parteaguas (partes más altas de montañas) donde se concentran todos los escurrimientos (arroyos y/o ríos) que confluyen y desembocan en un punto común llamado también punto de salida de la cuenca”. (Cotler, et. al., 2013:7).

Existen diversas delimitaciones territoriales oficiales que inciden en la gestión del agua, en donde la Ciudad de México se localiza, como la jurisdicción que abarca el Organismo de Cuenca Valle de México identificado en el Mapa IC-01, el área concretada por el INECC mostrado en el mapa IC-02, la Subcuenca Lago de Texcoco y Zumpango perteneciente a la Cuenca del Río Moctezuma ambas delimitadas por el Instituto Nacional de Estadística y

Geografía (INEGI) en el Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas (SIATL), 2010, expuesta en el mapa IC-03, entre otras delimitaciones oficiales. (Ver Anexo III. Aspectos metodológicos. C) Metodología para la identificación de Susceptibilidad ante Inundaciones Pluviales. Apartado “definición de cuenca de estudio”)

Sin embargo debido a la delimitación próxima y pertinente a la demarcación política, la escala de análisis que este trabajo opta por analizar es la unidad de Subcuenca, ya que como lo reconoció el INECC “la Subcuenca es la unidad de planeación-gestión para la atención a problemas relacionados con calidad ambiental y mejoramiento de calidad de vida” (Cotler & Pineda, 2007), y por el perfil de referente cartográfico que caracteriza al INEGI; esta investigación toma del Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas (SIATL)⁷ del INEGI a la *Subcuenca del Lago de Texcoco y Zumpango* perteneciente a la *Cuenca del Río Moctezuma* como el área de estudio del análisis hidráulico de los flujos superficiales sobre suelo urbano modificado en la Ciudad de México (Ver Mapa IC-03). El objetivo es definir un área útil que ejemplifique el nacimiento de los ramales de agua que repercuten o tienen incidencia en la ciudad de México.

Para esta investigación la modelación hidrológica de la subcuenca es definida con base en un Modelo Digital de Elevación (DEM) de alta resolución LIDAR sobre el cual se estimaron diferentes parámetros relativos a los flujos superficiales dentro de un Sistema de Información Geográfica (SIG), al utilizar distintas herramientas de Hidrología en ArcMap. Dichas herramientas se encuentran disponibles con una licencia de Spatial Analyst, se utilizan para modelar el flujo de agua a través de una superficie.

Dentro del análisis hidrológico se emplearon MDT LIDAR para el cálculo del Índice Topográfico de Humedad (ITH) de la subcuenca estudiada, proceso que se detalla en el Anexo III. Aspectos metodológicos. C) Metodología para la identificación de Susceptibilidad ante Inundaciones Pluviales. Apartado “Índice Topográfico de Humedad (ITH)”, y con los MDS LIDAR se modelaron los flujos superficiales.

⁷ El SIATL, como en su página oficial se describe, es “una aplicación geoespacial diseñada para el estudio de cuencas y cálculo de caudales en ríos y arroyos, que integra diversas capas de información y funciones que facilitan la disseminación del conocimiento del territorio de México”. La información espacial obtenida de esta fuente fue publicada en el año 2010.

En el caso de la Ciudad de México, al tratarse de un entorno urbano, para representar de la forma más precisa el relieve y sus componentes hidráulicos, es necesario utilizar un Modelo Digital de Superficie (MDS), pues éste integra información de la infraestructura urbana, es decir la traza de las calles y demás estructuras, ya que es muy posible que los flujos dependan de la traza urbana.⁸

Para poder emplear el MDS, es imperativo acondicionar el terreno a través de la herramienta Rellenar sumideros⁹.

Una vez verificado el relleno de sumideros, se ejecuta una clasificación por pixel de la dirección del agua, este proceso se le llama ***dirección de flujo***, insumo que será el base para la identificación de los ramales y cauces con mayores acumulaciones de agua.

El siguiente paso en la identificación de susceptibilidad es estimar la ***acumulación de flujo*** para poder identificar conforme a la dirección de flujo donde convergen dos direcciones iguales, es decir, donde existen dos pixeles contiguos que fluyen en la misma dirección y que delimitan una red de arroyos superficiales desde los parteaguas y hasta la salida de la cuenca. (Ver Anexo III. Aspectos metodológicos. C) Metodología para la identificación de Susceptibilidad ante Inundaciones Pluviales. Apartado “acumulación de flujo”)

Después de identificar la red de escorrentías de la cuenca y sus afluentes el siguiente paso es la clasificación del Orden de escorrentías por cantidad de ramales y potencial de acumulación.

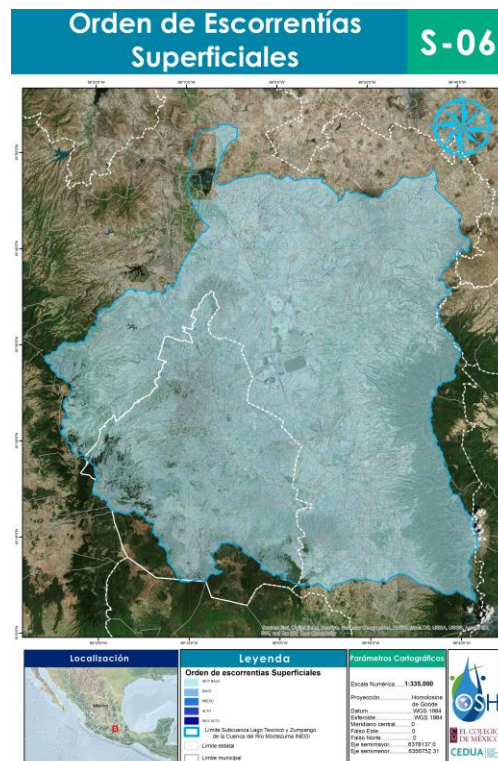
El Orden de clasificación de la red Hidrográfica definida, ofrece la identificación de aquellas áreas no solo de mayor acumulación sino donde la confluencia de los ríos de desigual orden

⁸ Por dicha condición se condicionó en el proceso de rellenar sumideros, pues se estableció el parámetro en el SIG de que solamente se rellenaran aquellos sumideros que presentaran una diferencia vertical superior a 2.4 metros, considerando que esa es la altura estándar de una vivienda, ya que de acuerdo con el Reglamento de construcción de la ciudad de México la altura mínima de una vivienda con solo planta baja es de 2.4 metros y con un solo nivel de construcción (planta baja y 1 nivel) es de 4.8 metros.

⁹ La herramienta ***rellenado de Sumideros*** suaviza el cambio abrupto de pendiente, como se observa en el mapa IC-07 las áreas marcadas con color rojo son las áreas bajas que fueron rellenadas, es decir que el SIG no las identifica igual a las partes más bajas, las toma como “menos bajas”, de acuerdo a la altitud alta o baja con respecto a la mayor altitud del área de estudio le agrega altitud a las distintas áreas. Los metros que relleno se marcan en el mapa, en el caso de esta cuenca al emplear el MDS la distancia vertical más grande que relleno es de 674.2 m en las áreas rojas para mantener el flujo del agua y no se tome como sumidero. Este proceso se efectúa para ajustar tanto el MDT como el MDS, en el de MDT las elevaciones son más abruptas y en el MDS el parámetro de ajuste es el antes referido 2.4 metros (altura mínima de una vivienda).

aporta más agua a los arroyos superficiales. La clasificación de arroyos o escorrentías es un método que asigna un orden numérico a los vínculos en una red de arroyos. Dicho método permite identificar y organizar los tipos de arroyos o escorrentías basadas en la cantidad de afluentes. (ESRI/ArcMap, 2016c). Dentro del SIG con dicha herramienta, **Clasificación de arroyos**, se elaboraron dos métodos de clasificación de orden, los propuestos por Strahler (1957) y Shreve (1966). (ESRI/ArcMap, 2016c). (Ver Anexo III. Aspectos metodológicos. C) Metodología para la identificación de Susceptibilidad ante Inundaciones Pluviales. Apartado “Orden de flujos”)

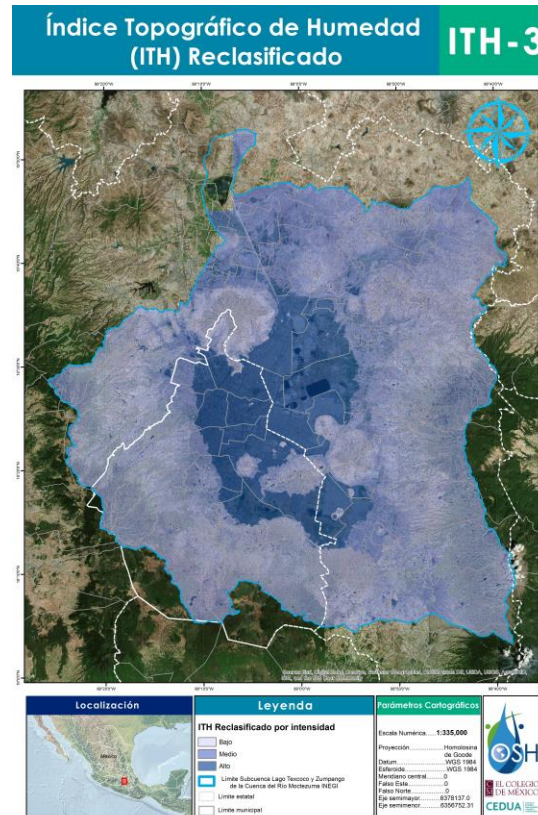
Ambos métodos se integraron en un mapa final, lo que resultó en una modelación con mucha precisión, al tener una distribución de escorrentías que permite clasificar las zonas de mayor o menor potencial de acumulación de flujos superficiales, elemento que se considera un indicador de susceptibilidad en la identificación del riesgo ante inundaciones pluviales en la ciudad. El resultado de la modelación de la Subcuenca Lago de Texcoco y Zumpango, el área de estudio, se observa en el mapa S-06 “Orden de escorrentías superficiales” y que será integrado con el Índice Topográfico de Humedad. (Ver Anexo III. Aspectos metodológicos. C) Metodología para la identificación de Susceptibilidad ante Inundaciones Pluviales.)



Fuente: Elaboración propia con información del INEGI, 2011

4.2 Índice Topográfico de Humedad

El Índice Topográfico de Humedad (ITH o TWI por sus siglas en inglés; *Topographic Wetness Index*) expresa la tendencia que tiene determinado suelo a la generación de escorrentías, debido a que los perfiles con mayor humedad son más proclives a saturarse, la presencia de precipitación sobre los suelos con mayor humedad puede convertirse con mayor facilidad en escorrentía. El valor de este índice refleja la concentración de humedad que presenta determinado territorio o celda en función de su configuración topográfica (Roa Lobo y Kamp, 2012). (Ver Anexo III. Aspectos metodológicos. C) Metodología para la identificación de Susceptibilidad ante Inundaciones Pluviales. Apartado “Índice Topográfico de Humedad (ITH)”)



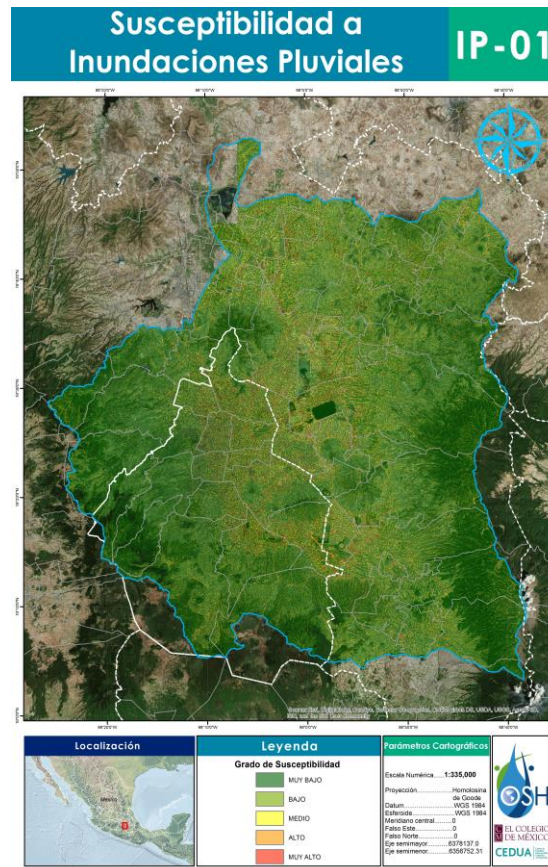
Fuente: Elaboración propia con información del INEGI, 2011

4.3 Susceptibilidad a inundaciones pluviales

La cartografía de susceptibilidad ante inundaciones pluviales es el producto de los mapas resultantes de los dos procesos anteriormente descritos, producto de los Modelos Digitales de Superficie (MDS) y los Modelos Digitales de Terreno (MDT) procesados en la Subcuenca

Lago Texcoco y Zumpango, el mapa del *orden de escorrentías superficiales* (que detalla la susceptibilidad ante escorrentías categorizando la acumulación de los flujos superficiales tomando en cuenta la superficie modificada del área de estudio) y el *Índice Topográfico de Humedad* (que identifica el potencial de acumulación de humedad). (Ver Anexo III. Aspectos metodológicos. C) Metodología para la identificación de Susceptibilidad ante Inundaciones Pluviales.)

Como es posible observar en el Mapa IP-01 la zona oriental de la Ciudad de México presenta mayor superficie con mayor grado de susceptibilidad ante la ocurrencia de inundaciones pluviales, no obstante, algunas zonas en el centro y en el noroeste se marcan con grados medios, altos y muy altos de susceptibilidad, aunado a lo anterior es posible distinguir escorrentías que identifican áreas altamente susceptibles a sufrir inundaciones pluviales en áreas al sur de la ciudad. La identificación de la *susceptibilidad* ante inundaciones pluviales presente en el territorio correspondiente a la Ciudad de México es la primera fase en el reconocimiento integrado del riesgo.



Fuente: Elaboración propia con información de los productos cartográficos generados en este apartado

4.4 Estimación de pérdidas económicas

El impacto que puede tener un desastre está en constante aumento debido al incesante crecimiento demográfico y urbano, los diversos modelos de desarrollo impuestos a nivel global, entre otros muchos aspectos, por lo cual resulta necesaria la existencia de un conjunto de herramientas que midan la naturaleza y la cuantía de las pérdidas asociadas a los distintos tipos de desastres, así como sus efectos sociales, económicos y ambientales (Pérez, 2007).

El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) reconoce en nuestro país la medición de las afectaciones de impacto social y económico provocadas por la ocurrencia de fenómenos de origen natural o antrópico a través de los *daños y pérdidas* derivadas del acontecimiento de dichos fenómenos cuya presencia puede producir desastres de diferentes dimensiones. El CENAPRED mide el impacto que tiene un evento en el territorio de acuerdo con la metodología desarrollada por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) como lo menciona en su serie de publicaciones especiales tituladas: “Impacto Socioeconómico de los Principales Desastres Ocurredos en México” en su versión 2016 y 2017. La CEPAL en su *Manual para la evaluación del impacto socioeconómico y ambiental de los Desastres* publicado en 2003 distingue los conceptos de daños y pérdidas, el primer término lo define como destrucción de acervos y las pérdidas como la alteración de flujos, es decir las afectaciones en la producción de bienes y servicios y/o lucro cesante, resultado de la paralización de las actividades económicas ocurridas a raíz del desastre. (CEPAL, 2003 p.9, CENAPRED, 2016 p.5, CENAPRED, 2017, p.5).

La metodología de evaluación propuesta por la CEPAL tiene como objetivo estimar el coste económico de los desastres para llevar a cabo una orientación de los recursos a lo largo de las fases de emergencia, rehabilitación y reconstrucción, remarca la importancia de la medición de las pérdidas económicas causadas por la destrucción, interrupción de servicios y actividades de la economía, los efectos negativos que el desastre puede tener sobre el funcionamiento normal de la misma (Pérez, 2007).

Según la CEPAL los *daños* pueden ser directos o indirectos en el medio ambiente en el que se desarrollan los efectos de los desastres ocasionados por los fenómenos naturales o antrópicos, conforme al uso, no uso o beneficio que los seres humanos obtenemos de los recursos naturales. Los valores de uso directo provienen del uso consuntivo y no consuntivo

de los recursos del medio ambiente, un ejemplo del primer tipo de uso es la utilización de leña y del segundo tipo las actividades turísticas. Por su parte, los valores de uso indirecto se constituyen de los beneficios que la población disfruta del entorno indirectamente, como resultado de la función ecológica de un recurso natural, por ejemplo, el valor de uso indirecto de un humedal surge de su contribución a la filtración de agua que después se utiliza aguas abajo. (CEPAL, 2003, p.1)

Los daños también pueden identificarse con valoración monetaria y sin ella, cuando no poseen la variable monetaria son descritos o evaluados de forma cualitativa, su evaluación monetaria se puede realizar con valoraciones sectoriales, las cuales pueden implicar daños a la salud, a un sector económico, a la infraestructura física, cambios ambientales, entre otros. (CEPAL, 2003, p.1-36).

4.5 Clasificación y definición de efectos del desastre

Los efectos derivados de un fenómeno natural se pueden clasificar en tres tipos: directos, indirectos y macroeconómicos. Los primeros (efectos *directos*) se generan al momento o en un corto tiempo de la ocurrencia del desastre, mientras que los *indirectos* y *macroeconómicos* se pueden manifestar a lo largo de un periodo temporal el cual, dependiendo de la magnitud del fenómeno, puede extenderse durante aproximadamente cinco años después de la incidencia del fenómeno natural (CEPAL, 2003).

De acuerdo con la CEPAL, 2003 los efectos directos son más sencillos de identificar y evaluar que los efectos indirectos, pues estos últimos se manifiestan en periodos de tiempo variables después del desastre, lo que dificulta su evaluación, la cual muchas veces resulta improbable de cuantificar en unidades monetarias. No obstante, ambos tipos de efectos (directos e indirectos) pueden acumularse para estimar la magnitud del total de los daños. Por su parte los efectos macroeconómicos miden las repercusiones sobre el funcionamiento de la economía y los desequilibrios macroeconómicos atribuibles al evento, por ello añadirlos a las otras dos clasificaciones de efectos podría suponer incidir en duplicidades.

Los *efectos directos* se refieren a los activos inmovilizados y a las existencias, de los bienes finales y en proceso, un ejemplo de estos deterioros es la destrucción total o parcial de la producción de bienes de una actividad económica, de infraestructuras físicas, instalaciones, edificios, maquinaria, medios de transporte y almacenaje, equipos, mobiliario, deterioros en

tierras de cultivo, en sistemas de regadío, entre otros. Para la estimación y cálculo de sus efectos se debe distinguir entre daños al sector público y daños al sector privado para estipular sobre quién reincidirá el coste de la restauración del activo (CEPAL, 2003).

Los *efectos indirectos* se remiten a los flujos de servicios y bienes que dejan de producirse o prestarse después de la ocurrencia del desastre y que puede prolongarse hasta el proceso de rehabilitación y reconstrucción del bien o servicio que se resultó afectado, por un máximo de cinco años después de la incidencia del desastre. (CEPAL, 2003). Este tipo de efectos deriva de la ocurrencia de los efectos directos sobre la capacidad productiva y la infraestructura social y económica.

Cabe aclarar que existen efectos indirectos que producen beneficios para la población, los cuales pueden ser valorados y deben restarse de la estimación total de daños o pérdidas originadas de una catástrofe, un ejemplo de esto fue la formación de temporal de tierras fértiles derivadas de una inundación prolongada y extensa en un país sudamericano ocasionada por el fenómeno *El Niño*, que antes del desastre no eran aptas para el cultivo, por lo que la producción de dicha cosecha puede considerarse como un beneficio procedente del fenómeno. También pueden presentarse efectos indirectos difíciles de identificar e imposibles de cuantificar, efectos intangibles como el sufrimiento humano, la solidaridad, la inseguridad, entre otros factores que incurren en el bienestar social y aquellos que podrían medirse en valor monetario, pero para ello se requiere un tiempo que excede del disponible para realizar la evaluación, como ejemplo las oportunidades no realizadas por el impacto del desastre en la estructura y funcionamiento de las actividades económicas, las pérdidas de capital humano resultado de las víctimas y damnificados, etc.

En el Manual para la evaluación del impacto socioeconómico y ambiental de los Desastres de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) enumera los siguientes aspectos como los principales efectos indirectos resultados de la ocurrencia de un desastre:

- Incremento de los costes operativos asociados a la destrucción de las infraestructuras físicas y de los inventarios.
- Menor producción o prestación de servicios por la paralización, total o parcial, de las actividades.

- Costes derivados de la utilización de medios alternativos para la producción o prestación de servicios (costes de transporte originados por la necesidad de utilizar vías o medios alternativos de comunicación más largos o costosos o de menor calidad, entre otros)
- Costes derivados de la reasignación presupuestaria después del desastre.
- Costes derivados de atender a la población afectada durante la fase de emergencia y de afrontar situaciones tales como campañas sanitarias para prevenir epidemias.
- Pérdidas de ingresos por no poder prestar servicios (de electricidad, agua potable, etc.), total o parcialmente.
- Pérdidas de producción o ingresos derivados de una reacción en cadena (como la reducción en las actividades de los proveedores que no disponen de mercados alternativos donde colocar sus productos, etc.).
- Costes o beneficios derivados de los efectos del desastre que son absorbidos por terceros no damnificados directamente (como los costes de contaminación medioambiental, etc.).

Los efectos macroeconómicos se refieren a la incidencia del desastre sobre el comportamiento de las principales variables macroeconómicas de un país, valora el impacto que determinado desastre puede ocasionar sobre los objetivos económicos que la nación pretendía alcanzar y cómo dicho acontecimiento condiciona la capacidad del país para afrontar las tareas de rehabilitación y reconstrucción.

Según el Manual para la evaluación del impacto socioeconómico y ambiental de los Desastres de la CEPAL un tiempo razonable de estimación de los efectos macroeconómicos es al corto plazo durante el año en el que ocurrió el siniestro y al mediano plazo en uno o dos años después, por máximo cinco años (CEPAL, 2003).

Las principales variables de los efectos macroeconómicos ocasionados por los desastres según la CEPAL (2003) son el Producto Interno Bruto, la inversión bruta, la balanza de pagos, las finanzas públicas, los precios e inflación y el empleo. Los aspectos metodológicos que considera para la estimación de cada variable se aprecian a continuación:

Producto Interno Bruto: Orienta la estimación del PIB a nivel sectorial, la cual debe considerar los valores de producción existentes antes y después del desastre, para con dicha información proyectar las pérdidas derivadas del siniestro.

Inversión bruta: El análisis de esta variable considera los proyectos en marcha que se suspenden por el desastre y las pérdidas de existencias, así como los requerimientos de inversiones sectoriales para restaurar los daños ocasionados por el siniestro durante los próximos cinco años.

Balanza de pagos: El impacto en la producción económica (su posible reducción) puede limitar la exportación e importación de artículos, lo que incidirá en la balanza comercial y de pagos. Por ello la cuenta corriente debe calcularse en el año del desastre a partir de las informaciones sectoriales sobre menores exportaciones de bienes y servicios, mayores importaciones indispensables durante la fase de recuperación y reconstrucción, importe de los pagos que provienen del exterior, así como la posible reducción en el pago de intereses de la deuda externa. La cuenta de capital debe estimarse considerando los requerimientos de financiación externa a medio y largo plazo relacionados a los proyectos de inversión prioritarios en el proceso de reconstrucción y considerando el complemento financiero externo necesario procedente del posible agravamiento del desequilibrio en la cuenta corriente por la ejecución de dichas acciones.

Finanzas públicas: Considera el incremento de los gastos del sector público derivados de las etapas de emergencia y rehabilitación del desastre, así como la posible reducción de ingresos fiscales, ocasionados por la menor recaudación tributaria originada de la menor producción y exportación, o la posible supresión de impuestos para aliviar la presión a sectores muy afectados por el evento.

Precios e inflación: Los precios pueden incrementarse por la escasez ocasionada por el desastre o la especulación, originando el proceso inflacionario. La evaluación de estas variables debe considerar sectorialmente el efecto que las restricciones en la oferta pueden tener sobre el precio de los bienes y servicios que posiblemente abastecerán por medios alternativos.

Empleo: Se debe evaluar de forma sectorial, para apreciar los efectos derivados de la destrucción de la capacidad productiva y considerar las nuevas demandas de personal necesarias durante la emergencia y la rehabilitación del evento.

Las *pérdidas* según la CEPAL y el CENAPRED remiten a las afectaciones que sufrieron los bienes de los sectores público, privado y social. En la mayoría de los casos están valorados a costo de reposición, según el valor de mercado. (CEPAL, 2003 p.9, CENAPRED, 2016 p.5, CENAPRED, 2017, p.5)

El CENAPRED en conjunto con el Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC) en su “Guía básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Conceptos básicos sobre peligros, riesgos y su representación geográfica” considera que hay *pérdidas* humanas y materiales, éstas últimas tienen una implicación económica. Por tanto, los escenarios de afectación pueden remitirse a calcular las pérdidas económicas producto de la incidencia de un fenómeno dentro de un determinado territorio, donde la pérdida puede relacionarse a un bien expuesto. (CENAPRED, 2006)

Este estudio retoma la definición del CENAPRED en cuanto al entendimiento de *pérdida* como “las afectaciones en la producción de bienes y servicios y/o lucro cesante, resultado de la paralización de las actividades económicas ocurridas a raíz del desastre” (CENAPRED, 2016 p.5, CENAPRED, 2017, p.5) y su posible cuantificación. Debido a la dificultad que supone definir un parámetro de medición del valor de producción de los bienes y servicios de una región, este análisis se remitirá a la distinción de la distribución de los valores de producción económica obtenidos según las fuentes de información disponibles, es decir la cuantificación y valoración real que se tiene y asigna a la producción de los subsectores económicos dentro de la ciudad. Cabe aclarar que este análisis deja fuera la valuación de las viviendas particulares lo que lo hace perfectible, pero da una aproximación de las áreas prioritarias de atención en la Ciudad de México, de aquellas zonas más susceptibles a experimentar una pérdida en el valor de producción económica actual.

Estimar las posibles pérdidas derivadas de los fenómenos naturales, en específico de las inundaciones en la ciudad, es un dato de gran relevancia que contribuye a la seguridad hídrica de la metrópoli ya que es una problemática vigente en nuestro país, pues de acuerdo con datos del CENAPRED a nivel nacional la cuantificación de las pérdidas producidas por fenómenos

naturales durante los últimos 20 años del siglo pasado señala un promedio anual de 500 vidas humanas y 700 millones de dólares. (CENAPRED, 2014, p.9)

4.6 Estimación de producción económica

Para la estimación de producción económica se emplearon dos fuentes de información principal; el directorio estadístico nacional de unidades económicas (DENUE) 2019¹⁰ y el Censo económico 2014¹¹ del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). El *DENUE* alberga la información de los giros mercantiles de la Ciudad de México registrados por las cámaras de comercio y clasificados de acuerdo al Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN).

El SCIAN contiene el acervo de clasificaciones económicas que emplea la información del INEGI desde los Censos Económicos del año 1999 con la primera versión en México 1997 de este clasificador.

El SCIAN es un clasificador regional que permite la compatibilidad y coordinación de la construcción y actualización de la información referente a las actividades económicas de los Estados Unidos, Canadá y México, indispensable para dichas naciones al ser miembros de una zona de libre comercio. Se han desarrollado distintas revisiones de las versiones publicadas del SCIAN para responder al acuerdo trilateral de actualización quinquenal del sistema tomado por las agencias nacionales de estadística de los tres países para mantener la vigencia del clasificador donde cada nueva versión sustituye a la anterior. Las versiones

¹⁰ La estructura de la base de datos del DENUE incluye un campo con personal ocupado en el giro económico el cual, de acuerdo con el diccionario de datos se compone del personal contratado directamente por la razón social y el personal ajeno suministrado por otra razón social que trabajó para la unidad económica, puede ser personal de planta, eventual remunerado o no remunerado. (INEGI, DENUE, 2019)

Las unidades económicas se catalogan por rangos de personal ocupado, los cuales identifican el tamaño de Unidades Económicas de acuerdo al número de personal que emplean, según su personal ocupado total.

¹¹ La segunda fuente de información económica es el *Censo económico 2014*, la más reciente actualización del censo publicada por INEGI, donde se obtuvieron los datos de producción bruta total por subsector clasificados conforme al SCIAN. Dicho censo representó el decimotavo evento censal y su objetivo radicó en obtener información estadística básica, cuyos datos se refieren a las actividades que se llevaron a cabo entre el 1 de enero y el 31 de diciembre del año 2013 sobre todos los establecimientos productores de bienes, comercializadores de mercancías y prestadores de servicios, para generar indicadores económicos de México a un gran nivel de detalle sectorial, temático y geográfico. (INEGI, 2019).

publicadas son del año 1997, 2002, 2007, 2012 y el SCIAN 2017 (Canadá y Estados Unidos) /SCIAN 2013 y SCIAN 2018 (México), en el caso de las últimas versiones publicadas de manera diferenciada entre los tres países cabe aclarar que se trata del mismo clasificador el cual detalla denominaciones diferentes. (SCIAN, 2018)¹².

Para este estudio se manejó la información estadística desagregada hasta *subsistema* ya que de manera general permite una agrupación de las unidades económicas conforme una tipología funcional para distinguir las actividades económicas y su distribución.

El banco de datos del DENUÉ del INEGI contiene georreferenciada cada unidad económica clasificada conforme al SCIAN, lo que significa que asume una coordenada territorial que será el elemento base para el análisis de la distribución espacial de la producción por subsector.

Cabe aclarar que la fuente tomada para este estudio, los Censos Económicos 2014, tuvieron una cobertura geográfica diferenciada, en la cual las actividades de Pesca y acuicultura; Minería; Electricidad, agua y gas; Construcción; Transportes, correos y almacenamiento, así como Servicios financieros y de seguros se recopilaron en todo el territorio nacional. Por su parte la información relativa de las actividades de Manufacturas, Comercio y Servicios no financieros se recopiló de manera censal en las áreas geográficas económicamente más grandes e importantes del país y a través de una muestra en las áreas rurales, ya que en estas zonas este tipo de actividad económica es reducida.

¹² El SCIAN es un instrumento teórico que ordena las actividades económicas en distintas categorías las cuales se construyen a partir de la búsqueda de características compartidas, tiene alcances y limitaciones como cualquier otro clasificador pues no refleja todos los modelos de negocios existentes en la economía, ya que los negocios diversifican cada vez más su producción y se dificulta determinar un número preciso de categorías que las distribuya en una gran de categorías en donde las estadísticas generadas sigan resultando significativas, de ahí la relevancia de su continua revisión.

El SCIAN trata de responder a las necesidades de clasificación de información de los usuarios, se utiliza para recopilar información de diversas unidades económicas, como negocios, hogares, personas físicas, puede ser utilizado por instituciones del sector público y privado. Tiene una estructura jerárquica que permite a los programas estadísticos adoptar el nivel que responda a sus necesidades.

El SCIAN está integrado por 20 sectores de actividad; cinco sectores corresponden a productores de bienes y 15 a productores de servicios. La estructura jerárquica del SCIAN está compuesta por cinco niveles de desagregación: sector, subsector, rama, subrama y clase de actividad. Los cuatro primeros niveles son comunes entre los tres países, y el último nivel, clase de actividad, es único para cada país ya que responde a sus propios requerimientos estadísticos. (INEGI, SCIAN, 2018).

Gracias a la clasificación del SCIAN, se tiene un campo en común en ambos insumos del INEGI, el DENUÉ 2019 y el Censo económico 2014, con los cuales es posible realizar proyecciones o estimaciones geoestadísticas que denoten la distribución no solo de las actividades económicas sino también de la producción estimada para cada giro mercantil.

La información del censo económico 2014 se integró a nivel alcaldía como área administrativa para distinguir la heterogénea distribución de los valores de producción económica dentro de la CDMX, ya que si bien a nivel ciudad los subsistemas económicos existen en todas las alcaldías, no tienen la misma funcionalidad ni características productivas en los distintos contextos económicos de las alcaldías, es decir la producción de un subsistema en Iztapalapa, en Miguel Hidalgo o en Benito Juárez es distinta, por dicha razón, y para poder detallar con mayor precisión la información, dentro de este análisis se desagrega la producción bruta total de cada subsector económico por las alcaldías de la Ciudad de México (ver ANEXO II. INFORMACIÓN ESTADÍSTICA. C) Información económica)

4.7 Estimación de Producción per Cápita por Subsector y por giro económico.

Con la información previamente obtenida se establece la razón de producción per cápita, la cual depende de la suma total de la población empleada estimada de cada uno de los giros mercantiles por subsistema y la producción económica que existe por subsistema. La población empleada estimada es la mediana de cada rango de población ocupada de la información contenida en el DENUÉ de los giros mercantiles, por ejemplo, del rango 0 a 5 personas, su mediana equivale a 3 personas.

La producción per cápita es la razón que resulta de la división entre la producción económica de cada subsistema y la población empleada estimada total de dicho subsistema por alcaldía.

Es decir, de la cantidad de giros mercantiles existentes en cada alcaldía se tiene la producción económica por subsistema y la suma total de la mediana del rango de población empleada de cada giro en cada subsistema¹³.

¹³ *Ejemplo: Si en determinada alcaldía hay 50 giros dedicados al subsistema comercio al por menor en donde la suma de las medianas de los rangos de personas empleadas por dicho subsistema equivale a 400 personas*

Gráfica 13 Producción del subsector y población empleada estimada



Fuente: Elaboración propia

Una vez estimada la producción per cápita de los subsectores económicos procede estimar la producción pertinente a cada giro mercantil de acuerdo con el producto de la población mediana del giro y la producción per cápita.

Dicha producción es el resultado de distribuir la producción total del subsector en cada giro mercantil a través del campo de población mediana del giro al multiplicarla por el valor de producción per cápita.

Gráfica 14 Producción por giro.



Fuente: Elaboración propia

La producción por giro se multiplica por un millón (escala de la información en la base de datos del censo económico) y se divide en 365 para establecer la producción diaria del giro

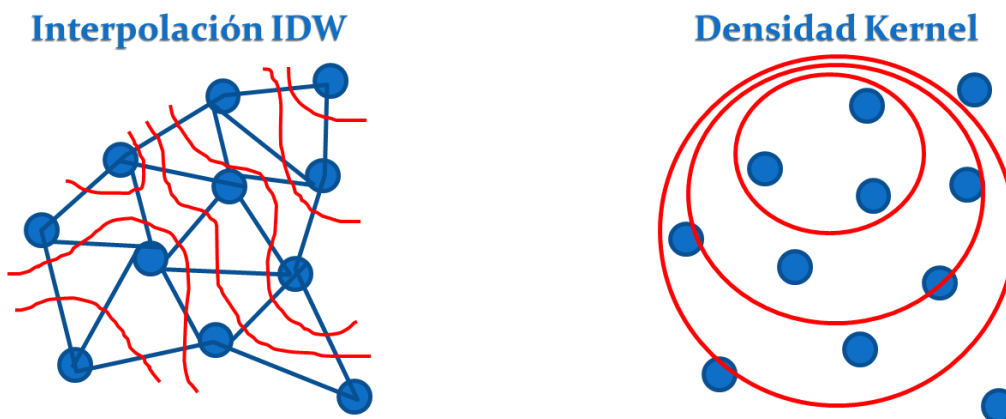
y el valor de la producción económica de ese mismo subsector en esa alcaldía es de 800 millones de pesos, la producción per cápita se definiría así: 800 millones/400=2 millones per cápita.

en pesos corrientes. Este es el valor que se empleara en las modelaciones cartográficas para el tema en cuestión.

El mapa resultante es un mapa de producción diaria por giro económico, y que caracteriza el proceso económico existente en la Ciudad de México, susceptible a afectación por fenómenos perturbadores como inundaciones.

4.8 Modelaciones Cartográficas

La información puntual de cada giro debe ser analizada en relación con el objetivo de su estudio, en este sentido se puede abordar el fenómeno en dos temas principales; la distribución de los valores de producción per se y la densidad “acumulada” de producción existente en la Ciudad de México, para dicho fin se emplean dos métodos cartográficos: Interpolación de la Distancia Inversa Ponderada (IDW) y densidad de Kernel (VerANEXO III. ASPECTOS METODOLÓGICOS. D) Metodología de Interpolación de la Distancia Inversa Ponderada (IDW)).

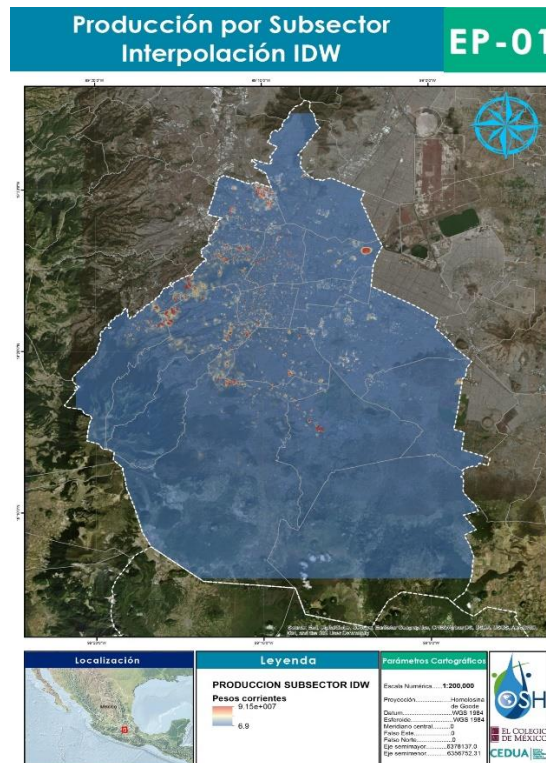


Fuente: Elaboración propia

El contraste entre ambos métodos permite concluir que los valores de producción que convienen ser extraídos para cada fenómeno de inundación deben provenir de una interpolación de la Distancia Inversa Ponderada (IDW), pues solo así es posible inferir el valor real que correspondería al punto de inundación identificado. Por su parte, la densidad Kernel determina el impacto real al ser una sumatoria de los puntos dentro de un área de influencia definida y que en su conjunto definen grandes áreas.

A continuación, se presentan las cartografías que detallan la distribución de la producción económica estimada en pesos corrientes a nivel subsector dentro de la ciudad, el mapa EP-01 detalla los resultados de la aplicación de la interpolación de la Distancia Inversa Ponderada (IDW) y el mapa EP-02 muestra la modelación obtenida por el método de densidad de Kernel, ambas cartografías fueron procesadas en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Por su parte el mapa EP-03 precisa la dispersión y concentración de la población empleada estimada durante los años 2010 y 2018, la población ocupada de los giros mercantiles a nivel subsector económico del DENUE, la cual puede considerarse como población flotante ya que es la población que reside de manera temporal para realizar sus actividades laborales en determinada región, pero suele habitar en otra zona.

Como se aprecia en los mapas la distribución de la variable es distinta de acuerdo a su tratamiento. En el mapa EP-01 al ser resultado de la interpolación IDW se distinguen aquellas zonas donde se ubican los subsectores económicos con mayor y menor valor en la producción económica. Las áreas de mayor cantidad de producción de pesos corrientes se identifican con color rojo y tal como se observa en el mapa se distribuyen de manera diferenciada en el territorio dentro de cada alcaldía.



Fuente: Elaboración propia con información del INEGI, 2014

Se presentan zonas de gran producción económica por subsector al oriente de la alcaldía de Venustiano Carranza, al noreste de la alcaldía de Azcapotzalco, centro y sur de Miguel Hidalgo, norte de Cuajimalpa de Morelos, noroeste y este de Álvaro Obregón, centro de las alcaldías Cuauhtémoc y Benito Juárez, centro sur y norte de Coyoacán, norte de Tlalpan, noroeste de Gustavo A. Madero, Xochimilco, Tláhuac. Por su parte de la localización de este tipo de subsectores económicos con alto grado de producción de pesos corrientes se presenta en áreas más pequeñas y dispersas al oeste y centro de las alcaldías Iztapalapa e Iztacalco respectivamente. Las alcaldías Magdalena Contreras y Milpa Alta no presentan un subsector económico que genere gran cantidad de producción medida en pesos corrientes. No obstante cabe resaltar el hecho de que las alcaldías al occidente y centro de la ciudad: Azcapotzalco, Miguel Hidalgo, Cuajimalpa de Morelos, Álvaro Obregón, Cuauhtémoc, Benito Juárez y Coyoacán asumen mayor cantidad de áreas rojas y amarillas en sus demarcaciones lo que indica más número de subsectores económicos con mayor cantidad de producción económica dentro de ellas, en contraste las otras alcaldías identifican muy pocos subsectores económicos con producción económica relevante en el contexto de la ciudad, por lo que la mayoría del territorio se presenta en color azul, la tonalidad que denota la ausencia de alta producción económica.

En el mapa EP-02 se identifican las zonas que tienen más concentración de producción económica en pesos corrientes, es decir, las superficies en color rojo muestran donde hay mayor cantidad de subsectores económicos con la mayor cantidad de producción económica, las áreas amarillas identifican la concentración de producción económica por la densidad de subsectores de una menor condición de producción de pesos corrientes y las azules denotan una baja producción.

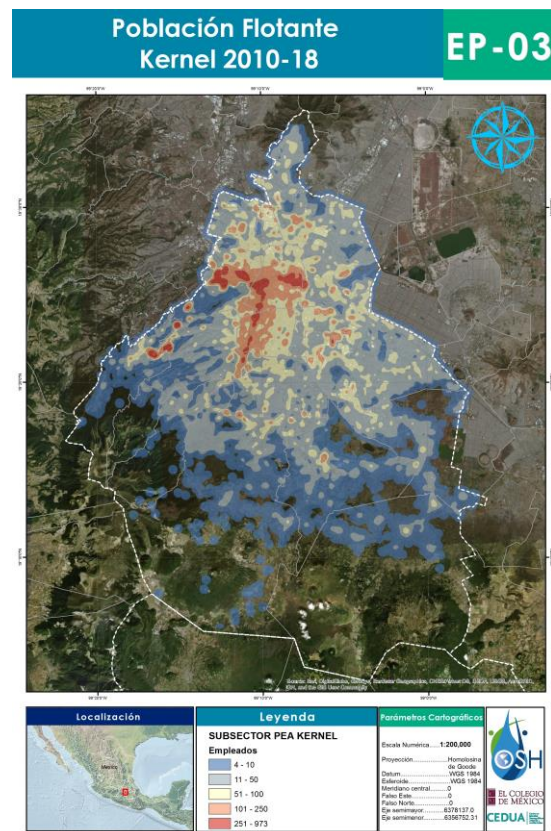
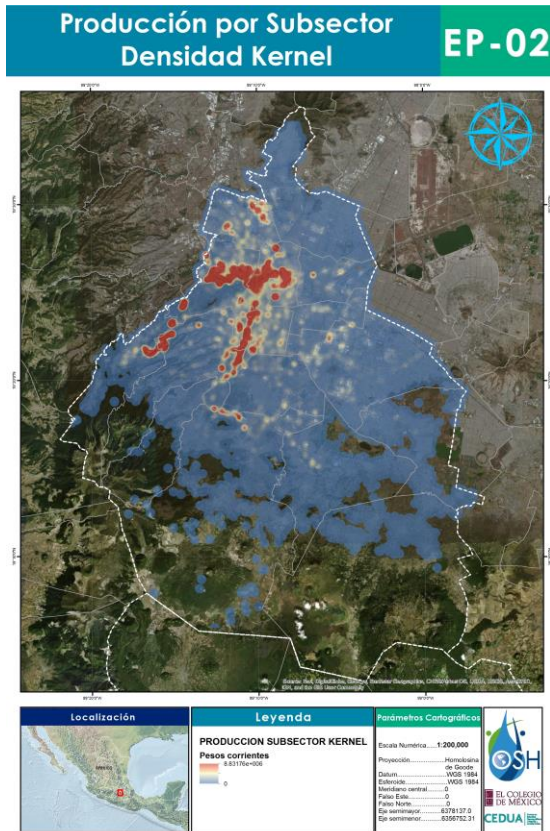
Tal como se visualiza la Ciudad de México corredores económicos importantes por su alta producción económica localizados en el centro de Miguel Hidalgo, centro y occidente de Cuauhtémoc, occidente de Benito Juárez, norte de Tlalpan, noreste de Cuajimalpa de Morelos en el límite oriente de Álvaro Obregón, quien también disfruta de dicha condición en su zona nororiental especialmente en los límites territoriales que comparte con Benito Juárez, Azcapotzalco presenta en su noreste y suroeste altos niveles de producción económica. De menor intensidad, pero con alto grado de concentración de pesos corrientes se presenta el centro de la alcaldía de Venustiano Carranza, el noroeste de Iztapalapa y el suroeste de

Coyoacán con tonalidades rojas y amarillas. Iztacalco y Xochimilco expresan algunas zonas amarillas lo que indica concentración de producción económica relevante, por su parte la información de este mapa vislumbra que los subsectores que en el mapa de IDW presentaban alto grado de producción económica en puntos focalizados, de las alcaldías Gustavo A. Madero y Tláhuac se encuentran aislados es decir existe poca cantidad de giros mercantiles en condición de alta producción económica. Por lo que en este mapa se identifican aquellas zonas con mayor cantidad de producción de pesos corrientes.

Dicha información se relaciona con la exhibida en el mapa EP-03, pues las zonas donde se existe mayor producción económica son también aquellas áreas de mayor concentración de población flotante. Las superficies marcadas con rojo cuentan con un personal empleado estimado de más de 250 personas, que incluso llega a agrupar a más de 900 habitantes. Sin embargo, la concentración de más de 100 personas es aquella que guarda la mayor relación con la mayor producción económica prevista en el mapa anterior, identificada en el mapa EP-03 con tonalidad anaranjada.

Como se observa la dispersión de población flotante es alta que la producción económica, ya que más superficie en la ciudad alberga concentraciones de más de 50 personas laborando abarcando áreas donde la producción de capital no es tan elevada en relación con el contexto de generación de pesos corrientes en la ciudad.

La zona centro occidental de la ciudad tiene la mayor cantidad de población flotante, en contraste la zona sur y sureste despliega la menor cantidad de personal ocupado lo que remarca la desigual distribución de oportunidades y capacidad de poder adquisitivo en la ciudad.



Fuente: Elaboración propia con información del INEGI, 2014

4.9 Producción ajustada a los giros por año 2010 – 2018

Con el objetivo de distinguir el valor de la producción en una serie de tiempo de 10 años y así poder empatar la serie de tiempo de inundaciones con la producción para la generación de los escenarios de afectación, se estimó el valor de producción asociado a los giros existentes cada año, considerando que el último dato de producción existente (2014) corresponde a la mayor cantidad de giros mercantiles (2018).

Gráfica 15. Producción económica en la CDMX



Fuente: Elaboración propia

Derivado de lo anterior se concibe entonces que la producción de los giros de 2010 es menor que la producción que existe en 2018 pese a tener una misma producción per cápita dado que los giros que se fueron sumando a los registros del DENU no existían en 2010.

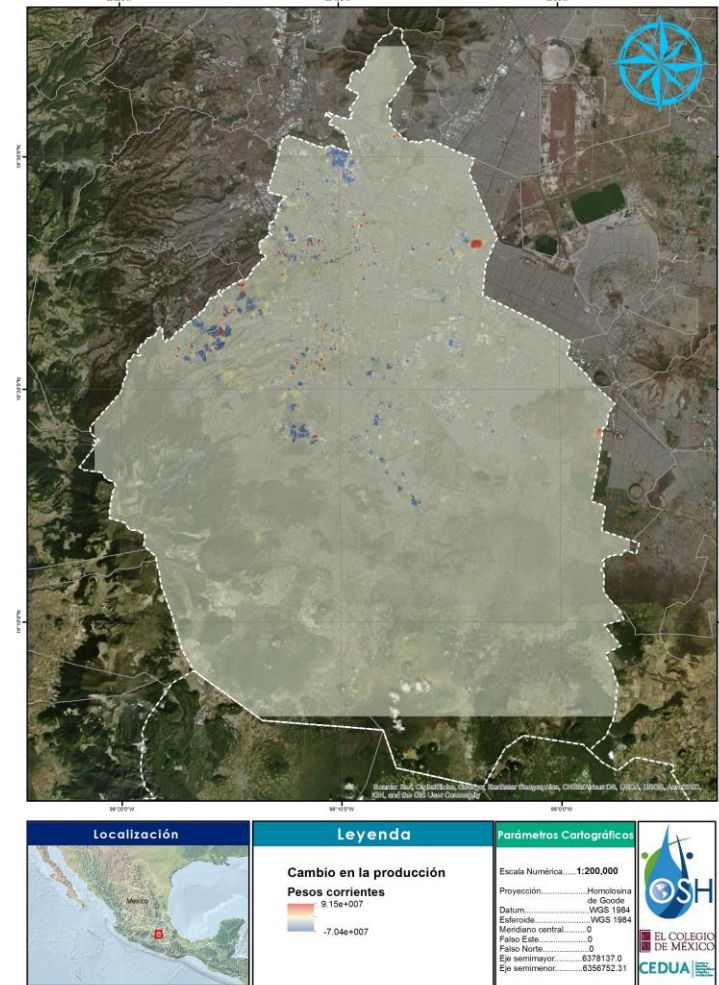
En este sentido se estimaron 9 escenarios de producción anuales, para identificar como cambio la producción desde 2010 y hasta 2018, periodo coincidente con el periodo de estudio de los antecedentes puntuales de inundaciones pluviales registrados en la CDMX por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX).

El mapa EP-04 detalla la estimación de cambio en la producción económica 2010 a 2018, para identificar en donde hubo mayor densificación del proceso productivo en la ciudad. El proceso de análisis espacial empleado fue el método de interpolación de la distancia inversa ponderada (IDW) ya que el objetivo es identificar aquellas zonas donde se localizan mayor o menor producción de pesos corrientes por subsector económico para después poder extraer dicha información en cada punto de encharcamiento registrado por el SACMEX. Las áreas rojas identifican un aumento en la producción económica de pesos corrientes durante el periodo de 2010 a 2018, mientras que las áreas azules puntualizan una baja en la producción económica de pesos corrientes durante ese mismo lapso de tiempo. Identificar este cambio tiene el objeto de estimar la producción económica que pueda relacionarse con los eventos de encharcamientos de la ciudad, el análisis de los antecedentes reales de las inundaciones experimentadas por la metrópoli.

Como se aprecia en el mapa EP-04 la zona centro y occidente de la ciudad manifiesta la mayor producción económica con una precisión distinta en los puntos de alto rendimiento productivo en comparación con respecto a los mapas EP-01 y EP-02 antes presentados.

Las alcaldías de Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc, Benito Juárez, Cuajimalpa de Morelos, Tlalpan, Azcapotzalco, Venustiano Carranza cuentan con pequeñas y dispersas áreas de concentración alta de producción de pesos corrientes, por su parte las otras alcaldías salvo puntos muy específicos y focalizados asumen menores niveles de producción económica. No obstante también se presentan zonas con menor producción económica en el ajuste anual de la información en zonas altamente productivas, como el norte de Azcapotzalco, centro de Miguel Hidalgo, norte de Cuajimalpa de Morelos, centro de Coyoacán, entre otros puntos muy específicos provistos por dicha cartografía.

Producción por Subsector ajustada anual IDW (2010-18) EP-04



Fuente: Elaboración propia con información del INEGI, 2014

4.10 Escenarios de afectaciones potenciales a la producción por años

Una vez definidos los valores de producción ajustada al año, se interpolo en un SIG cada año para generar una cobertura de la producción que abarque con valores interpolados toda el área de la ciudad de México. De los mapas resultantes se extraen los valores de la interpolación para cada punto de inundación en la base de datos del año en común con la herramienta extract values to point.

Ahora tenemos, en la base de datos del SACMEX un campo con el valor de la producción, lo que sigue es elaborar los escenarios de afectación a dicha producción en dos sentidos, el

primero sin considerar la intensidad del evento, al identificar únicamente el evento de encharcamiento y el valor de producción del punto donde ocurrió.

Sin considerar la intensidad del evento registrado, se elaboraron los escenarios de afectación potencial por año y por causa únicamente al sumar los valores de producción en cada punto, lo que permite reconocer el impacto potencial del fenómeno sobre el panorama socioeconómico de la ciudad.



Fuente: Elaboración propia

A través de una tabla dinámica, se sumaron todos los valores de producción estimada por causa y por año para generar un registro de aquellas causas con mayor acumulación de producción afectada.

De primera impresión, se observa una aparente reducción en el total de afectaciones potenciales en la ciudad, al ser 2014 un año con bastante afectación a la producción diaria de la ciudad, sin embargo, se reconoce que, en las principales causas de las inundaciones: coladera obstruida, atarjea obstruida, e inexistente al momento de la inspección su tendencia a incidir negativamente en el desarrollo de las actividades económicas de la ciudad va al alza desde 2014.

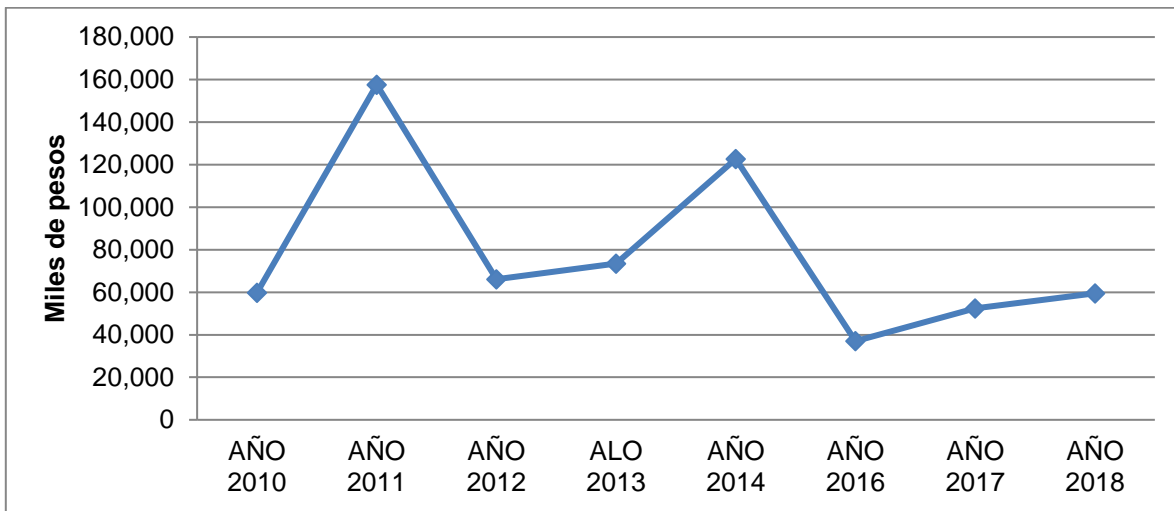
Tabla Principales causas de inundaciones

CAUSA	Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2016	Año 2017	Año 2018	Total por causa
Atarjea obstruida	914	734	343	343	634	246	485	608	4,307
Coladera obstruida	14,576	87,511	22,893	34,406	19,546	5,316	15,087	15,178	214,513
Falta de infraestructura	18	42	212	8	1,001	22	114	1,230	2,646
Hundimiento de asfalto	708	936	873	1,441	630	297	529	1,166	6,580
Inexistente al momento de la inspección	20,265	44,602	26,647	24,912	43,053	15,852	26,517	27,254	229,103

CAUSA	Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2016	Año 2017	Año 2018	Total por causa
Insuficiencia de atarjea y colector	22,064	21,455	12,949	11,248	55,162	14,934	8,461	13,309	159,583
Insuficiencia de grieta	925	1,731	1,819	1,074	2,651	296	1,266	666	10,429
No se opera cárcamo de bombeo	304	393	230	6	9	40	5	11	996
Ruptura de tubo de agua potable	0	181	123	28	56	0	0	0	387
Total anual	59,775	157,585	66,089	73,466	122,740	37,002	52,464	59,422	628,544

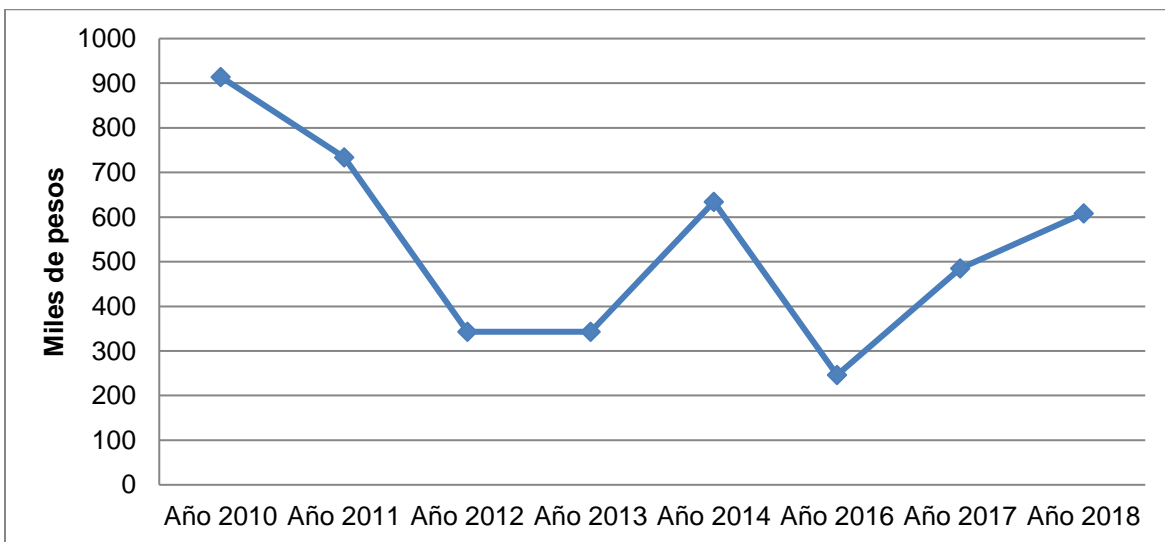
Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX 2018, Censos económicos, INEGI 2014 y DENUE 2019

Tabla Afectación potencial a la producción económica por encharcamientos



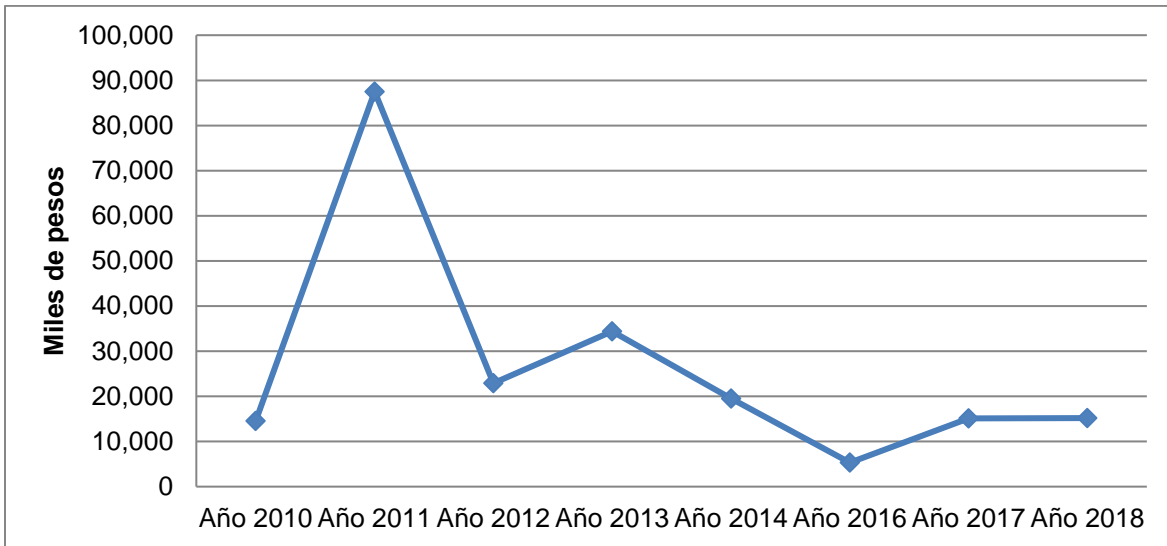
Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX 2018, Censos económicos, INEGI 2014 y DENUE 2019

Tabla Afectación a la producción económica por encharcamientos derivados de atarjea obstruida



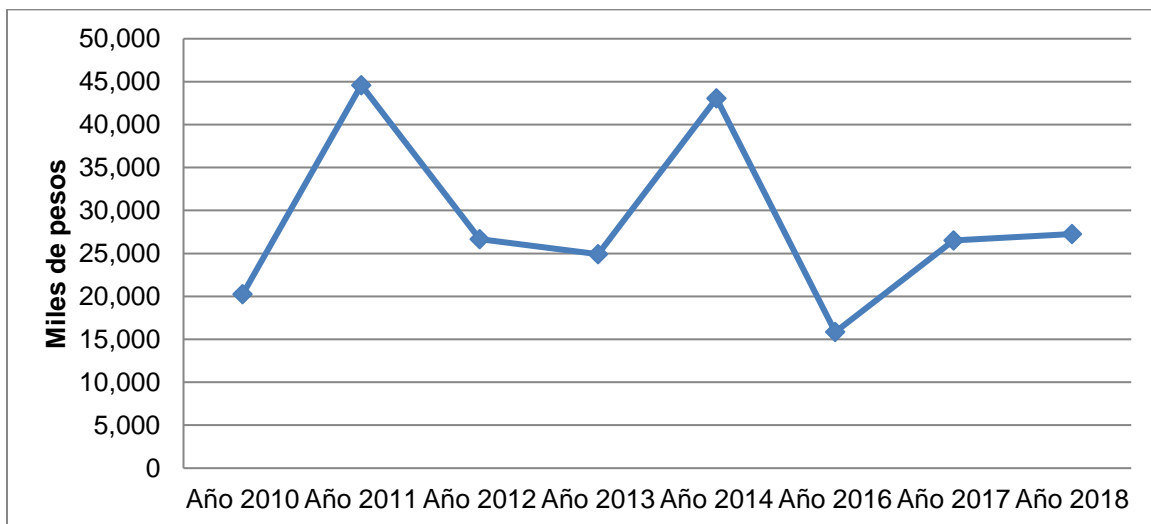
Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX 2018, Censos económicos, INEGI 2014 y DENUE 2019

Tabla Afectación a la producción económica por encharcamientos derivados de coladera obstruida



Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX 2018, Censos económicos, INEGI 2014 y DENUE 2019

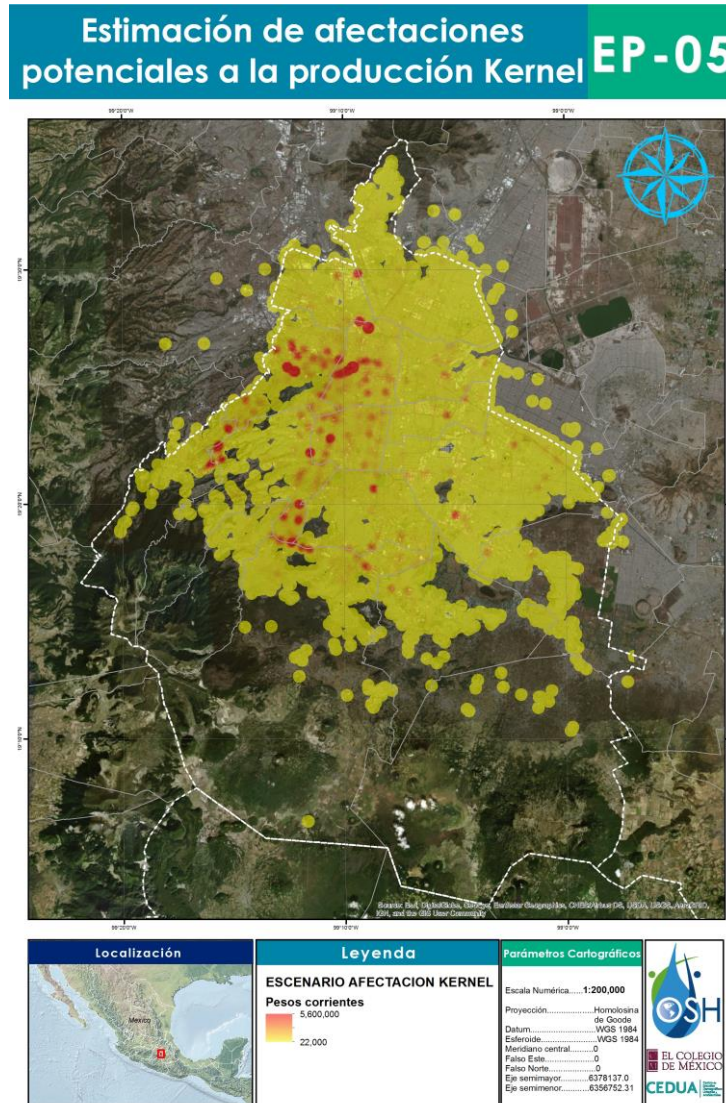
Tabla Afectación a la producción económica por encharcamientos sin causa al momento de la inspección



Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX 2018, Censos económicos, INEGI 2014 y DENUE 2019

El mapa EP-05 define un escenario de afectación a la producción económica anual estimada mediante el método densidad de Kernel, donde la información de la recurrencia de los eventos de encharcamiento es cruzada con los valores de dicha producción dentro de la superficie de la ciudad, las zonas más oscuras establecen aquellas áreas que asumen mayor nivel de afectación, pues se conjuga una alta incidencia del fenómeno con una elevada producción económica lo que resulta en la afectación de la producción de pesos corrientes.

Dichas zonas estiman posibles afectaciones en la producción de entre 22 mil pesos hasta 5,600,000 de pesos, las áreas en rojo estiman las afectaciones por la mayor cantidad de dinero cerca de 5 millones de pesos en puntos localizados en el norte y centro de la alcaldía de Cuauhtémoc, centro Miguel Hidalgo, centro occidente Benito Juárez, norte Azcapotzalco, Álvaro Obregón y Tlalpan, tal como se observa en el mapa.



Fuente: Elaboración propia con información de los productos cartográficos generados en este apartado

4.11 Estimación de pérdidas económicas estimadas a través de ecuación de vulnerabilidad

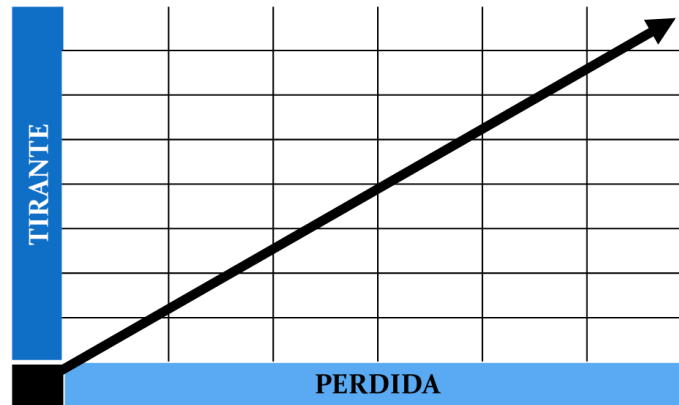
El segundo método implica delimitar la estimación de pérdidas con algún método que determine la afectación conforme a la intensidad del evento registrado, por lo que se define una curva de pérdida (ecuación de vulnerabilidad económica) tomando en cuenta el valor máximo del tirante registrado en la base de datos.

La ecuación de vulnerabilidad económica servirá para determinar, con base en la intensidad del fenómeno cual es la afectación real a la producción por giro mercantil, al discernir que intensidad puede representar la afectación al funcionamiento normal del establecimiento.

En la base de datos de SACMEX, existe un salto estadístico importante entre el nivel considerado como de afectación máxima y valores superiores, pues entre 400 mm y el siguiente valor de 1000 mm hay un salto de 600 mm, por esta razón y considerando que con un tirante de 400 mm existe una interrupción en la actividad económica que implica un cese en la producción, se establece 400mm como indicativo de afectación máxima sobre la producción diaria, es decir los valores de 400mm en adelante son considerados de afectación total en la producción económica del establecimiento mercantil y los valores menores son normalizados estadísticamente en relación a este valor máximo. Por tanto donde el tirante del evento de encharcamiento asuma valores de 400 mm en adelante se consideran como 100% de pérdida, valores más pequeños en la muestra reducen de manera proporcional a dicha cantidad la afectación en la producción por tanto su pérdida. Cabe destacar que el fundamento teórico del entendimiento de “pérdida” se retoma de la conceptualización del CENAPRED cuando la define como “las afectaciones en la producción de bienes y servicios y/o lucro cesante, resultado de la paralización de las actividades económicas ocurridas a raíz del desastre” (CENAPRED, 2016 p.5, CENAPRED, 2017, p.5”).

El siguiente esquema muestra cómo se atribuye de manera escalar y proporcional a mayor intensidad en el encharcamiento mayor pérdida en la producción económica.

Esquema general de la pérdida económica según el aumento del tirante del encharcamiento



Fuente: Elaboración propia

La razón de vulnerabilidad se multiplica por el valor extraído de producción por día para definir el valor total de la pérdida por cada evento de inundación.

Estimación de pérdida derivada de ecuación de vulnerabilidad económica



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presentan los escenarios de las pérdidas de producción económica estimadas que consideran la intensidad antes explicada de los encharcamientos producidos entre 2010-2018 y el valor de producción extraído del evento mediante los métodos de Interpolación de la Distancia Inversa Ponderada (IDW) y densidad de Kernel para denotar la diferencia entre valores proyectados y agregados (con grado de concentración).

El mapa EP-06 es un escenario de las pérdidas de producción económica estimadas mediante el método de Interpolación de la Distancia Inversa Ponderada (IDW) que considera la intensidad antes explicada de los encharcamientos producidos entre 2010-2018 y el valor de producción extraído del evento.

Las mayores afectaciones se localizan en pequeñas áreas en el norte central y centro de la alcaldía de Cuauhtémoc y el noroeste de Álvaro Obregón con una pérdida de producción entre 113, 071 y 1,663,959 pesos marcado en color blanco.

Los sitios marcados con color rosa puntualizan una afectación estimada entre 13,261 y 113,070 de pesos, ubicadas al occidente de la ciudad, en pequeñas áreas del centro y sur de la alcaldía de Miguel Hidalgo, occidente de Benito Juárez y Cuauhtémoc, noroestes y sureste de Álvaro Obregón, noreste de Cuajimalpa de Morelos y de Azcapotzalco, centro y suroeste de Coyoacán, norte de Tlalpan, centro de Venustiano Carranza, noreste de Xochimilco y centro de Iztapalapa, como se observa en la cartografía.

El mapa EP-07 identifica el escenario de pérdidas de la producción económica a través del método de densidad de Kernel para los años 2010-2018, detalla aquellas zonas donde la concentración de producción económica de pesos se puede ver afectada por la alta ocurrencia de eventos de intensidad del fenómeno hidrometeorológico. Como se observa las mayores afectaciones se localizan en dos puntos marcados con color rojo en el centro y centro norte de la alcaldía Cuauhtémoc con una pérdida en la producción estimada entre 60,001 a 130,501 pesos. Las siguientes afectaciones más elevadas se distinguen en color anaranjado con una pérdida estimada entre 12,001 a 60,000 pesos en el centro de la alcaldía de Miguel Hidalgo y en el noroeste de Álvaro Obregón. Estos son los puntos de mayor atención ya que son donde se concentran las mayores cantidades de producción económica e intensidad y recurrencia de los eventos de encharcamiento, antecedentes de las inundaciones suscitadas en la ciudad de México, por lo tanto, de mayor pérdida económica estimada para la urbe.

Los datos estimados de pérdidas a través de la ecuación de vulnerabilidad son mucho más bajos, esto es porque la base de datos de SACMEX no contiene para aproximadamente la mitad de los datos el campo de intensidad del evento, lo que excluye la estimación de un gran volumen de datos, generalmente en la causa inexistente al momento de la inspección.

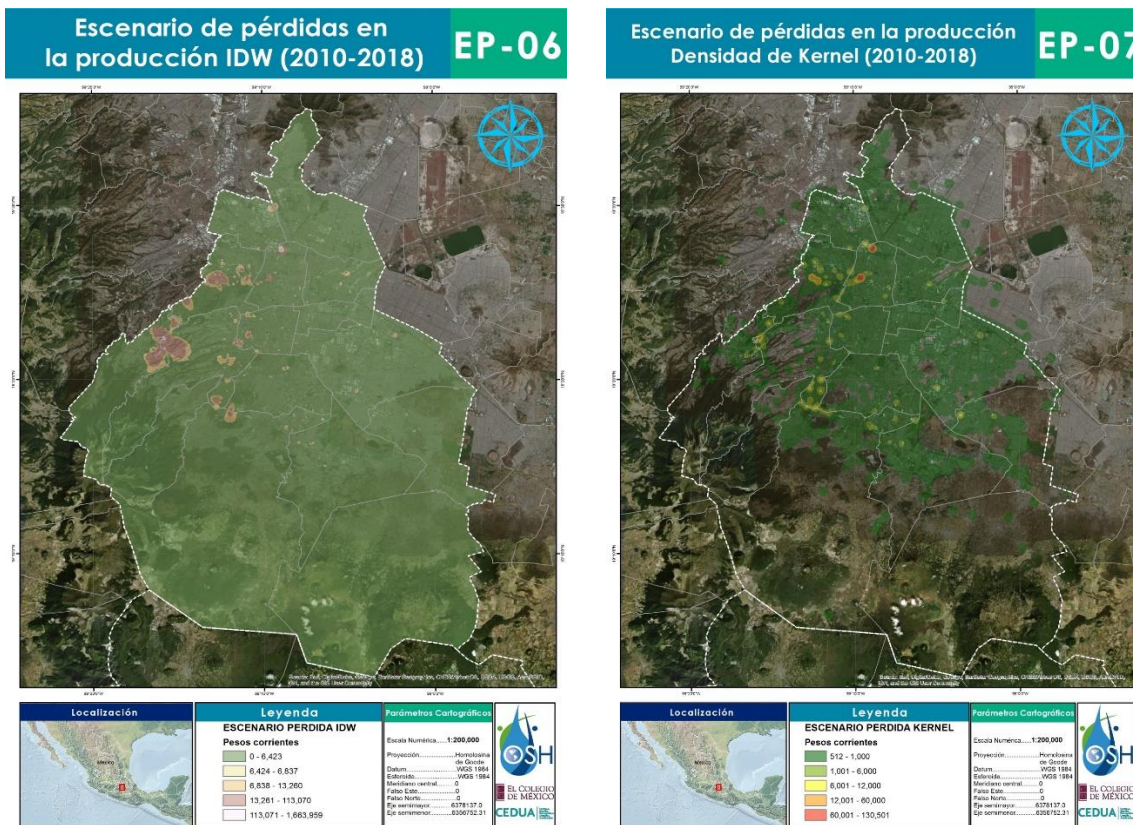
Estimación de pérdidas económicas según intensidad y causa del encharcamiento

CAUSA	Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2016	Año 2017	Año 2018	Total general
Atarjea obstruida	43	28	12	11	33	16	36	33	212
Coladera obstruida	488	4,079	673	1,042	817	259	632	442	8,431
Falta de infraestructura	0	3	2	0	23	4	8	47	87
Hundimiento de asfalto	29	19	31	25	15	139	43	16	316

Inexistente al momento de la inspección	0	1	7	6	54	0	1	44	113
Insuficiencia de atarjea y colector	989	1,107	803	575	2,457	1,179	1,428	673	9,210
Insuficiencia de grieta	50	95	102	46	130	21	181	36	661
No se opera cárcamo de bombeo	13	33	10	0	1	3	0	1	62
Ruptura de tubo de agua potable	0	10	2	1	1	0	0	0	15
Total general	1,612	5,375	1,641	1,705	3,531	1,621	2,329	1,292	19,106

Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX 2018, Censos económicos, INEGI 2014 y DENUE 2019

Con el método de estimación de pérdidas se identifica un alza significativa en la causa de coladera obstruida, atarjea obstruida e insuficiencia de grieta, lo que implica que su intensidad afecta de manera más directa sobre el funcionamiento económico de la CDMX



Fuente: Elaboración propia con información de los productos cartográficos generados en este apartado

4.12 Causas con mayor afectación por evento en CDMX

Es posible identificar las causas de inundaciones con mayor potencial para generar impactos económicos en la ciudad, lo que definirá las políticas y acciones prioritarias a realizar en materia de gestión y reducción de riesgos.

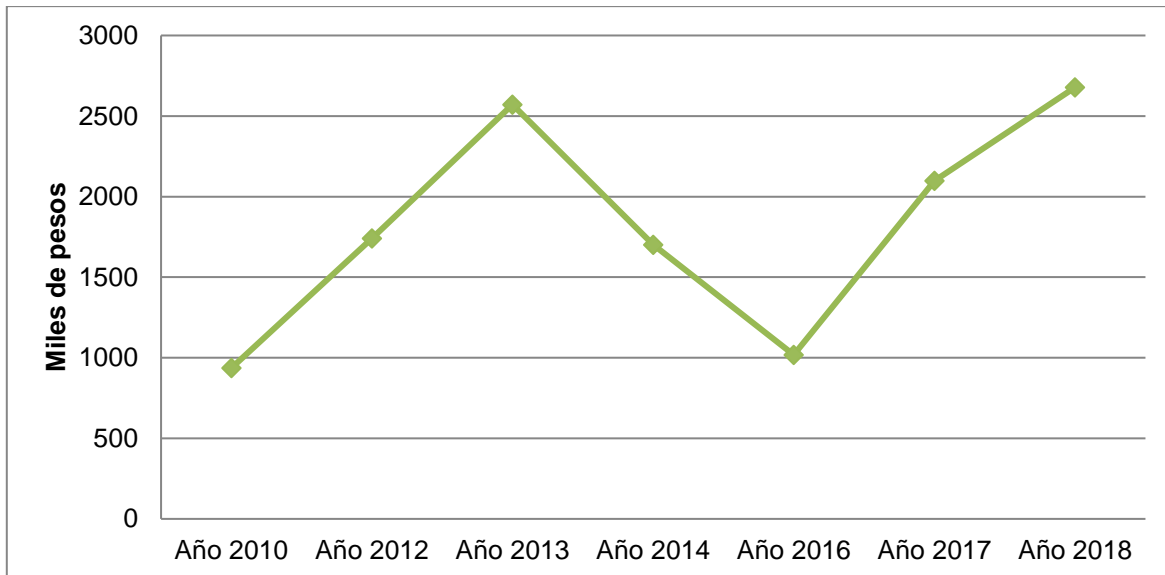
Estimación de pérdidas económicas según causa del encharcamiento

CAUSA	Año 2010	Año 2011	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2016	Año 2017	Año 2018	Total general
Coladera obstruida	936	13,159	1,740	2,572	1,701	1,019	2,098	2,678	2,987
Hundimiento de asfalto	1,508	817	997	991	523	8,664	4,292	1,268	1,905
Insuficiencia de grieta	1,604	1,634	1,392	1,354	2,138	442	5,328	799	1,721
No se opera cárcamo de bombeo	1,486	8,258	859	356	171	607	451	275	1,665
Insuficiencia de atarjea y colector	1,118	1,423	1,127	880	2,494	1,521	2,292	956	1,506
Falta de infraestructura	32	382	165	37	1,559	506	1,981	5,823	1,259
Ruptura de tubo de agua potable		2,526	738	223	698	-	-	-	1,124
Atarjea obstruida	1,964	1,326	583	588	870	1,812	738	979	1,005
Inexistente al momento de la inspección	0	0	5	4	24	0	1	51	11
Total general	582	1,868	658	699	916	726	1,164	705	932

Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX 2018, Censos económicos, INEGI 2014 y DENUE 2019

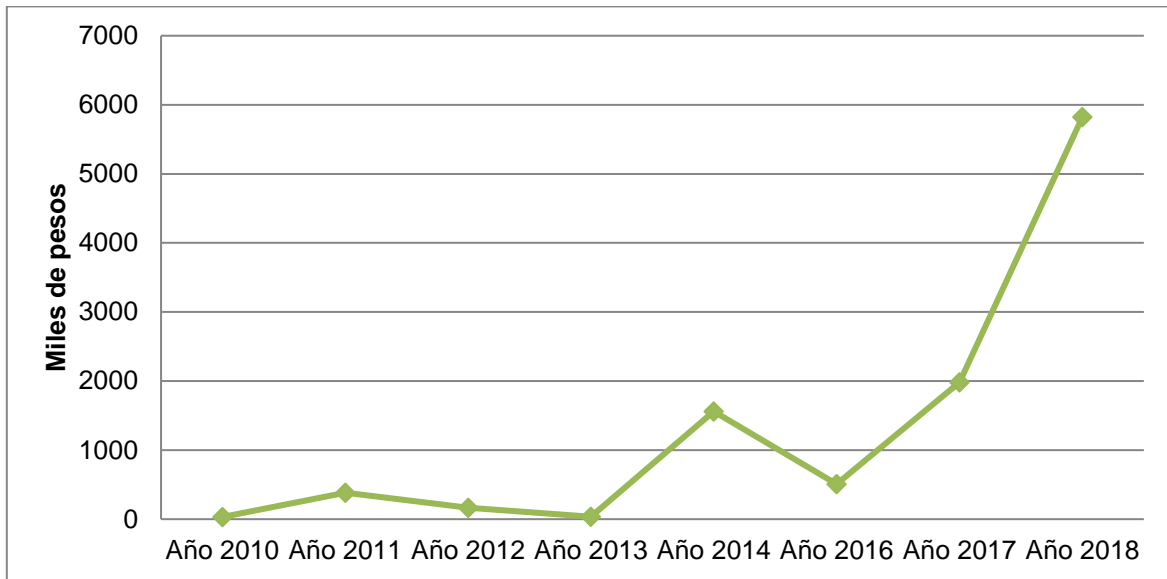
En promedio, la causa con mayor afectación potencial en la ciudad es la coladera obstruida, la cual supera con creces a las demás y cuyo comportamiento va al alza a lo largo del tiempo, excluyendo el año 2011. La causa falta de infraestructura se ha incrementado de manera importante para el año 2018, llegando a una pérdida de afectación potencial cercano a los 6,000 pesos por incidencia, por tanto, son las dos causas de atención prioritaria ya que han aumentado su posibilidad de afectación en la producción económica de la ciudad.

Gráfica Afectación a la producción por Coladera obstruida



Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX 2018, Censos económicos, INEGI 2014 y DENUE 2019

Gráfica Afectación a la producción por Falta de infraestructura



Fuente: Elaboración propia con información de SACMEX 2018, Censos económicos, INEGI 2014 y DENUE 2019

A la vista de lo expuesto es necesario, para caracterizar de manera detallada el impacto de las inundaciones en la ciudad, elaborar un registro de siniestralidad de daños y pérdidas que detalle de manera directa los costos de los daños reales y las pérdidas reportadas a los organismos gestores del agua en la ciudad pues de esta manera será posible asociar las causas e intensidad de encharcamientos a una estimación más real sobre el impacto económico.

De manera general, el proceso de estimación de pérdidas hace referencia a los daños indirectos de un encharcamiento, que se refiere específicamente a lo que se deja de producir por interrupción de la prestación de servicios.

La cartografía de estimación de pérdidas caracteriza de manera concisa la distribución de los valores de producción real sobre el territorio de la ciudad, lo que no solo caracteriza el proceso económico de la ciudad, sino que identifica las zonas con mayor aglomeración económica y que, para principio de este trabajo de investigación, en relación con la intensidad de las inundaciones, define las zonas más vulnerables a un impacto económico por encharcamientos.

Se concluye que la presencia de encharcamientos ha ido aumentando en aquellas zonas con mayor aglomeración económica, y si bien no es el caso para la intensidad, hay que reconocer que las afectaciones a particulares por el fenómeno en la ciudad no se reduce a la interrupción

de la actividad económica, sino a otros procesos no caracterizados en este apartado, como son movilidad urbana e interrupción en servicios urbanos, ambas consecuencias de alto impacto para las zonas de mayor dinamismo demográfico en la ciudad.

La cartografía de pérdidas económicas, de manera directa caracteriza el impacto que ha tenido el fenómeno sobre el proceso macroeconómico de la ciudad, delimitando zonas donde es necesaria la intervención de políticas y programas para reducir el impacto negativo del fenómeno en los sistemas económicos de la ciudad.

5. ÍNDICE DE AMENAZA POR SUSCEPTIBILIDAD A INUNDACIONES A INUNDACIONES PLUVIALES (2010-2018)

5.1 Mapa compuesto de Amenaza

Los elementos cartográficos evaluados permiten integrar un mapa diagnóstico del riesgo para la Ciudad de México que incorpore los principales elementos que componen el fenómeno, integrando los aspectos físicos y sociales, así como el registro de antecedentes y que en conjunto dan un panorama general pero claro de las zonas con mayor susceptibilidad a inundaciones (y su impacto) en la ciudad.

Los componentes del mapa representan cada uno un elemento en la composición del riesgo que definen y caracterizan el mapa diagnóstico del fenómeno para la ciudad de México y para un periodo de estudio definido.

Ecuación de riesgo



Fuente: Elaboración propia

Vale la pena aclarar que este mapa tiene por objetivo ser un diagnóstico para los aspectos socio-territoriales de la ciudad y no puede ser considerado como un mapa de peligro, pues no integra factores de lluvia que podría definir intensidad ni tasa de recurrencia de los encharcamientos.

Se integró la cartografía más relevante de cada apartado en dos grandes grupos de información; socioeconómica y geofísica para generar dos subproductos cartográficos los cuáles se cruzaron de manera equitativa para la definición del mapa final.

El mapa de susceptibilidad a inundaciones pluviales integra a nivel físico el mapa del índice topográfico de humedad el cuál define las zonas topográficas de acumulación y las zonas de escurrimiento de agua, el cual delimitó los antiguos lagos de la ciudad como la zona de mayor propensión a acumulación de agua y el mapa de escurrimientos superficiales para identificar, sobre el suelo urbano modificado el comportamiento superficial del agua, las zonas de origen y destino de la cuenca y los puntos o nodos de mayor confluencia de agua en el territorio urbano.

A nivel social se compone de la densidad económica como principal elemento para identificar el impacto potencial de las inundaciones, pues como se vio en el apartado de pérdidas económicas, es en las zonas de mayor producción y actividad económica donde el fenómeno tiene mayor impacto. Como elementos de susceptibilidad se tomaron los mapas de antecedentes de encharcamientos, a densidad de eventos registrados en la base de datos y por otro lado la densidad de pérdidas económicas.

La densidad de drenaje primario tiene el objetivo de dar un panorama de aquellas zonas con menor capacidad instalada para hacer frente a las inundaciones, en términos cartográficos si una zona es de alta afluencia de agua y baja densidad de drenaje, podría concluirse que es más susceptible a desarrollar el fenómeno.

Capas de información socioeconómica

- Densidad económica como elemento de vulnerabilidad social
Elaborada a partir de la información de los giros mercantiles del DENUY y la información del censo económico 2014 para identificar las zonas de producción y densidad económica en la ciudad.
- Densidad de eventos de encharcamiento como susceptibilidad
Elaborada con la información provista con SACMEX para 10 años donde se considera la geocodificación de todos los puntos en el mapa de densidad para identificar las zonas con mayor recurrencia.

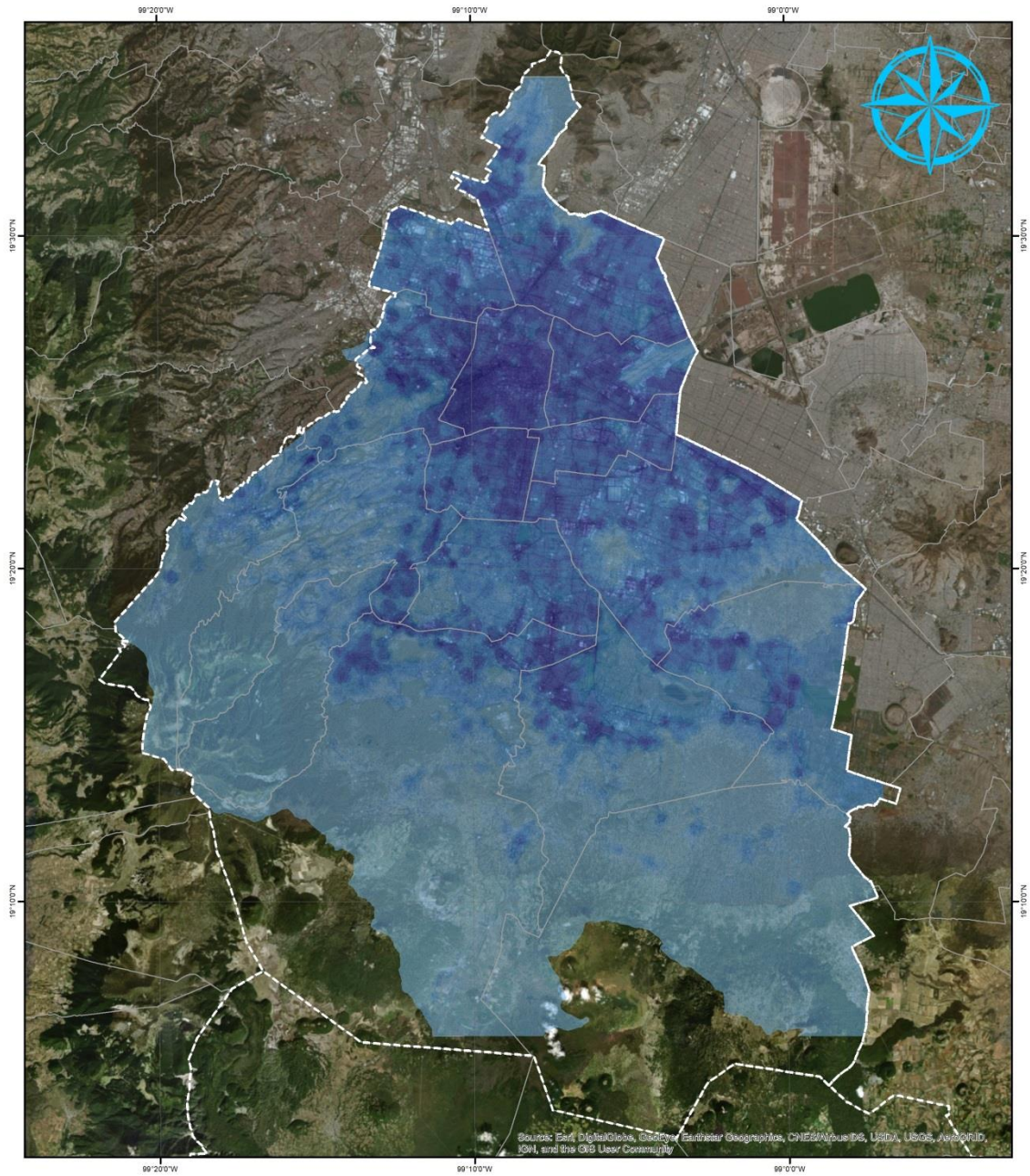
- Densidad de pérdidas económicas como susceptibilidad
Elaborada a partir de la integración de la base de datos del SACMEX y su relación con los escenarios de producción económica para determinar la incidencia del evento en las zonas productivas de la ciudad.
- Densidad de drenaje primario como indicativo de sistema regulador
Elaborada a partir de la red primaria de drenaje provista por SACMEX para identificar de manera sencilla dotación de infraestructura.

Capas de información geofísica

- Mapa de escorrentías superficiales como indicador de amenaza
Elaborado a partir de un Modelo Digital de Elevación de alta resolución LIDAR y definido a través de la generación de la red de escurrimientos superficiales y un análisis hidráulico.
- Índice topográfico de humedad como elemento de vulnerabilidad física
Elaborado a partir del MDE para identificar las zonas de captación y acumulación de la cuenca delimitada para el estudio.

El mapa resultante define con claridad, que la zona centro de la ciudad de México es la que se encuentra más expuesta a inundaciones pluviales, el mapa sin embargo también refleja la extensión del fenómeno para toda la ciudad, no solo en el centro sino también en las zonas de mayor crecimiento económico en la periferia.

Índice de Amenaza por Susceptibilidad a Inundaciones Pluviales (2010-2018) IA-01



Parámetros Cartográficos

Escala Numérica.....	1:200,000
Proyección.....	Homolosina de Goode
Datum.....	WGS 1984
Esferoide.....	WGS 1984
Meridiano central.....	0
Falso Este.....	0
Falso Norte.....	0
Eje semimayor.....	6378137.0
Eje semimenor.....	6356752.31



Anexos: aspectos metodológicos

A) Metodología para geocodificación de registros de puntos de encharcamiento de la Ciudad de México del año 2010 al año 2018

Para la identificación precisa del Riesgo por Inundaciones en la Ciudad de México es indispensable considerar que existe un elemento casuístico en el desempeño del drenaje o condiciones de la ciudad que afectan su infraestructura y capacidad de drenaje superficial (acumulación de basura o material orgánico suelto, presión en drenaje por actividades humanas, etc.) y que finalmente es un elemento que influye en el desarrollo de encharcamientos o inundaciones pluviales.

Tomando en cuenta lo anterior, resulta imperativo analizar los registros históricos asociados a inundaciones pluviales para identificar, en lo posible, recurrencia y causalidad de las inundaciones pluviales y así definir un mapa que considere aquellos elementos los cuáles que no son predecibles en términos estadísticos, pero sí son previsibles considerando su recurrencia y reincidencia.

Para dicho fin, en esta investigación se empleó la base de datos elaborada por la Unidad Departamental de Centro de Información adscrita a la Dirección de Fortalecimiento Institucional del Sistema de Aguas de la Ciudad de México, con registros desde 2010 y hasta 2018. Dichos registros contienen la información necesaria para analizar no sólo la incidencia de los encharcamientos sino también su intensidad y causas reportadas por personal operativo de la dependencia.

La base de datos, para su análisis e integración espacial debe ser georreferenciada a través de un proceso de geocodificación, método que determina ubicaciones cartográficas (coordenadas) a partir de una previa definición de la toponimia del territorio (calles, direcciones, puntos de referencia). Dicha georreferenciación debe ser lo más detallada posible para evitar duplicidad de ubicaciones o errores topológicos de ubicación importantes.

Con el objetivo de agilizar el proceso de geocodificación, se optó por utilizar el motor de geocodificación libre de Google a través de la aplicación Google My Maps, pues ésta permite el mapeo por direcciones de hasta 1000 registros por mapa.

El primer paso para la geocodificación fue dar formato a la base de datos; quitar caracteres especiales, sustituir las abreviaciones, remover paréntesis y ordenar las columnas por Calle, Calle auxiliar, Colonia, Delegación y agregar un campo con el texto de Ciudad de México. Se enumeró cada base de datos de los ocho años y se separaron de mil en mil.

Una vez listas las bases de datos, se subieron a Google My Maps por año y se descargaron en formato kmz. Sin embargo, el hecho de que la Ciudad de México cuente con distintas fuentes censales oficiales (INE, Correos de México y SEDUVI) hace que la información correspondiente a la colonia presente variaciones e inevitablemente el margen de error al ubicar los puntos se amplíe considerablemente, por lo cual, fue necesario prescindir de este campo.

Finalmente, todos los archivos en formato kmz son convertidos en archivos de formato kml, a través del navegador de google earth. Para ello que se requiere subir cada kmz al google earth y hacer que todos los puntos compartan la misma simbología, para después ser exportados en kml y poder ser procesados y analizados dentro de un Sistema de Información Geográfica (SIG).

B) Metodología de densidad de Kernel

La *densidad de Kernel* calcula la proximidad y densidad de cada uno de los puntos de eventos de encharcamiento (con sus respectivas características de causas y valores de intensidad (tirante-altura del agua), largo y ancho del espejo de agua), por lo que identifica las áreas de mayor concentración de eventos y permite ponderar cada punto (de los tipos de encharcamientos) de acuerdo a un valor determinado (causa o intensidad del evento), por lo que un punto resalta sobre otro, lo que permite distinguir las características de cada punto de evento de encharcamiento.

El algoritmo que el Sistema de Información Geográfica (SIG) emplea para determinar el radio de proximidad entre los distintos puntos de información (en este caso eventos de encharcamiento), se conoce como ancho de banda. A continuación, una breve descripción de este algoritmo:

Primero, calcula el centro medio de los puntos de información; después, calcula la distancia desde el centro medio (información ponderada) para todos los puntos; por último, calcula la distancia media (ponderada) de las distancias entre los puntos y el respectivo valor de la distancia estándar (ponderada). Con todo lo anterior listo se debe aplicar la siguiente fórmula para calcular el ancho de banda:

$$SearchRadius = 0.9 * \min \left(SD, \sqrt{\frac{1}{\ln(2)} * D_m} \right) * n^{-0.2}$$

Donde:

- “SD” es la distancia estándar
- “Dm” es la mediana de la distancia
- “n” es el número de puntos integrados al cálculo si no se especifica o pondera una información; si sí, se especifica, se identifica (en este caso la intensidad (tirante) o causa del evento de encharcamiento) y “n” representa la suma de los valores de causa o intensidad (tirante) del evento de encharcamiento.

El símbolo “min” de la ecuación significa que se utilizará cualquiera de las dos opciones que dé como resultado el valor menor. Esta forma de calcular un radio en cada punto evita el fenómeno de generar “anillos alrededor de puntos”, lo que suele suceder en información de puntos dispersos.

El resultado es una cobertura de *Densidad* que indica la concentración de puntos donde es más frecuente la presencia de eventos de encharcamiento.

Como resultado de dicho proceso es posible elaborar mapas de densidad de eventos de encharcamiento para cada año de la información disponible, para el análisis de este documento se utilizaron los años 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018, en ellos se puede observar la distribución, de concentración o dispersión, de los encharcamientos en la ciudad y como se ha modificado su comportamiento en el periodo de estudio.



Fuente: Elaboración propia

Esta metodología se retoma para la identificación de las *pérdidas económicas* asociadas al fenómeno de inundación. La información que emplea para este apartado es la producción de los subsectores económicos en pesos corrientes. Este método se utiliza debido a que calcula la densidad y proximidad de cada uno de los puntos de información, en este caso valor de la producción económica de los subsectores económicos, por lo que identifica las áreas de mayor concentración de producción económica y permite ponderar cada punto (de producción de los subsectores económicos) de acuerdo a un valor determinado (pesos corrientes), por lo que un punto resalta sobre otro, lo que permite distinguir las características de cada punto de producción económica. El resultado es una cobertura de Densidad que indica la concentración de puntos donde es más frecuente la presencia de producción económica.

C) Metodología para la identificación de Susceptibilidad ante Inundaciones Pluviales

Las inundaciones pluviales son producto de la acumulación de flujos superficiales asociados a precipitaciones intensas y a la capacidad de drenaje o infiltración de determinado territorio, por lo que asumen un componente topográfico muy importante, ya que el principal elemento para definir zonas susceptibles al fenómeno es la identificación de zonas propensas a la acumulación y confluencia de flujos hídricos.

En un entorno modificado como el de la ciudad de México, caracterizar la red de escorrentías superficiales ayuda a comprender el comportamiento de las ramificaciones de los cauces, las tendencias de acumulación y la dirección general del agua, lo que permite, en términos generales identificar zonas con mayor probabilidad a la acumulación del agua, por ende, de inundaciones pluviales.

A esta caracterización de probabilidad de acumulación la definiremos como *susceptibilidad* del fenómeno, pues es una característica siempre presente cuya expresión será condicionada por factores naturales (infiltración) y antrópicos (drenaje) los cuáles serán caracterizados en subsecuentes apartados.

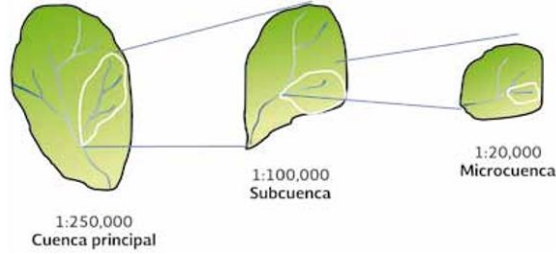
Esta susceptibilidad del fenómeno se enfoca al reconocimiento de las zonas topográficas de acumulación y flujo, para identificar la susceptibilidad de la geomorfología ante inundaciones pluviales sin considerar las condiciones inherentes al contexto geográfico de la sociedad. El mapa resultante es un análisis hidráulico del potencial de acumulación de flujos sobre un Modelo Digital de Superficie basado en los ramales de las escorrentías superficiales clasificados por orden tributario y el potencial de acumulación de agua definido mediante el Índice Topográfico de Humedad elaborado con un Modelo Digital de Terreno.

Esquema general del método

La *cuenca hidrológica* es la unidad básica de los estudios hidrológicos, se puede definir como aquella superficie del terreno donde fluye el agua de las precipitaciones o de la nieve derretida, y converge en un área de terreno bajo donde el flujo se une a un cuerpo de agua como un río, un lago, un estuario, un mar o en el océano, es decir es aquella área drenada por los flujos de agua que en determinado punto se unen y desembocan hacia otro cuerpo de agua. “Las cuencas hidrográficas son espacios territoriales delimitados por un parteaguas (partes más altas de montañas) donde se concentran todos los escurrimientos (arroyos y/o ríos) que confluyen y desembocan en un punto común llamado también punto de salida de la cuenca”. (Cotler, et. al., 2013:7).

Existen tres tipos de cuencas, considerando la salida que tienen, las endorreicas (cerradas), exorreicas (abiertas) y arreas (aquellas donde los ríos no llegan a confluir, donde se pierden o infiltran). Para las primeras el punto de salida se ubica dentro de los límites de la cuenca y por lo general es un lago. En las exorreicas el punto de salida se sitúa en los límites de la cuenca y a su vez la descarga se vierte en una corriente o en el mar. Una cuenca hidrográfica es la zona de pendiente que aporta con el flujo de agua a una salida común como un drenaje concentrado, ésta puede ser parte de otra cuenca hidrográfica de mayor dimensión y también puede contener cuencas hidrográficas de menor extensión, denominadas subcuencas y éstas a su vez microcuencas. (ESRI/ArcMap, 2016). En la siguiente ilustración se puede observar un ejemplo de la estructura jerárquica de una cuenca hidrográfica.

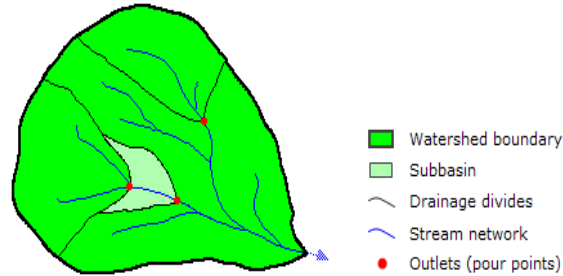
Ilustración 1 Estructura jerárquica de una cuenca hidrográfica



Fuente: Cotler, et. al., 2013

Los límites entre las cuencas hidrográficas se designan como divisiones de drenaje (Drainage divides) o parteaguas. La salida, o punto de fluidez (outlets/pour points), es el punto en la superficie en el que el agua fluye fuera de una determinada zona, es el punto más bajo a lo largo del límite de una cuenca hidrográfica (watershed boundary). La corriente o arroyo (stream network) es el área donde fluye el agua y la Subcuenca (Subbasin) es aquella superficie donde los arroyos o corrientes secundarios desaguan en el río principal (ESRI/ArcMap, 2016). El siguiente esquema identifica los componentes de una cuenca hidrológica.

Ilustración 2 Componentes de una cuenca hidrológica



Fuente: ESRI/ArcMap, 2016

Para desarrollar el análisis Hidráulico de los flujos superficiales y acumulación es necesaria la identificación de la cuenca hidrológica pertinente al área de estudio, el territorio que cubra la Ciudad de México. La delimitación de una cuenca hidrológica es un tópico tratado en diversas bibliografías relativas a la hidrología de un territorio, ya que como se mencionó con anterioridad dentro de una cuenca puede existir la presencia de otra cuenca de menor extensión. La ilustración siguiente es un ejemplo de la identificación de cuencas. (ESRI/ArcMap, 2016).

Ilustración 3 Cuencas hidrográficas delineadas



Fuente: ESRI/ArcMap, 2016

Como se recoge en Cotler, et. al., SEMARNAT (2013:8 y 10) “La elección de los niveles jerárquicos (cuencas, subcuencas o microcuencas) dependerá de los objetivos, del problema o los problemas que se busquen resolver y de los alcances del manejo y gestión”.

En México la delimitación consensuada de las cuencas es un conflicto recurrente entre los tomadores de decisiones y los científicos especializados enfocados en estas temáticas debido a la diferencia entre metodologías y objetivos empleados para dicha demarcación (Cotler, et. al., SEMARNAT, 2013: Cotler & Pineda, 2007).

Sin embargo, desde el año 2007 el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el Instituto Nacional de Ecología (ahora Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, INECC) y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) establecieron criterios topográficos e hidrográficos comunes para la delimitación de cuencas hidrográficas del país. El producto de dicho trabajo distinguió 1,471 cuencas hidrográficas, clasificando 1,389 como exorreicas, 77 endorreicas y 5 arreicas. (Cotler, et. al., SEMARNAT, 2013: Cotler & Pineda, 2007: Cotler, SEMARNAT, 2010).

Las cuencas resultantes presentan un amplio rango territorial en lo que su dimensión respecta y una desigual distribución espacial, ya que la heterogeneidad geográfica del territorio nacional determina la distinción entre cuencas, unas asumen una gran extensión territorial y otras menores superficies; según Cotler y Pineda (2007) 807 cuencas (aproximadamente el 55%) tienen menos de 50 km², en contraste 16 cuencas (1.09% del país) representan extensiones mayores de 20 000 km²

Debido a dicha desigualdad en la distinción de la extensión territorial de las cuencas, entre otros muchos aspectos políticos, sociales y ambientales para los organismos gubernamentales y gestores comunitarios continúa siendo una problemática la gestión integral de cuenca (Cotler, et. al., SEMARNAT, 2013: Cotler & Pineda, 2007: Cotler, SEMARNAT, 2010).

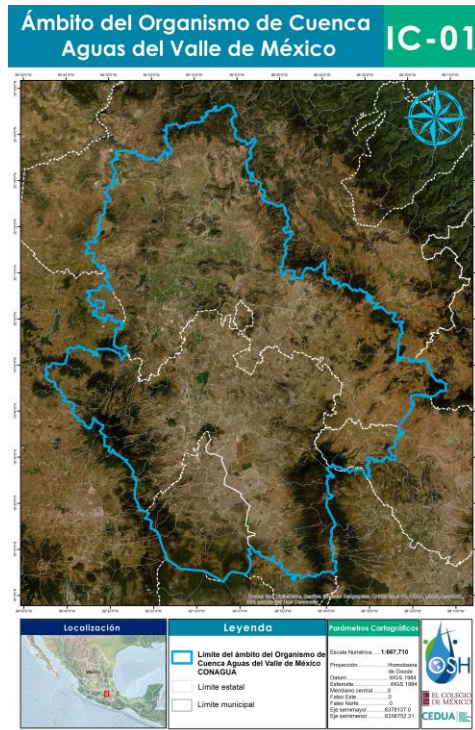
No obstante abordar temáticas inherentes al comportamiento del agua como lo es el fenómeno de la inundación requiere la identificación y delimitación de cuenca. Es necesario integrar a esta identificación el carácter jerárquico de cuenca, para concretar aquella área prioritaria de su dinámica hidrológica. Precisar el área de interés que repercute en el manejo de la demarcación administrativa, en este caso de la escala de análisis el nivel Ciudad de México, auxilia en la coordinación de acciones de los distintos órdenes de gobierno pertinentes a dicha demarcación política.

Definición de cuenca de estudio

Existen diversas delimitaciones de cuenca oficiales en donde la Ciudad de México se localiza, como el Organismo de Cuenca detallada por CONAGUA identificado en el Mapa IC-01, la concretada por el INECC mostrado en el mapa IC-02, la Subcuenca Lago de Texcoco y Zumpango perteneciente a la Cuenca del Río Moctezuma ambas delimitadas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en el Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas (SIATL), 2010, expuesta en el mapa IC-03, entre otras delimitaciones oficiales.

Sin embargo debido a la delimitación próxima y pertinente a la demarcación política, la escala de análisis que este trabajo opta por analizar es la unidad de Subcuenca, ya que como lo reconoció el INECC “la Subcuenca es la unidad de planeación-gestión para la atención a problemas relacionados con calidad ambiental y mejoramiento de calidad de vida” (Cotler & Pineda, 2007), y por el perfil de referente cartográfico que caracteriza al INEGI; esta investigación toma del Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas (SIATL)¹⁴ del INEGI a la *Subcuenca del Lago de Texcoco y Zumpango* perteneciente a la *Cuenca del Río Moctezuma* como el área de estudio del análisis hidráulico de los flujos superficiales y la acumulación sobre suelo urbano modificado en la Ciudad de México (Ver Mapa IC-03). El objetivo es definir un área útil que ejemplifique el nacimiento de los ramales de agua que repercuten o tienen incidencia en la ciudad de México.

¹⁴ El SIATL, como en su página oficial se describe, es “una aplicación geoespacial diseñada para el estudio de cuencas y cálculo de caudales en ríos y arroyos, que integra diversas capas de información y funciones que facilitan la diseminación del conocimiento del territorio de México”. La información espacial obtenida de esta fuente fue publicada en el año 2010.



Fuente: Elaboración propia con información de CONAGUA, 2016



Fuente: Elaboración propia con información de INECC, 2016 Fuente: Elaboración propia con información de SIATL del INEGI, 2010

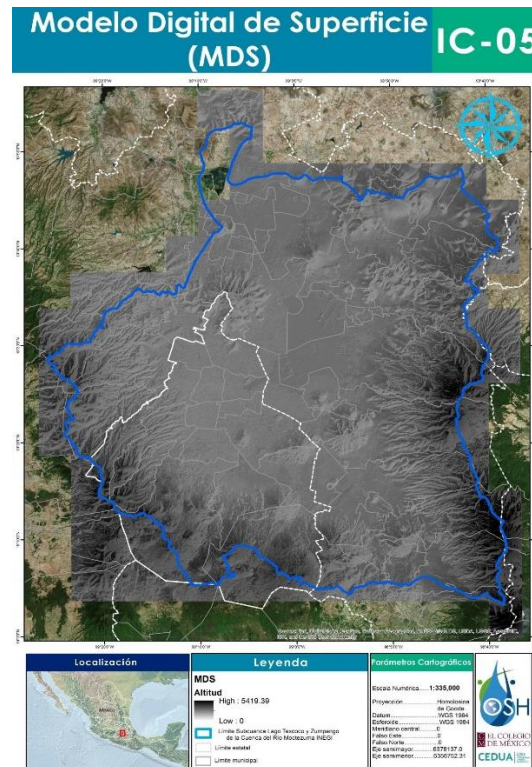
Análisis espacial hidrológico

Para esta investigación la modelación hidrológica de la subcuenca es definida en base a un Modelo Digital de Elevación (DEM) al calcular diferentes parámetros relativos a los flujos superficiales dentro de un Sistema de Información Geográfica (SIG), al utilizar distintas herramientas de Hidrología en ArcMap. Dichas herramientas se encuentran disponibles con una licencia de Spatial Analyst, se utilizan para modelar el flujo de agua a través de una superficie.

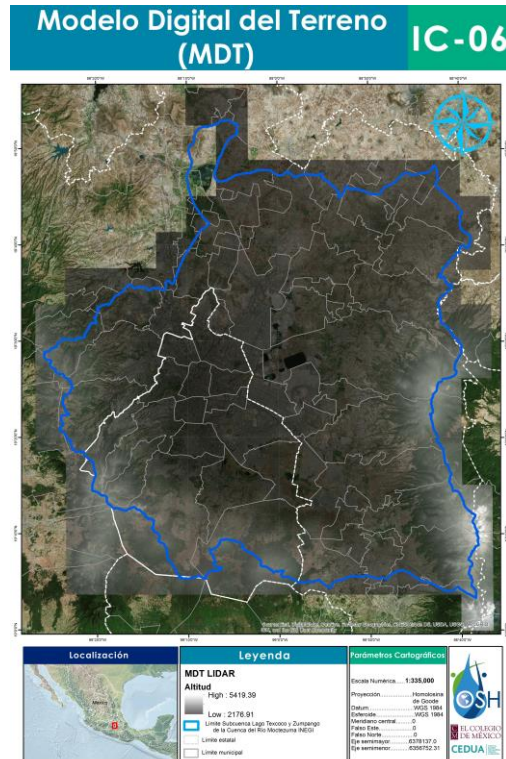
Mediante el uso de las diferentes herramientas de Hidrología en el SIG es posible analizar la forma en que fluye el agua a través de una determinada área y cómo las diferencias en dicha área pueden afectar ese flujo.

El análisis se desarrolla a partir de un mosaico compuesto por Modelos Digitales de Elevación de alta resolución LIDAR (MDE o DEM por sus siglas en inglés) tipo Terreno y Superficie que cubren la totalidad de superficie de la Ciudad de México y las potenciales zonas tributarias de las escorrentías que fluyen en la ciudad, aquellos MDE que tocan el límite de la Subcuenca del Lago de Texcoco y Zumpango, área definida por INEGI. En el Mapa IC-04 “Claves de Ortofotos” es posible identificar todas los MDE que se encuentran dentro del área de estudio y que por ende se emplearon para realizar el análisis hidrológico.

Los Modelos Digitales de Superficie (MDS) y Modelos Digitales de Terreno (MDT) fueron publicados por INEGI en el año 2011, el mosaico resultado de la obtención de dicha información se puede apreciar en los mapas IC-05 MDS y IC-06 MDT. Como se ve en ellos únicamente dos MDE de alta resolución LIDAR pertinentes al área de la Subcuenca del Lago de Texcoco y Zumpango ubicados al noroeste y fuera del rango territorial de la Ciudad de México no se pudieron integrar en el mosaico de MDE y por tanto en el análisis de esta investigación debido a la falta de información de estos, ya que no se encuentran disponibles en la página del INEGI, ni en otra fuente oficial de carácter público.



Fuente: Elaboración propia con información del INEGI, 2011



Fuente: Elaboración propia con información del INEGI, 2011

Dentro del análisis hidrológico se emplearon MDT LIDAR para el cálculo del Índice Topográfico de Humedad (ITH) de la subcuenca estudiada, proceso que se detallará en páginas subsiguientes, y con los MDS LIDAR se modelaron los flujos superficiales.

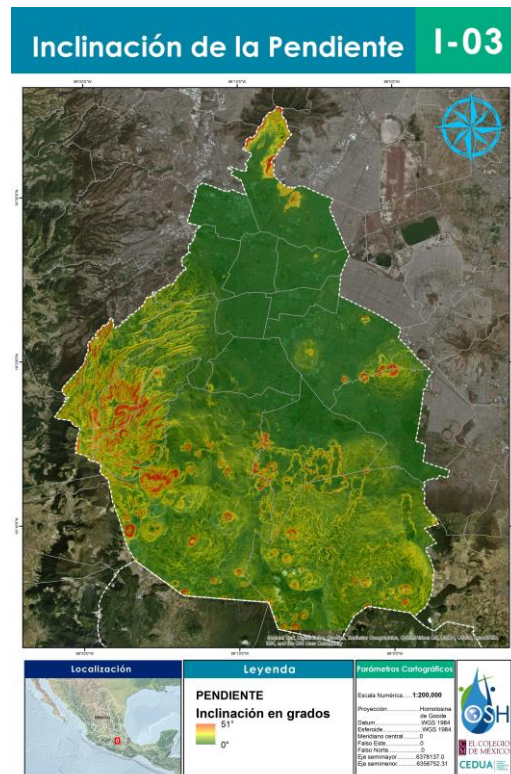
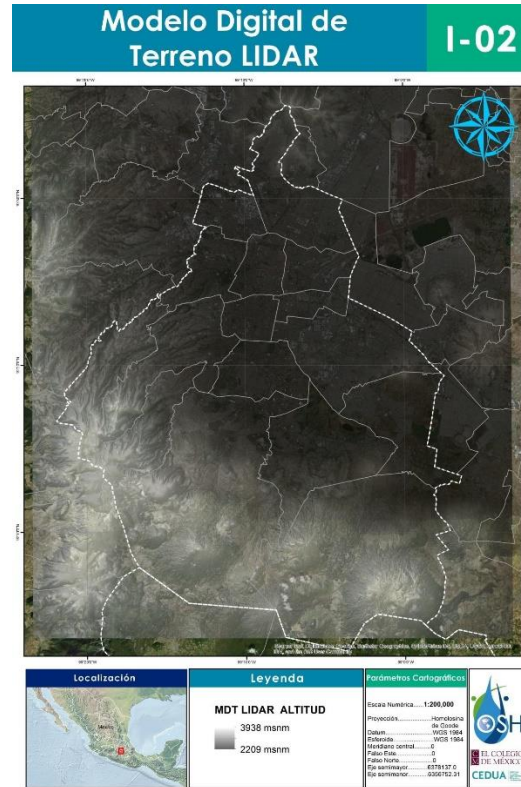
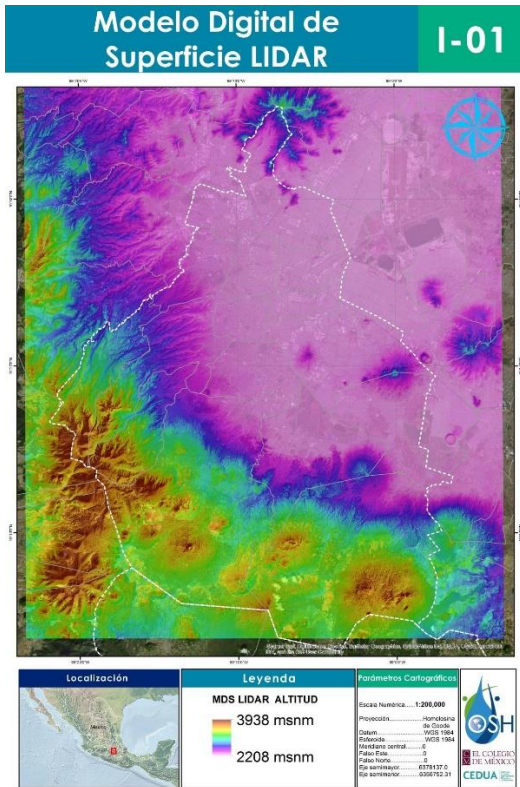
Cada Modelo Digital de Elevación de alta resolución LIDAR (tanto de superficie como de terreno) se encuentra a una resolución espacial de 5 metros, es decir donde cada pixel del mapa equivale a 5x5 metros del terreno, el nivel de detalle, al emplear este tipo de modelos tiene una diferencia altimétrica, una resolución vertical, de 10 cm, lo que otorga una imagen muy detallada de la ciudad y sus construcciones. La resolución en escala Ciudad de México se presenta en el mapa I-01 MDS, I-02 MDT.

El análisis tiene como principio básico la topografía por lo que es necesario precondicionar el terreno para generar un Modelo Digital de Elevaciones que no presente huecos de información, que sea hidrológicamente correcto, pues los huecos son un elemento que altera drásticamente los resultados de una modelación de flujo.

Herramientas de Análisis espacial hidrológico (identificación y relleno de sumideros)

Es indispensable pre-acondicionar el terreno con las herramientas de *identificación y relleno de sumideros* debido a que la modelación del mosaico LIDAR suele mostrar errores topológicos al realizar procesos hidráulicos, ya que dentro de la composición topográfica de la Ciudad de México se tiene una diferencia altimétrica circunstancial entre el suroeste y el noreste del área de estudio (ver mapa “Inclinación de la pendiente” I-03 y mapas I-01 e I-02), por lo que la modelación puede considerar como un sumidero las áreas con grandes diferencias altimétricas, las de menores altitudes en la ciudad, en este caso la parte este. Lo anterior puede significar un error que limita la definición con claridad y precisión de las escorrentías presentes en la carpeta asfáltica y sus construcciones.

Por tanto, se deben efectuar rectificaciones al mosaico de MDS LIDAR para permitir modelar el comportamiento de zonas de parteaguas, áreas donde la lluvia no se capta hacia la misma zona o región si no hacia otra.



Fuente: Elaboración propia con información del INEGI, 2011

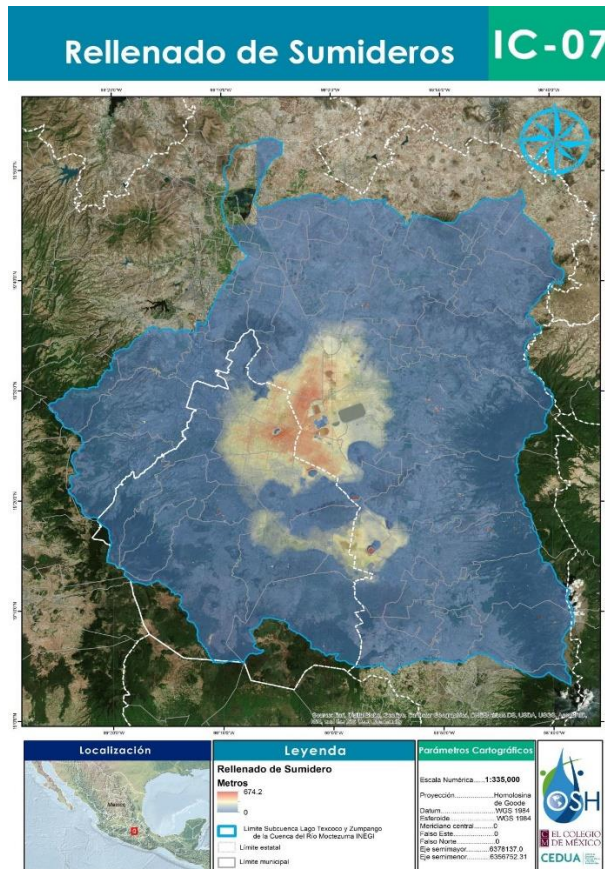
Por ello se realiza un ajuste que identifique con mayor precisión el comportamiento de las escorrentías. Los pasos empleados en un Sistema de Información Geográfica (SIG) para rectificar cada MDS son los siguientes:

Aplicar un proceso llamado **rellenado de Sumideros**, el cual permite identificar zonas que tienen una diferencia altimétrica circunstancial por lo que podrían alterar el curso de una escorrentía, es decir zonas en donde el agua podría acumularse.

Para utilizar este proceso se definen parámetros de diferencias de altitudes específicas al área de estudio, de lo contrario la modelación considera como sumideros todas aquellas zonas donde la diferencia sea mayor a la media de la distribución entre el punto máximo y el punto más bajo. Es decir al efectuar el proceso del relleno de sumideros la diferencia altimétrica entre el punto más alto de la cuenca y el punto más bajo, “suavizaba” el relieve, en el caso de la ciudad hacia el oriente, identificando como un sumidero la región del aeropuerto y las delegaciones adyacentes.

En el caso de la Ciudad de México, al tratarse de un entorno urbano, para representar de la forma más precisa el relieve y sus componentes hidráulicos, es necesario utilizar un Modelo Digital de Superficie (MDS), pues éste integra información de la infraestructura urbana, es decir la traza de las calles y demás estructuras, ya que es muy posible que los flujos dependan de la traza urbana.

Por dicha condición se condicionó en el proceso de rellenar sumideros, pues se estableció el parámetro en el SIG de que solamente se rellenaran aquellos sumideros que presentaran una diferencia vertical superior a 2.4 metros, considerando que esa es la altura estándar de una vivienda, ya que de acuerdo con el Reglamento de construcción de la ciudad de México la altura mínima de una vivienda con solo planta baja es de 2.4 metros y con un solo nivel de construcción (planta baja y 1 nivel) es de 4.8 metros. El resultado del ejercicio define una modelación hidráulica con mucho mayor precisión y detalle, ya que áreas como el aeropuerto, que antes eran imperceptibles, se aprecian con claridad, aunque de igual manera sigue considerando al oriente de la ciudad como una zona con una geomorfología muy homogénea.



Fuente: Elaboración propia con información del INEGI, 2011

La herramienta *rellenado de Sumideros* suaviza el cambio abrupto de pendiente, como se observa en el mapa IC-07 las áreas marcadas con color rojo son las áreas bajas que fueron rellenadas, es decir que el SIG no las identifica igual a las partes más bajas, las toma como “menos bajas”, de acuerdo a la altitud alta o baja con respecto a la mayor altitud del área de estudio le agrega altitud a las distintas áreas. Los metros que relleno se marcan en el mapa, en el caso de esta cuenca al emplear el MDS la distancia vertical más grande que relleno es de 674.2 m en las áreas rojas para mantener el flujo del agua y no se tome como sumidero. Este proceso se efectúa para ajustar tanto el MDT como el MDS, en el de MDT las elevaciones son más abruptas y en el MDS el parámetro de ajuste es el antes referido 2.4 metros (altura mínima de una vivienda).

Una vez verificado el relleno de sumideros, se ejecuta una clasificación por pixel de la dirección del agua, este proceso se le llama *dirección de flujo*.

Dirección de flujo

En el proceso de dirección de flujo se clasifica cada pixel de acuerdo a la diferencia altimétrica, se identifica la posible trayectoria que presenta un flujo; si va a fluir hacia el norte, noreste, este, sureste, sur, suroeste, oeste o noroeste.

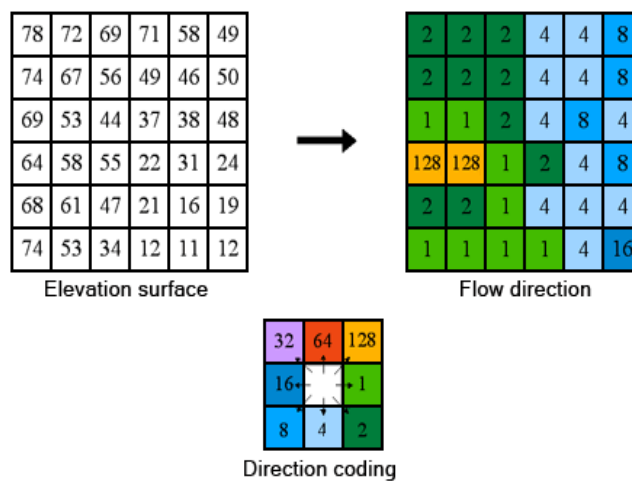
Para definir dicha característica hidrológica se emplea la herramienta “dirección de flujo” dentro del SIG la cual toma una superficie como entrada, en este caso el Modelo Digital de Elevación tipo Superficie y aporta como resultado un ráster que representa la dirección de flujo que muestra cada celda. (ESRI/ArcMap, 2016a)

La dirección se obtiene a partir de la relación geográfica que existe entre celdas vecinas y su diferencia altimétrica, es decir si la celda vecina ubicada al este es mayor en términos verticales (altimétricos), la dirección de flujo va a ser contraria favoreciendo la gravedad por lo que su dirección de flujo se orientará al oeste.

El ráster resultante es una matriz de ocho posibles valores, asignados por cada rumbo de los puntos cardinales (norte, noreste, este, sureste, sur, suroeste, oeste o noroeste), la relación donde puede dirigirse el flujo entre las celdas adyacentes está condicionada a este enfoque denominado “el modelo de flujo de ocho direcciones (D8)”, el cual se basa en los lineamientos metodológicos planteados por Jenson and Domingue (1988) en “Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis” (ESRI/ArcMap, 2016a).

En la siguiente imagen se identifica lo que el Sistema de Información Geográfica (SIG) realiza al emplear dicha herramienta, toma en cuenta las celdas de acuerdo con su elevación altimétrica y las clasifica por dirección de flujo de acuerdo a lo arriba referido.

Ilustración 4 Dirección de Flujo



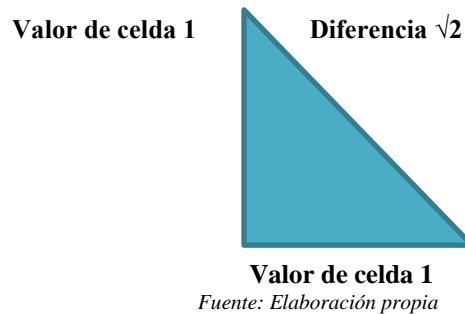
Fuente: Descripción de Herramientas de ArcMap (<http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-flow-direction-works.htm>)

La dirección de flujo se determina por la dirección del descenso más desnivelado, la diferencia vertical máxima, desde cada celda, su cálculo se basa en la siguiente función:

$$\text{Diferencia vertical máxima} = \text{cambio en el valor de la celda} / \text{distancia} * 100$$

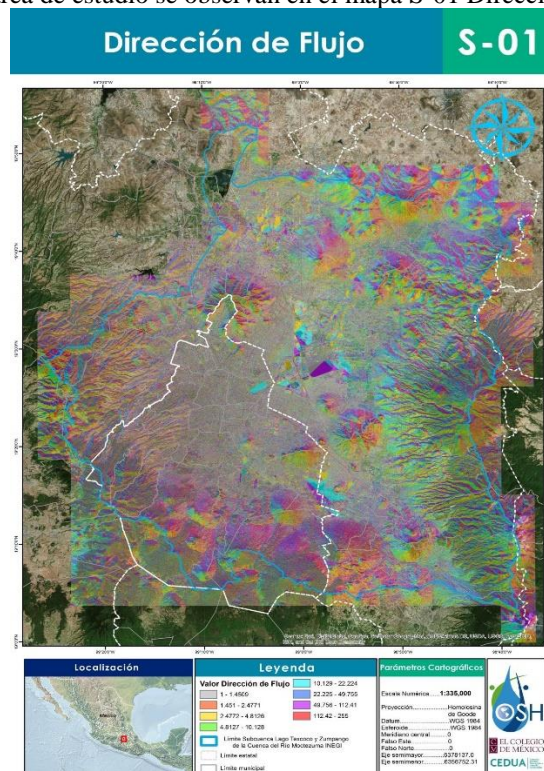
La distancia se calcula entre los centros de las celdas, mediante el teorema de Pitágoras ya que considera la distancia vertical que existe entre ambos puntos, por ejemplo si el tamaño de celda es 1, la distancia entre dos celdas adyacentes es 1, y su distancia diagonal es la raíz cuadrada de 2, por el principio de Pitágoras ($h = \sqrt{a^2 + b^2}$) ya que calcula la hipotenusa que se forma por el ángulo que separa las distancias de los valores de las celdas considerando su diferencia altimétrica, tal como se ejemplifica en el siguiente esquema:

Ilustración 5 Teorema de Pitágoras aplicado a la diferencia vertical entre dos puntos



Cuando la diferencia vertical máxima de varias celdas es la misma, la vecindad se amplifica hasta que se encuentra el descenso más desnivelado, en el momento que se encuentra dicha característica la celda resultante se codifica con el valor que representa esa dirección. (ESRI/ArcMap, 2016a)

Si dos celdas fluyen entre sí, se trata de sumideros que tienen una dirección de flujo indefinida, para evitar esta situación es que se realiza primero el proceso de rellenado de Sumideros. Los resultados del uso de esta herramienta en el MDS del área de estudio se observan en el mapa S-01 Dirección de Flujo.



Fuente: Elaboración propia con información del INEGI, 2011

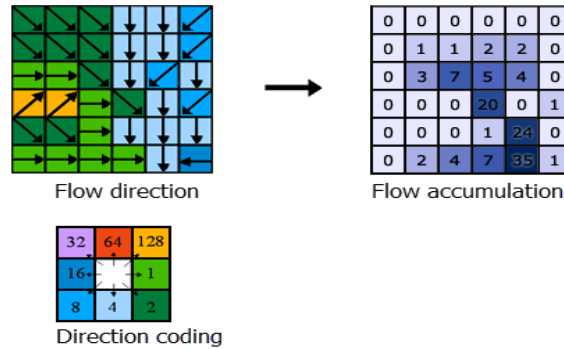
El siguiente paso en la identificación de susceptibilidad ante inundaciones pluviales, la caracterización del comportamiento hidráulico del relieve, es estimar la **acumulación de flujo** para poder identificar conforme a la dirección de flujo donde convergen dos direcciones iguales, es decir, donde existen dos pixeles contiguos que fluyen en la misma dirección.

Acumulación de flujo

En el SIG la herramienta “Acumulación de flujo” calcula el flujo acumulado de todas las celdas que fluyen en cada celda de pendiente descendente en el ráster resultante (ESRI/ArcMap, 2016b).

Como se observa en la ilustración siguiente, en la parte superior izquierda de la imagen se observa un ejemplo de las posibles direcciones de flujo de cada celda, el esquema de la parte superior derecha identifica el número de celdas que fluyen hacia cada celda, que acumulan el flujo. (ESRI, ArcMap, 2016b).

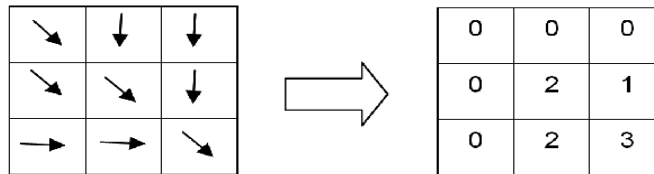
Ilustración 6 Acumulación de Flujo



Fuente: Descripción de Herramientas de ArcMap (<http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-flow-accumulation-works.htm>)

En el punto en donde fluyen dos pixeles se le asigna un valor uno (1), de esta forma la puntuación va acumulándose hasta que se tiene una red completa la cual indica donde existe mayor acumulación de los pixeles conforme a la acumulación de flujo, como se observa en la siguiente ilustración:

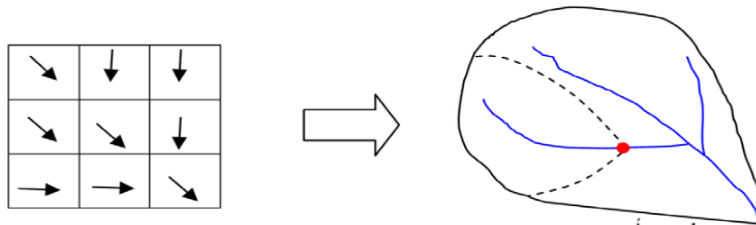
Ilustración 7 Dirección del flujo y acumulación del mismo.



Fuente: Adaptado de Tarboton et al. (1991) y Jenson y Domingue (1988).

Las celdas con una acumulación de flujo alta identifican zonas de flujo concentrado, las cuales pueden ser útiles para estimar escorrentías o canales de arroyos, tal como se visualiza en la siguiente imagen:

Ilustración 8 Acumulación de Flujo. Dirección del flujo y área de desagüe.



Fuente: Adaptado de Jenson y Domingue (1988)

Lo anterior se analiza en Identificación de redes de escorrentías o arroyos, por su parte las celdas con una acumulación de flujo nula son alturas topográficas que pueden identificar crestas. (ESRI/ArcMap, 2016b).

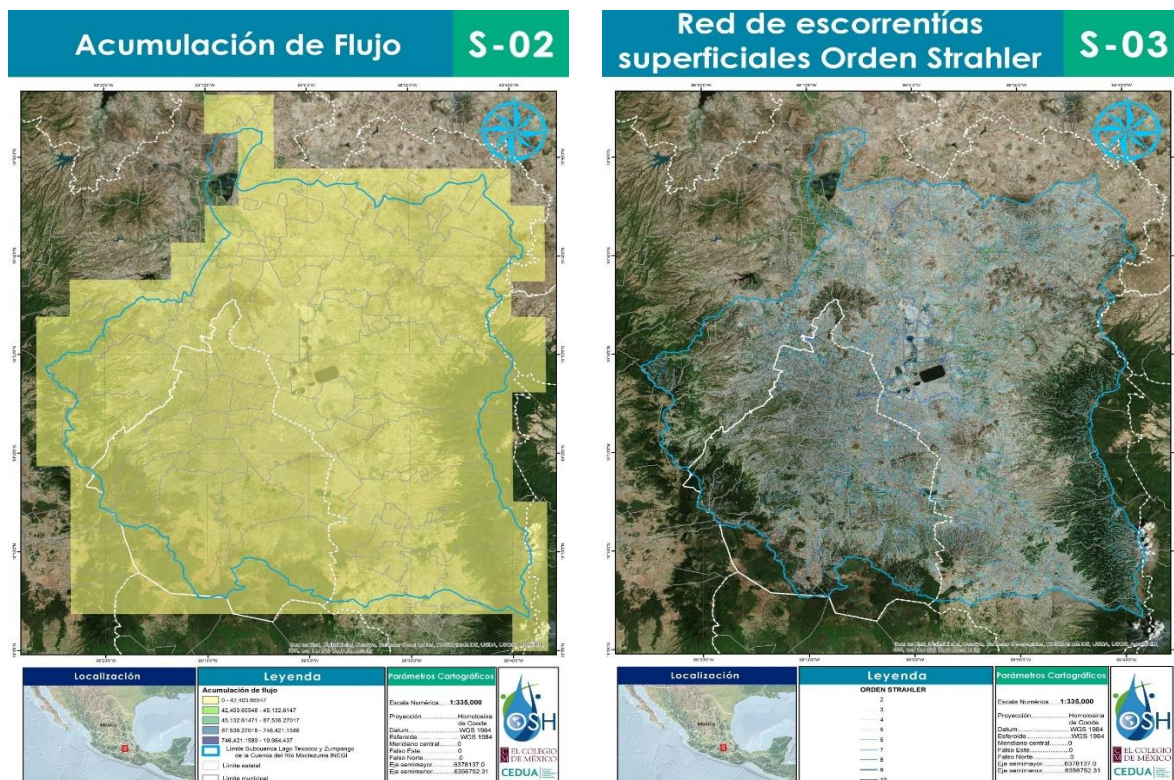
El resultado de la acumulación de flujo depende del número de celdas que definen cada escorrentía, al tener un mallado de acumulación de flujo se debe definir la cantidad de pixeles que deben concurrir, que se acumulan

en orden sucesivo trazando una línea, para identificar una escorrentía, ya que la identificación de una escorrentía superficial del terreno se define por una ecuación que representa la cantidad mínima de píxeles contiguos para identificar afluentes o arroyos.

De manera que el valor condicional que se asigne al sistema determina la cantidad de celdas de aportación, por ejemplo al asignar en el SIG dentro de la calculadora ráster un valor condicional de cien ($\text{Valor} \geq 100$) se identificará una red de toda escorrentía generada a partir de cien celdas de aportación.

Para el caso de la Ciudad de México se asignó una ecuación condicional dentro de la herramienta de acumulación de flujo, con un valor de 50 celdas o píxeles ($\text{Valor} \geq 50$) en la calculadora ráster en el SIG para definir escorrentías, debido a que por la superficie territorial del área de estudio mayor desarrollo en esta escala no es apreciable.

Dicha ecuación condicional resulta en una red de escorrentías en formato ráster que clasifica el máximo de celdas aportadas a cada escorrentía definida. En el mapa S-02 se identifican los píxeles obtenidos por la herramienta acumulación de flujo, los cuales se presentan como pequeños puntos solo perceptibles con un zoom adecuado, para su mejor comprensión estos datos se trasladan a la acumulación que define los flujos, los cuales en el mapa S-03 se observan clasificados por Orden Strahler, proceso que se describe a continuación.

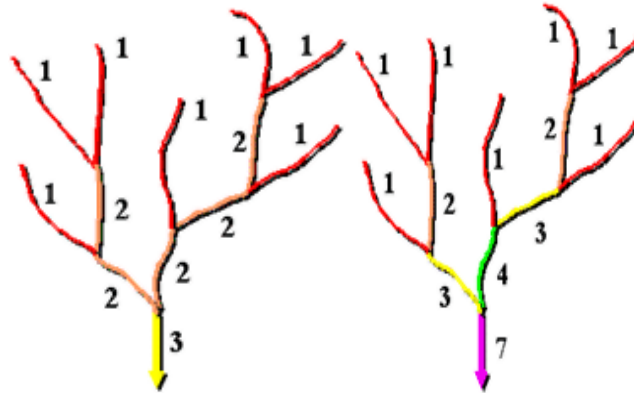


Fuente: Elaboración propia con información del INEGI, 2011

Después de identificar por celdas o píxeles la acumulación del flujo el siguiente paso para la definición de las inundaciones pluviales es la clasificación del Orden de escorrentías por cantidad de ramales y potencial de acumulación.

El Orden de clasificación de la red Hidrográfica definida, ofrece la identificación de aquellas áreas no solo de mayor acumulación sino donde la confluencia de los ríos de desigual orden aporta más agua a los arroyos superficiales. La clasificación de arroyos o escorrentías es un método que asigna un orden numérico a los vínculos en una red de arroyos. Dicho método permite identificar y organizar los tipos de arroyos o escorrentías basadas en la cantidad de afluentes. (ESRI/ArcMap, 2016c). Dentro del SIG con dicha herramienta, **Clasificación de arroyos**, existen dos métodos de clasificación de orden, los propuestos por Strahler (1957) y Shreve (1966). (ESRI/ArcMap, 2016c).

Ilustración 9 Clasificación de Corrientes Strahler (Izquierda) y Shreve (Derecha)



Fuente: Descripción de Herramientas de ArcMap (<http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-stream-order-works.htm>)

En ambos métodos, se asigna un valor de 1 a los vínculos exteriores, los segmentos de arroyo aguas arriba (ESRI/ArcMap, 2016c).

Orden de flujos

Método de Strahler

El método de Strahler asigna un orden de 1 a todos los vínculos sin afluentes clasificándolos como de primer orden, la clasificación de escorrentías o arroyos aumenta conforme los arroyos del mismo orden intersecan. Es decir, la intersección de dos vínculos de primer orden establecerá un vínculo de segundo orden, la intersección de dos vínculos de segundo orden creará un vínculo de tercer orden, y así sucesivamente. No obstante la intersección de dos vínculos de distintos órdenes no aumentará el orden. Por ejemplo, la intersección de un vínculo de primer orden y segundo orden no creará un vínculo de tercer orden, mantendrá el orden del vínculo con el orden más alto.” (ESRI/ArcMap, 2016c).

Este método de clasificación de arroyos es el más conocido. Sin embargo, debido a que este método sólo aumenta el orden en las intersecciones del mismo orden, no toma en cuenta todos los vínculos y puede ser susceptible a la adición o remoción de vínculos. (ESRI/ArcMap, 2016c).

El **Orden Strahler** permite clasificar niveles que varían entre 1 (arroyo sin afluentes) y 12 (el río más importante a nivel mundial: el Amazonas en su desembocadura), de acuerdo a la cantidad de ramales que son tributarios de una escorrentía, sin embargo utilizar este método de clasificación ofrece menor precisión al identificar áreas de potencial acumulación de flujos superficiales en un territorio urbano modificado como lo es la Ciudad de México. El resultado de dicha clasificación para las escorrentías del área de estudio se puede apreciar por orden en el mapa S-03 y por intensidad en el mapa S-04.

Método de Shreve

El método de Shreve tiene en cuenta todos los vínculos presentes en la red hidráulica. De la misma manera que en el método de Strahler, a todos los vínculos exteriores se les asigna un orden de 1. La diferencia radica en que los vínculos interiores de los órdenes son aditivos. Dicho de otro modo, la intersección de dos vínculos de primer orden crea un vínculo de segundo orden, la intersección de un vínculo de primer orden y uno de segundo orden forma un vínculo de tercer orden, y la intersección de un vínculo de segundo orden y uno de tercer orden define un vínculo de cuarto orden. (ESRI/ArcMap, 2016c).

Por lo anterior, los números del método de Shreve se conocen como magnitudes en lugar de órdenes, la magnitud de un vínculo en este método es la cantidad de vínculos de arroyos arriba. (ESRI/ArcMap, 2016c). El método clasifica de lo menor a lo mayor, es decir siempre el ramal principal va a tener mayor cantidad de ramales que un tributario, por el orden aditivo de clasificación. La clasificación de los flujos se asigna por la cantidad de ramales, con ello se identifican las escorrentías de mayor acumulación. El orden de escorrentías superficiales asignado por intensidad de muy bajo a muy alto de esta clasificación dentro del área de estudio se puede observar en el mapa S-05.

Los resultados de las clasificaciones de escorrentías son rásters que identifican el área de acumulación de los flujos categorizados por magnitud, muestran el área real de aportación de cada una de las escorrentías, definen aquellas zonas donde el agua va a fluir hacia distintas direcciones, ya que para elaborarlas se define a través de los MDE la dirección, intensidad y acumulación de flujo. Para tener una mejor estimación del entorno hidrológico del área de estudio ambas clasificaciones de escorrentías son unidas en el SIG en la calculadora raster mediante un promedio en partes iguales de las dos coberturas.

Lo anterior resulta en una modelación con mucha precisión, al tener una distribución de escorrentías que permite clasificar las zonas de mayor o menor potencial de acumulación de flujos superficiales, elemento que se considera un indicador de susceptibilidad en la identificación del riesgo ante inundaciones pluviales en la ciudad. El resultado de la modelación de la Subcuenca Lago de Texcoco y Zumpango, el área de estudio, se observa en el mapa S-06 “Orden de escorrentías superficiales”.



Fuente: Elaboración propia con información del INEGI, 2011

Índice Topográfico de Humedad

El Índice Topográfico de Humedad (ITH o TWI por sus siglas en inglés; *Topographic Wetness Index*) expresa la tendencia que tiene determinado suelo a la generación de escorrentías, debido a que los perfiles con mayor humedad son más proclives a saturarse, la presencia de precipitación sobre los suelos con mayor humedad puede convertirse con mayor facilidad en escorrentía. El valor de este índice refleja la concentración de humedad que presenta determinado territorio o celda en función de su configuración topográfica (Roa Lobo y Kamp, 2012).

El cálculo del Índice Topográfico de Humedad se basa en una secuencia de análisis de Modelos Digitales de Terreno (MDT) y su morfología para identificar las zonas de mayor potencial de acumulación de humedad. Para dicha delimitación del potencial de humedad y el respectivo cálculo del Índice Topográfico de Humedad (ITH) esta investigación empleó los Modelos Digitales de Elevación de Alta Resolución LIDAR, con resolución de 5 metros tipo Terreno, GRID publicados por INEGI en 2011 pertenecientes a la Subcuenca Lago Texcoco y Zumpango, el área de estudio a nivel cuenca que incluye en su circunscripción a la Ciudad de México, el mosaico de dichos MDT se puede apreciar en el mapa IC-06 expuesto en páginas anteriores.

Para realizar el cálculo del Índice Topográfico de Humedad (ITH), se procede a hacer una primera corrección del MDT, a través del llenado de sumideros, es decir un relleno de píxel que actúen como “agujeros”, para lo cual se utiliza la herramienta antes descrita **identificación y relleno de sumideros**. Después de dicha corrección se procesó y elaboró el mapa de direcciones de flujo relativo al MDT con la herramienta antes referida **dirección de flujo**, este producto cartográfico servirá de referencia para conocer la dirección que tomarían las potenciales masas de agua superficial a lo largo de la superficie del territorio. (Matellanes, 2018).

Posteriormente se utiliza la herramienta de **acumulación de flujo** para identificar las zonas de acumulación de agua, aquellos lugares que habitualmente responden a zonas de vaguadas o valles acentuados. Es necesario contar con un tercer mapa, correspondiente a las pendientes de la zona de estudio, el cual se obtiene del ráster del mosaico del MDT. Este mapa permite el análisis de detalles del territorio más particulares y se aprecia a nivel cuenca en el mapa ITH-1 y a nivel Ciudad de México en el mapa I-03.

Para proceder en la elaboración del ITH según Matellanes (2018) se calcula la tangente de la pendiente en la calculadora ráster dentro del SIG al incorporar la siguiente expresión (para obtener los valores tangenciales):

$$ST = \text{Con} (|SR| > 0, \text{Tan}(|SR|), 0.001)$$

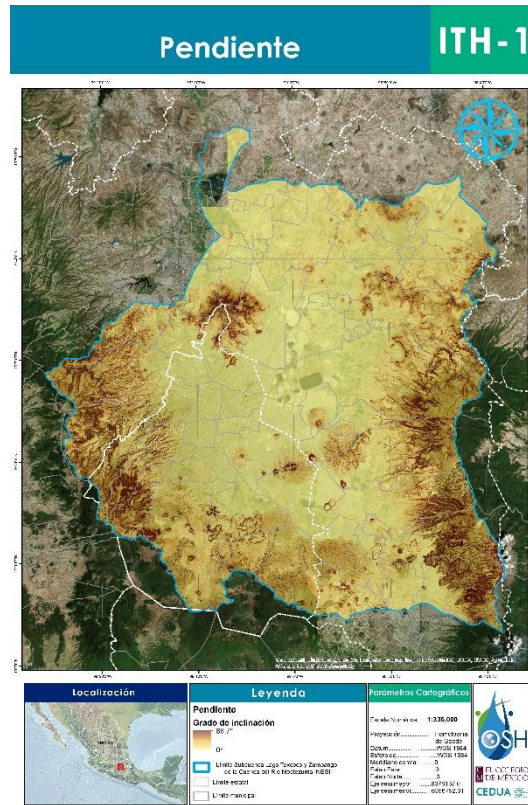
Como segundo paso se procede al cálculo de la superficie de contribución de aguas arriba (Upstream contributing area). Esta capa de información se puede obtener con la siguiente ecuación:

$$UCA = ([ACUMULACION] + 1) * TAMAÑO PIXEL$$

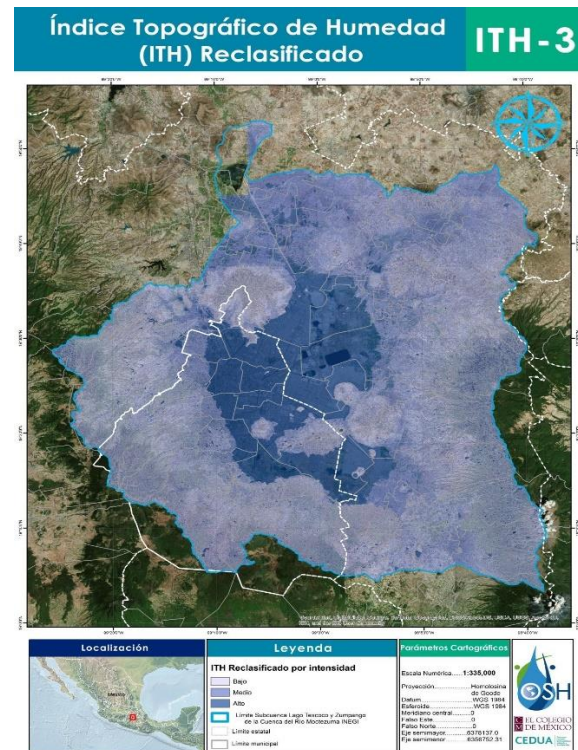
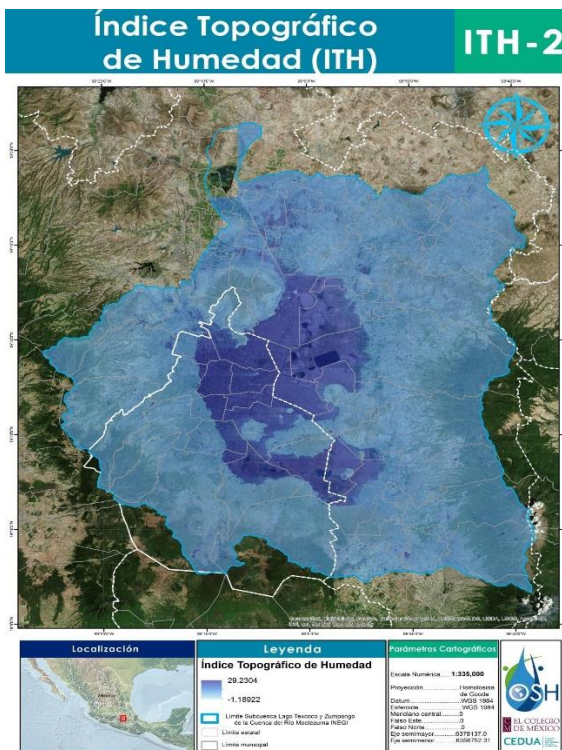
Con la disposición de los datos arriba referidos se aplica la función para el cálculo del Índice Topográfico de Humedad (ITH) a través de la siguiente expresión:

$$TWI = \text{Ln} (UCA) / (ST)$$

El mapa resultante de dicho cálculo en la subcuenca se puede observar en el mapa ITH-2 y su respectiva reclasificación (del ITH) ordenada por intensidad en bajo, medio y alto se aprecia en el ITH-3, ambas cartografías identifican las zonas actualmente ocupadas por masas de agua y las zonas con mayor potencial de inundación, las superficies con un azul más fuerte representan las áreas de mayor susceptibilidad a la acumulación de agua hasta un límite territorial máximo. Estos mapas también identifican zonas que, sin responder a ecosistemas húmedos, presentan características que las hacen susceptibles de ser potencialmente inundadas.



Fuente: Elaboración propia con información del INEGI, 2011



Fuente: Elaboración propia con información del INEGI, 2011

Susceptibilidad a inundaciones pluviales

La Susceptibilidad a inundaciones pluviales es un análisis hidráulico del potencial de acumulación de flujos sobre un Modelo Digital de Superficie basado en los ramales de las escorrentías superficiales clasificados por orden tributario y el potencial de acumulación de agua definido mediante el Índice Topográfico de Humedad elaborado con un Modelo Digital de Terreno.

La cartografía de susceptibilidad ante inundaciones pluviales es el producto de los mapas resultantes de los dos procesos anteriormente descritos, producto de los Modelos Digitales de Superficie (MDS) y los Modelos Digitales de Terreno (MDT) procesados en la Subcuenca Lago Texcoco y Zumpango, el mapa del *orden de escorrentías superficiales* (que detalla la susceptibilidad ante escorrentías categorizando la acumulación de los flujos superficiales tomando en cuenta la superficie modificada del área de estudio) y el *Índice Topográfico de Humedad* (que identifica el potencial de acumulación de humedad).

Esta cartografía se adquiere mediante el cruce algebraico (producto aritmético) de las capas de información *Orden de escorrentías superficiales* e *Índice Topográfico de Humedad* en el SIG dentro de la calculadora ráster. Dicho producto clasificado por grado de susceptibilidad se puede observar en el mapa IP-01, donde tal como se clasifican las amenazas en Protección Civil se identifica de una escala de verde a rojo la intensidad del potencial de ocurrencia del fenómeno, aquellas áreas más susceptibles a sufrir inundaciones se marcan con color rojo (con un muy alto grado de susceptibilidad), en contraste con las zonas de menor susceptibilidad teñidas de tono verde fuerte (muy bajo grado de susceptibilidad).

La identificación de la *susceptibilidad* ante inundaciones pluviales presente en el territorio correspondiente a la Ciudad de México es la primera fase en el reconocimiento integrado del riesgo ante este fenómeno que experimenta la jurisdicción política.



Fuente: Elaboración propia con información de los productos cartográficos generados en este apartado

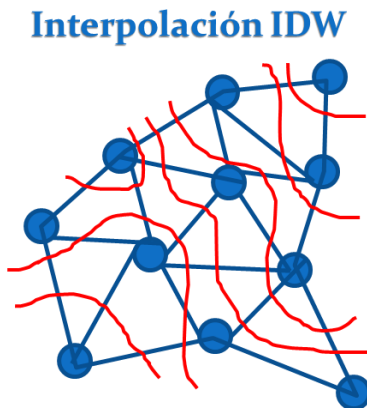
D) Metodología de Interpolación de la Distancia Inversa Ponderada (IDW)

Este método de análisis espacial se emplea cuando se tienen valores conocidos y se estiman las áreas desconocidas mediante la interpolación de dichos valores, la superficie que se interpola es de una variable dependiente de su ubicación. La interpolación mediante distancia inversa ponderada (IDW) asigna los valores de celda por medio de una combinación ponderada linealmente de un conjunto de puntos de muestra, este método presupone que la variable que se representa cartográficamente disminuye su influencia a mayor distancia desde su ubicación de muestra. Por ejemplo, al interpolar una superficie de poder adquisitivo de los consumidores para analizar las ventas minoristas de un sitio, entre mayor sea la distancia de la ubicación del dato del poder adquisitivo el valor tendrá menos influencia ya que es más probable que los consumidores adquieran un producto cerca de sus casas. (ESRI, 2016)

El método IDW está basado en la inversa de la distancia elevada a una potencia matemática del valor de salida para una celda, el cual se limita al rango de valores utilizados para la interpolación. Dado que la IDW es un promedio de distancia ponderada, el promedio no puede ser mayor que la entrada máxima o inferior que la entrada mínima. Por lo tanto, no puede crear crestas o valles si estos extremos aún no se han muestreado (Watson y Philip 1985).

Los resultados de la interpolación IDW mejoran conforme cuando la muestra de información es más densa respecto de la variación local que se intenta simular, pues si la muestra de los puntos de entrada es dispersa, los resultados de la aplicación del método pueden no representar la superficie examinada (Watson y Philip 1985).

Algunos datos de entrada pueden tener algunos puntos con la misma ubicación, si asumen los mismos valores se consideran duplicados y no afectan al valor de salida, si los valores son diferentes, se consideran puntos coincidentes, las herramientas de interpolación pueden estimar esta condición de distintas maneras, ya que puede que el primer punto coincidente encontrado se utilice para el cálculo o se utilice el último punto encontrado, por lo que los resultados pueden contener errores, por ello es recomendable trabajar los datos eliminando los puntos coincidentes, lo cual lo puede hacer la herramienta Capturar eventos de la caja de herramientas de Estadística espacial de la paquetería de ESRI en un Sistema de Información Geográfica (SIG). (ESRI, 2016)



Fuente: Elaboración propia

Bibliografía

- Al-Otaibi, A., & Abdel-Jawad, M. (2007). Water security for Kuwait. *Desalination*, 214(1-3), 299-305
- Arjen Y Hoekstra et al. (2018). Urban water security: A review. *Environmental Research Letters*, 20. Recuperado de (Doi): <<https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaba52>>
- Arredondo-Hernandez, L. J. R., Diaz-Avalos, C., Lopez-Vidal, Y., Castillo-Rojas, G., Mazari-Hiriart, M., & Singer, A. C. (2017). FRNA Bacteriophages as Viral Indicators of Faecal Contamination in Mexican Tropical Aquatic Systems. *PLoS ONE*, 12(1). Recuperado de <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0170399>>.
- A. Scott, C., Albrecht, T., De Grenade, R., Zuniga-Teran, A., Varady, R., & Thapa, B. (2018). Water security and the pursuit of food, energy, and earth systems resilience. *Water International*. Recuperado de: <<https://doi.org/10.1080/02508060.2018.1534564>>.
- Asamblea General de Naciones Unidas. (2016). Informe del grupo de trabajo intergubernamental de expertos de composición abierta sobre los indicadores y la terminología relacionados con la reducción del riesgo de desastres. Naciones Unidas. Recuperado de <https://www.preventionweb.net/files/50683_oiewgreportspanish.pdf>. Fecha de consulta <28 de junio de 2019>
- B.A. Willaarts, A. Garrido, L. De Stefano, M.R. Llamas (Edits.), *Seguridad hídrica y alimentaria en América Latina y el Caribe: Implicaciones regionales y globales*, Fundación Botín, 2014
- Becoña, E. (2006). Resiliencia: definición, características y utilidad del concepto. *Revista de Psicopatología y Psicología Clínica* Vol. 11, Num.3, pp. 125-146. Recuperado de <<http://revistas.uned.es/index.php/RPPC/article/view/4024>> Doi: <<https://doi.org/10.5944/rppc.vol.11.num.3.2006.4024>> [fecha de consulta: 29 de junio de 2019].
- Benítez Verónica. (mayo 2009). Túnel Emisor Oriente, obra única en su tipo a nivel mundial. *Gaceta del Instituto de Ingeniería UNAM*. Ciudad de México. ISSN 1870-347X No. 51. Recuperado el 11 de marzo del 2019 de: <http://www.iingen.unam.mx/es-mx/Publicaciones/GacetaElectronica/Documents/49GacetaMayo2009.pdf>
- Bertoni, J. C. (2015). “La problemática de las inundaciones urbanas: el caso de la cuenca Matanza-Riachuelo”. [en línea]. Argentina [fecha de consulta: 4 de marzo de 2019]. Disponible en: <<http://www.vocesenelfenix.com/sites/default/files/pdf/bertoni.pdf>>
- Birkle, P., Torres, V., & González, E. (2015). Evaluación preliminar del potencial de acuíferos profundos en la Cuenca del Valle de México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 10(3), 47-53.
- Bodoque, J. M., Américo, M., Díez-Herrero, A., García, J. A., Cortés, B., Ballesteros-Cánovas, J. A., & Olcina, J. (2016). Improvement of resilience of urban areas by integrating social perception in flash-flood risk management. *Journal of Hydrology*, 541, 665-676.
- Bolaños Sánchez Ángel. (2014, octubre 26). [Periódico] *La Jornada*: Concluirán antes el Túnel Emisor Oriente, pero cuadruplican costo. Concluirán antes el Túnel Emisor Oriente, pero cuadruplicaran costo, p. 1. Recuperado de <https://www.jornada.com.mx/2014/10/26/capital/032n1cap>
- Breña y Jacobo. Universidad Autónoma Metropolitana UAM (2006). “Principios y fundamentos de la hidrología superficial”. [en línea]. Ciudad de México. [Fecha de consulta: 25 de septiembre de 2018] Disponible en: <http://www.uamenlinea.uam.mx/materiales/licenciatura/hidrologia/principios_fundamentos/libro-PFHS-05.pdf>
- Bruegmann, R. (2006). *Sprawl: A compact history*. University of Chicago press.
- Buzan, (1991), *People, states and fear: an agenda for international security studies in the post-cold war era*. Hemel Hempstead: havester-Wheatsheaf.

- Cámara de Diputados del Congreso de la Unión. (2018). Punto de acuerdo, por el que se exhorta a la CONAGUA a difundir el avance de la obra del Túnel Emisor Oriente, de conclusión prevista para 2018. Con un costo de 20 mil 167 millones de pesos, a cargo del diputado Jerónimo Alejandro Ojeda Anguiano, del grupo parlamentario de MORENA. P.1. Recuperado el 8 de abril de 2019, de: http://sil.gobernacion.gob.mx/Archivos/Documentos/2018/03/asun_3676094_20180308_1520525696.pdf
- Callow, Roger, L. E. y T. J. (2013). *Achieving Water Security. Lessons from research in water supply, sanitation and hygiene in Ethiopia*. Inglaterra. Recuperado de <https://www.odi.org/sites/odi.org.uk/files/odi-assets/publications-opinion-files/8606.pdf>
- Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial (Centro GEO). (2015). *Plataforma Geoweb IDEGeo. Servicios de Información Geoespacial*. México. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Recuperado de <http://idegeo.centrogeo.org.mx/interactive/layers>>. Fecha de consulta <20 de junio de 2019>
- Centro de Investigación en Epidemiología de los Desastres (CRED). (2017). *La base de datos de eventos de emergencia (EM-DAT: The Emergency Events Database)*. Bruselas, Bélgica. Universidad Católica de Lovaina (UCL). Recuperado de < www.emdat.be>. Fecha de consulta <10 de noviembre de 2018>
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). (2006). *Guía Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Conceptos básicos sobre peligros, riesgos y su representación geográfica*. [en línea]. México, D.F. [fecha de consulta: 14 marzo 2019]. Disponible en: < <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/4049/1/ConceptosBasicosAtlas%20de%20Riesgos.pdf>>.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). (2014). *Guía Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Evaluación de la vulnerabilidad física y social*. [en línea]. México, D.F. [fecha de consulta: 15 marzo 2019]. Disponible en: <<http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/57.pdf>>.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). (2016). *Impacto Socioeconómico de los Principales Desastres Ocurridos en México en el Año 2016*. [en línea]. México, D.F. [fecha de consulta: 22 marzo 2019]. Disponible en: <<https://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/384-IMPACTO2016OEFINAL12FEBRERO2018.PDF>>.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). (2017). *Impacto Socioeconómico de los Principales Desastres Ocurridos en México en el Año 2017 (RESUMEN EJECUTIVO)*. [en línea]. México, D.F. [fecha de consulta: 25 marzo 2019]. Disponible en: <<https://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/403-NO.19-RESUMENEJECUTIVOIMPACTO2017.PDF>>.
- Cohen, M. P., & Reynoso, A. E. G. (2006). *Del agua amenazante al agua amenazada. Cambios en las representaciones sociales de los problemas del agua en el Valle de México. Más allá del cambio climático: Las dimensiones psicosociales del cambio ambiental global*, 287.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2003). *Manual para la evaluación del impacto socioeconómico y ambiental de los Desastres*. [en línea]. [fecha de consulta: 21 marzo 2019]. Disponible en: <https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/2781/5/S2003652_es.pdf>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2018). *Libro Blanco: Construcción del Túnel Emisor Oriente*. Ciudad de México. Recuperado el 2 de abril del 2019 de: <https://files.conagua.gob.mx/transparencia/documentos/Construccion_del_Tunel_Emisor_Oriente.pdf>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2018). *Estadísticas del agua en México*. México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Recuperado de <http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf>. Fecha de consulta <6 de mayo de 2019>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2019). *Consulta el avance físico del Túnel Emisor Oriente*. México, Ciudad de México. Recuperado el 14 de mayo del 2019 de: <https://www.gob.mx/conagua/articulos/consulta-el-avance-fisico-del-tunel-emisor-oriente?idiom=es>

- Comisión Económica para América Latina (CEPAL). (2016). Desafíos de la seguridad hídrica en América Latina y el Caribe. Santiago. Recuperado de: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/40074-desafios-la-seguridad-hidrica-america-latina-caribe>
- Consejo Nacional de Población (CONAPO). (2010). Anexo C Metodología de estimación del índice de marginación urbana. 269-275 [en línea]. México [fecha de consulta: 2 de abril de 2019]. Disponible en: http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Resource/862/4/images/06_C_AGEB.pdf
- Contigiani, A. Z., & Reynoso, A. G. (2013). Las inundaciones y el cambio climático en la Zona Metropolitana del Valle de México. Conflicto y negociación entre sociedad y ámbitos gubernamentales. *Medio Ambiente y Urbanización*, 79(1), 135-160.
- Cook, C. and Bakker, K. (2012). “Water security: Debating an emerging paradigm”. *Global Environmental Change*, 22, 94-102.
- Costa Ribeiro, W, & Mello Sant’Anna, F. Water security and interstate conflict and cooperation, *Documents d’Anàlisi Geogràfica* 2014, vol. 60/3, pp. 576-596
- Cotler, H. y Pineda, R. (2007). “Manejo integral de cuencas en México ¿hacia dónde vamos?” [en línea]. Ciudad de México. [fecha de consulta: 25 octubre 2018]. Disponible en: <http://132.248.9.34/hevila/Boletindelarchivohistoricodelagua/2008/vol13/no39/2.pdf> >.
- Cotler, et. al., SEMARNAT. (2013). “Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión” [en línea]. Ciudad de México. [fecha de consulta: 25 octubre 2018]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/280938710_Cuencas_hidrograficas_Fundamentos_y_perspectivas_para_su_manejo_y_gestion>.
- Cotler, H., SEMARNAT. (2010). “Las cuencas hidrográficas de México diagnóstico y priorización”. [en línea]. Ciudad de México. [fecha de consulta: 6 octubre 2018]. Disponible en: <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2011/02/CuencasHidrograficas-1.pdf>
- Courty, L., Rico-Ramirez, M., & Pedrozo-Acuña, A. (2018). The significance of the spatial variability of rainfall on the numerical simulation of urban floods. *Water*, 10(2), 207.
- Davidson, P. A. (2010), “Hydrosolidarity as water security in the Okavango River Basin”. In: J. Warner and K. Wegerich (eds.).
- De Alba, F., & Oropeza, O. A. C. (2014). “Después Del Desastre... Viene La Informalidad” Una Reflexión Sobre Las Inundaciones En La Metrópolis De México. *Revista de Direito da Cidade*, 6(1), 141-167.
- De Loë, R., Varghese, J., Ferreyra, C., & Kreutzwiser, R. D. (2007). *Water allocation and water security in Canada: Initiating a policy dialogue for the 21st century. Prepared for the Walter and Duncan Gordon Foundation.*
- Dena-O, Oscar S., Griselda Obeso C., Diane Doser, Jesús E. Leyva, E. Rascon, Francisco Gómez and Miguel Domínguez A. (2012). Using subsurface geophysical methods in flood control: A resistivity survey to define underground storage capacity of a sand body in Ciudad Juárez, Mexico. *Geofísica Internacional* (51): 225-249.
- Dunn, G., & Bakker, K. (2009). *Canadian approaches to assessing water security: an inventory of indicators. Policy Report.* University of British Columbia, Canada.
- Environmental Systems Research Institute. (ESRI/ArcMap) (2016). “Cómo funciona Cuenca Hidrológica”. [en línea]. EUA. [fecha de consulta: 19 de septiembre de 2018] Disponible en: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-watershed-works.htm>
- Environmental Systems Research Institute. (ESRI/ArcMap) (2016a). “Cómo funciona Dirección de flujo”. [en línea]. EUA. [fecha de consulta: 19 de septiembre de 2018] Disponible en: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-flow-direction-works.htm>>.
- Environmental Systems Research Institute. (ESRI/ArcMap) (2016b). “Cómo funciona Acumulación de flujo”. [en línea]. EUA. [fecha de consulta: 25 de octubre de 2018] Disponible en: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-flow-accumulation-works.htm> >.

- Environmental Systems Research Institute. (ESRI/ArcMap) (2016c). “Cómo funciona Clasificación de Arroyos”. [en línea]. EUA. [fecha de consulta: 19 de octubre de 2018] Disponible en: <<http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-stream-order-works.htm>>.
- Environmental Systems Research Institute. (ESRI/ArcGIS) (2018a). “Predecir inundaciones con un hidrograma unitario. LearnArcGis. Lecciones guiadas basadas en problemas reales”. [en línea]. EUA. [fecha de consulta: 19 de septiembre de 2018] Disponible en: <<https://learn.arcgis.com/es/projects/predict-floods-with-unit-hydrographs/>>.
- Environmental Systems Research Institute. (ESRI/ArcGIS) (2018b). “Predecir inundaciones con un hidrograma unitario. LearnArcGis. Lecciones guiadas basadas en problemas reales”. [en línea]. EUA. [fecha de consulta: 19 de septiembre de 2018] Disponible en: <<https://learn.arcgis.com/es/projects/predict-floods-with-unit-hydrographs/lessons/create-a-velocity-field.htm>>
- Ernesto Soto Galera, Mazarí Hiriart M. y Bojórquez Tapia Luis Antonio. (1999). Entidades de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México propensas a la contaminación de agua subterránea. Investigaciones geográficas, (43), 60–75. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-4611200000300005&lng=en&tlng=en
- Escolero, O., Kralisch, S., Martínez, S. E., & Perevochtchikova, M. (2016). Diagnóstico y análisis de los factores que influyen en la vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable a la Ciudad de México, México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 68(3), 409-427.
- ESRI. (2016). Conjunto de herramientas de interpolación IDW [fecha de consulta: 8 abril 2019]. Disponible en: <<http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-idw-works.htm>>
- FAO, (2011): “The Water-Energy-Food Nexus. A new approach in support of food security and sustainable agricultura”.
- Fondo para la comunicación y educación ambiental, A. C. (2017). “Desastres hidrometeorológicos en México: Protección civil”. [en línea]. México [fecha de consulta: 16-de febrero de 2019]. Disponible en: <<https://agua.org.mx/editoriales/desastres-hidrometeorologicos-en-mexico-proteccion-civil/>>.
- Gama, L., E.M. Ordoñez, C. Villanueva-García, M. Arturo Ortiz-Pérez, H.D. López, R.C. Torres, and M.E.M. Valadez. (2010). Floods in Tabasco Mexico: history and perspectives. En Flood recovery, Innovation and Response II, edited by D. de Wrachien, D. Proverbs, C.A. Brebbia and S. Mambretti, 25-33. WIT Press.
- García Acosta, V. (2005). El riesgo como construcción social y la construcción social de riesgos. Desacatos. Revista de Ciencias Sociales, (19), 11-24. Recuperado de <<http://www.redalyc.org/pdf/139/13901902.pdf>> [fecha de consulta: 2 de julio de 2019]
- García B. (2018). Del riesgo de desastres a la resiliencia. Perú. Universidad Nacional de Tumbes, Delegada Red Universitarios de América Latina y El Caribe en Gestión del Riesgo de Desastres. Recuperado de <<https://www.oei.es/historico/divulgacioncientifica/?Del-riego-de-desastres-a-la-resiliencia>> [Fecha de consulta 1 de julio de 2019]
- Garza, G. (1995). Monterrey: ubicación en el sistema urbano nacional y expansión metropolitana. Atlas de la ciudad de Monterrey, gob. del edo. de Nuevo León/UANL/IEUNL/COLMEX, México.
- Guerrero, Tanni y et. al. (2009). “El agua en la Ciudad de México”. Ciencias 94, abril-junio, 16-23. [En línea] Ciudad de México. [fecha de consulta: 6 noviembre 2018]. Disponible en: <<http://www.revistaciencias.unam.mx/es/43-revistas/revista-ciencias-94/203-el-agua-en-la-ciudad-de-mexico.html>>
- Greenlee, D. D. 1987. “Raster and Vector Processing for Scanned Linework. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 53 (10)”: 1383–1387.
- Grey, D., & Sadoff, C. W. (2007). Sink or Swim? Water security for growth and development. Water Policy, 9, 545–571. Recuperado de <<https://doi.org/10.2166/wp.2007.021>>
- Herrera, E., Magaña, V., & Morett, S. (2018). Relación entre eventos extremos de precipitación con inundaciones. Estudio de caso: Tulancingo, Hidalgo. *Nova Scientia*, 10(21).
- Hoberman, L. (1974). Bureaucracy and disaster: Mexico City and the flood of 1629. Journal of Latin American Studies, 6(2), 211-230.

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM (2014). [en línea]. Colombia. [fecha de consulta: 16 de febrero de 2019]. Disponible en <<http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/glosario>>.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2018). “Datos abiertos”. [en línea]. México [fecha de consulta: 12 de enero de 2019]. Disponible en: <<https://datos.gob.mx/busca/dataset/cuencas-de-inecc>>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). “Censo de Población y Vivienda 2010”. [en línea]. Ciudad de México. [fecha de consulta: 6 octubre 2018]. Disponible en: <<https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/>>.
- INEGI (2010). Discapacidad en México. [en línea]. México [fecha de consulta: 2 de abril de 2019]. Disponible en: <<http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/discapacidad.aspx?tema=P>>
- INEGI. (2010). “Documento técnico descriptivo de la red hidrográfica escala 1:50 000 Edición 2.0”. [en línea]. Ciudad de México. [fecha de consulta: 6 octubre 2018]. Disponible en: <http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/PDF/Doc.pdf>.
- INEGI. (2010). “SIATL. Simulador De Flujos De Agua De Cuencas Hidrográficas”. [en línea]. México, D.F. [fecha de consulta: 20 octubre 2018]. Disponible en: <http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/>.
- INEGI. (2011). “Modelos Digitales de Elevación de Alta Resolución LiDAR, con resolución de 5m. Superficie. GRID”. [en línea]. Ciudad de México. [fecha de consulta: 6 septiembre 2018]. Disponible en: <<https://www.inegi.org.mx/>>.
- INEGI. (2011). “Modelos Digitales de Elevación de Alta Resolución LiDAR, con resolución de 5m. Terreno. GRID”. [en línea]. Ciudad de México. [fecha de consulta: 6 septiembre 2018]. Disponible en: <<https://www.inegi.org.mx/>>.
- INEGI. (2015). “Marco geoestadístico nacional”. [en línea]. Ciudad de México. [fecha de consulta: 6 agosto 2018]. Disponible en: <<https://www.inegi.org.mx/>>.
- INEGI. (2015). “Encuesta Intercensal 2015”. [en línea]. Ciudad de México. [fecha de consulta: 6 noviembre 2018]. Disponible en: <<https://www.inegi.org.mx/programas/intercensal/2015/default.html#Tabulados>>
- INEGI. (2019). Censos Económicos 2014. [fecha de consulta: 4 abril 2019]. Disponible en: <<https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2014/>>
- INEGI, DENUÉ. (2019). Directorio estadístico nacional de unidades económicas. [fecha de consulta: 4 abril 2019]. Disponible en: <<http://www3.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/477>>
- INEGI, SCIAN. (2018). Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte [fecha de consulta: 2 abril 2019]. Disponible en: <<https://www.inegi.org.mx/app/scian/>>
- Irujo, E. y Martín, L. El nexo entre el agua, la energía y la alimentación. Planificación, marco normativo e identificación de interconexiones prioritarias, CEPAL, 2017
- Izazola, H. (2001). Agua y sustentabilidad en la Ciudad de México. Estudios demográficos y urbanos, 285-320.
- Jiménez, B., Mazari, M., Domínguez, R., & Cifuentes, E. (2004). El agua en el Valle de México. El agua en México vista desde la academia. Science Academy, Mexico.
- Jenson S. K. and J. O. Domingue. 1988. “Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing” 54 (11): 1593-1600.
- Ley General de Protección Civil (LGPC). (2018). [en línea]. México [fecha de consulta: 6 de diciembre de 2018]. Disponible en <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPC_190118.pdf>.
- Lesser-Carrillo, L. E., Lesser-Illades, J. M., Arellano-Islas, S., & González-Posadas, D. (2011). Balance hídrico y calidad del agua subterránea en el acuífero del Valle del Mezquital, México central. Revista mexicana de ciencias geológicas, 28(3), 323-336.
- López, J. (24 de enero, 2018). Cae primera granizada de 2018 en CDMX; provoca inundaciones. Excélsior. Recuperado de <<http://www.excelsior.com.mx/comunidad/2018/01/24/1215804>>
- López Vázquez, V. H., & Plata Rocha, W. (2009). Análisis de los cambios de cobertura de suelo derivados de la expansión urbana de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 1990-2000. Investigaciones geográficas, (68), 85-101.

- Ma, H., Liu, L., & Chen, T. (2010). Water security assessment in Haihe River Basin using principal component analysis based on Kendall τ . *Environmental monitoring and assessment*, 163(1-4), 539-544.
- Magaña, Víctor., Luis Clemente López y Gustavo Vázquez. (2013). El pronóstico de lluvias intensas para la Ciudad de México. *TIP Revista Especializada en Ciencias QuímicoBiológicas* (16): 18-25.
- Mark, D. M. 1988. "Network Models in Geomorphology." *Modelling Geomorphological Systems*, ed. M. G. Anderson. New York: John Wiley. 73-97.
- Martínez Austria Polioptro, D. D. C. y M. C. G. (2017). "Documentos de enfoque. Seguridad hídrica en México". [en línea]. México [fecha de consulta: 6 de febrero de 2019]. Disponible en <http://www.ai.org.mx/sites/default/files/12_seguridad_hidrica_final_2.pdf>.
- Martínez-Austria, P. F. (noviembre-diciembre de 2013). Los retos de la seguridad hídrica. *Tecnología y Ciencias del Agua*, IV(5), 165-180. México [fecha de consulta: 16 de febrero de 2019]. Disponible en <<http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v4n5/v4n5a11.pdf>>
- Matellanes, R. (2018). "Cálculo del Índice Topográfico de Humedad TWI". [en línea]. España, Madrid. [fecha de consulta: 20 noviembre 2018]. Disponible en: < <http://www.gisandbeers.com/calculo-del-indice-topografico-de-humedad-twi/> >.
- Mazari-Hiriart, M., Pérez-Ortiz, G., Orta-Ledesma, M. T., Armas-Vargas, F., Tapia, M. A., Solano-Ortiz, R., Hewitt, J. (2014). Final Opportunity to Rehabilitate an Urban River as a Water Source for Mexico City. *PLoS ONE*, 9(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102081>
- Mazari-Hiriart, M. (2000). Contaminación del agua. (A. Noyola Robles, Ed.)
- Montiel Palma, S., Armienta Hernández, M. A., Rodríguez Castillo, R., y Domínguez Mariani R, E. (2014). Identificación de zonas de contaminación por nitratos en el agua subterránea de la zona sur de la Cuenca de México / Identification of nitrate pollution zones in groundwater south of the Mexican Basin. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, (2), 149. Recuperado de: <<http://pbidi.unam.mx:8080/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edssci&AN=edssci.S0188.49992014000200003&lang=es&site=eds-live>>
- Matías-Ramírez, Lucía Guadalupe., Oralia Oropeza-Orozco, José Lugo-Hubp, Miguel CortezVázquez, Ernesto Jáuregui-Ostos. (2007). Análisis de las principales causas de las inundaciones de septiembre de 2003 en el sur del estado de Guanajuato, México. *Investigaciones Geográficas* (64): 7-25.
- Naciones Unidas. (2005). Informe de la Conferencia Mundial sobre la Reducción de los Desastres. Kobe, Hyogo (Japón). Recuperado de <https://www.unisdr.org/files/1037_finalreportwcdspanish1.pdf> [Fecha de consulta 29 de junio de 2019]
- Naciones Unidas. (2016). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Naciones Unidas. Recuperado de <<https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>> [Fecha de consulta 2 de julio de 2019]
- Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR). (2015). Marco de Sendai para reducción del riesgo de desastres 2015-2030. Ginebra, Suiza. Naciones Unidas. Recuperado de <https://www.unisdr.org/files/43291_spanishsendaiframeworkfordisasterri.pdf>. [Fecha de consulta 28 de junio de 2019]
- Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres UNISDR. (2017). Cómo desarrollar ciudades más resilientes. Manual para líderes de los gobiernos locales. Ginebra, Suiza. Naciones Unidas. Recuperado de <<https://eird.org/americas/docs/manual-para-lideres-de-los-gobiernos-locales.pdf>> [Fecha de consulta 1 de julio de 2019]
- Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres UNISDR. (2017a). Los Diez Esenciales. Naciones Unidas. Recuperado de < <https://www.eird.org/camp-10-15/10-esenciales.html>> [Fecha de consulta 1 de julio de 2019]
- Oficina de Resiliencia CDMX. (2016). Estrategia de Resiliencia para la Ciudad de México. Transformación adaptativa, incluyente y equitativa. Ciudad de México. Gobierno de la Ciudad de México. Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA). 100 Ciudades Resilientes. Recuperado de

- <<https://www.resiliencia.cdmx.gob.mx/storage/app/media/Estrategia%20de%20Resiliencia%20CDMX.pdf>> [Fecha de consulta 1 de julio de 2019]
- arrollo Económicos (OCDE). (2013). *Water Security for Better Lives. A summary for policymakers*. OECD Studies on Water, OECD Publishing, Paris. Recuperado de <<https://www.oecd.org/env/resources/Water%20Security%20for%20Better%20Lives-%20brochure.pdf>>. Fecha de consulta <5 de diciembre de 2018> Doi: <<https://doi.org/10.1787/9789264202405-en>>.
- Ortega, N. M. (2009). La crisis hídrica de la ciudad de México: Dimensiones y alternativas. *Tiempo, Laberinto*, 16-21.
- Pedrozo-Acuña, Adrián., J. Agustín Breña-Naranjo, and Ramón Domínguez-Mora. (2014). The hydrological setting of the 2013 floods in Mexico. *Weather* (69), 295-302.
- Peña, H. (2016). Desafíos de la seguridad hídrica en América Latina y el Caribe. Recuperado de <https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40074/1/S1600566_es.pdf>
- Peralta, H., Vlásquez, A., Enciso F. (2013). *Territorios Resilientes. Guía para el conocimiento y la reducción del riesgo de desastre en los municipios colombianos*. Bogotá, Colombia. Federación Colombiana de Municipios. Recuperado de <http://www.solucionesresilientes.com/Libro/Libro_Territorios_Resilientes.pdf> Fecha de consulta <29 de junio de 2019>
- Pérez Espejo, Rosario; Aguilar Ibarra, Alonso; Hansen, Anne M.; González Rodríguez, Consuelo; González Márquez, Luis Carlos; Bernal González, Marisela; Santos Baca, Andrea y Jara Durán, Alethya (2012): *Agricultura y contaminación del agua*. UNAM Instituto de Investigaciones Económicas, México, D.F.. ISBN 978-607-02-3550-4. Pp 1-284
- Pérez M. (2007). Daños económicos e impacto de los desastres naturales o antrópicos. Madrid, España. Universidad Carlos III de Madrid. Recuperado de:<http://www.mapfre.com/fundacion/html/revistas/gerencia/n098/estud_01.html>. Fecha de consulta <20 de junio de 2019>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2016). Objetivo 11: Ciudades y comunidades sostenibles. Naciones Unidas. Recuperado de <<https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-11-sustainable-cities-and-communities.html#targets>> [Fecha de consulta 2 de julio de 2019]
- Pulido, L., Alberto, J., Estrada Díaz, G., Zentella Gómez, J. C., & Guevara Sanginés, A. (2017). Los costos de la expansión urbana: aproximación a partir de un modelo de precios hedónicos en la Zona Metropolitana del Valle de México. *Estudios demográficos y urbanos*, 32(1), 37-63.
- Real Academia de Ingeniería. (Contenidos modificados constantemente). [en línea]. España. [fecha de consulta: 12 febrero 2019]. Disponible en: <<http://diccionario.raing.es/es/lema/tirante-hidr%C3%A1ulico>>.
- Roa-Lobo, J., Kamp U. (2012). “Uso del índice topográfico de humedad (ITH) para el diagnóstico de la amenaza por desborde fluvial, Trujillo-Venezuela”. [en línea]. Venezuela, Mérida [fecha de consulta: 24 noviembre 2018]. Disponible en: <<https://www.redalyc.org/pdf/3477/347730388007.pdf>>.
- Rodríguez, M. S. C. (2002). Procesos urbanos y" ruralidad" en la periferia de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. *Estudios demográficos y urbanos*, 39-76.
- Rodríguez Varela J. M., Alcocer Yamanaka V. H, Albornoz Góngora P. M., Llaguno Guilberto O. J., Maldonado Silvestre J. (2014). “Problemática de inundaciones en zonas urbanas y propuestas de solución desde un enfoque matemático”. [en línea]. México [fecha de consulta: 2 de marzo de 2019]. Disponible en: <<https://www.imta.gob.mx/images/pdf/articulos/MAPAS-DE-RIESGO-EN-ZONAS-URBANAS.pdf>>
- Romero, P. (2010). Water in Mexico City: what will climate change bring to its history of water-related hazards and vulnerabilities?. *Environment and Urbanization*, 22(1), 157-178.
- Romero, P., & Gnatz, D. M. (2016). Conceptualizing urban water security in an urbanizing world. *Current opinion in environmental sustainability*, 21, 45-51
- Schteingart, M., & Salazar, C. (2003). Expansión urbana, protección ambiental y actores sociales en la Ciudad de México. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 433-460.

- Secretaría de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil. (2019). Atlas de riesgos de la Ciudad de México. [en línea]. México [fecha de consulta: 12 de marzo de 2019]. Disponible en: <<http://www.atlas.cdmx.gob.mx/>> & <<http://www.atlas.cdmx.gob.mx/>>
- Secretaría de Gobernación SEGOB/CENAPRED. (2004). Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de Peligros y Riesgos. [en línea]. México [fecha de consulta: 26 de agosto de 2017]. Disponible en: <<http://www.cenapred.unam.mx/es/DocumentosPublicos/PDF/SerieEspecial/metodologiasAtlas.pdf>>.
- SEGOB/Banco Mundial. (2012). “FONDEN: El Fondo de Desastres Naturales en México: una reseña”. [en línea]. México [fecha de consulta: 12 de marzo de 2019]. Disponible en: <<https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/06/FONDEN.-El-Fondo-de-Desastres-Naturales-en-M%C3%A9xico-una-rese%C3%B1a.pdf>>
- SEGOB/CENAPRED. (2014a). Fascículo “Inundaciones”. [en línea]. México [fecha de consulta: 24 noviembre 2018]. Disponible en: <<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/112861/3-FASCCULOINUNDACIONES-ilovepdf-compressed.pdf>>.
- SEGOB/CENAPRED. (2014f). Guía Básica para la elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos. Evaluación de la vulnerabilidad física y social. [en línea]. México, D.F. [fecha de consulta: 20 febrero 2019]. Disponible en: <<http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/57.pdf>>.
- SEGOB (2018). Recursos Autorizados por Declaratoria de Desastre. [en línea]. México [fecha de consulta: 2 de abril de 2019]. Disponible en: <http://www.proteccioncivil.gob.mx/es/ProteccionCivil/Recursos_Autorizados_por_Declaratoria_de_Desastre>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2008). El Túnel Emisor Oriente duplicará la capacidad del drenaje profundo del Valle de México. p. 5. Recuperado el 20 de marzo del 2019 de: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Folleter%C3%ADa/TunelEmisorOriente.pdf>
- Secretaría de Protección Civil- CDMX. (2015). “Términos de referencia del Glosario”. México
- Secretaría de Protección Civil- CDMX. (2015). “Manual Administrativo de la Secretaría de Protección Civil del distrito federal”. México
- Secretaría de Protección Civil- CDMX. Dirección General de Emergencias Mayores. (2015). “Registro Único de Situaciones de Emergencia (RUSE)”. México
- Secretaría de Protección Civil- CDMX. Dirección General de Emergencias Mayores. (2018). “Catálogo de Fenómenos Perturbadores y Siniestros en la CDMX”. México
- Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX). (2018). Información otorgada conforme al artículo 212 de la Ley de Transparencia, Acceso a la Información Pública y Rendición de Cuentas de la Ciudad de México, en respuesta a la solicitud de información pública: 0324000116618, mediante la Unidad de Transparencia de dicha institución. Jefatura de Centro de Información del Sistema de Aguas de la Ciudad de México
- Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN). (2018). Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte [en línea]. México, D.F. [fecha de consulta: 2 abril 2019]. Disponible en: <http://naics-scian.inegi.org.mx/naics_scian/default_e.aspx>
- Sobrino, J. (2003). Zonas metropolitanas de México en 2000: conformación territorial y movilidad de la población ocupada. Estudios demográficos y urbanos, 461-507.
- Solís, F. (14 de junio, 2018). Muere niño al caer a una coladera entre inundaciones en Los
- Standish, R. J., Hobbs, R. J., Mayfield, M. M., Bestelmeyer, B. T., Suding, K. N., Battaglia, L. L., ... & Harris, J. A. (2014). Resilience in ecology: Abstraction, distraction, or where the action is?. *Biological Conservation*, 177, 43-51.
- Swaminathan, M.S. (2001). Ecology and equity: key determinants of sustainable water security. *Water Science and Technology*, 43(4), 35-44.
- Tarboton, D. G., R. L. Bras e I. Rodríguez-Iturbe. 1991. "On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data." *Hydrological Processes* 5: 81-100.

- Tejeda-Martínez, A. (2011). Inundaciones 2010 en el estado de Veracruz (COVECYT y Universidad Veracruzana). *The Politics of Water: A Survey*, London: Routledge, 68-95.
- Torres L., Peña T., Tábora F., Carías c. (2016). Lineamientos para la incorporación del riesgo con enfoque de recursos hídricos en los Planes de Desarrollo Municipal. Global Water Partnership Centroamérica (GWP Centroamérica), Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (IHCT-UNAH), Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, Oficina Regional de las Américas (UNISDR). Recuperado de <<https://eird.org/camp-10-15/docs/lineamientos-gir-rh-en-pdm.pdf>> [Fecha de consulta 1 de julio de 2019]
- Tovar, A. E. Z., & Rueda, V. O. M. (2018). Vulnerabilidad y riesgo por lluvias intensas en México: el efecto del cambio en la cobertura del uso del suelo.
- United Nations. (2011). *World Urbanization Prospects: the 2011 Revision*. United Nations. Department of Economic and Social Affairs, Population Division.
- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). (2013). Cuenca-Lagos.kmz. México. Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. Recuperado de <www.repsa.unam.mx/documentos>. Fecha de consulta <20 de junio de 2019>
- Vera, M., & López, J. (2010). Evaluación de amenazas por inundaciones en el centro de México: el caso de Iztapalapa, Distrito Federal (1998-2005). *Investigaciones geográficas*, (73), 22-40.
- Watson y Philip. (1985). A refinement of inverse distance weighted interpolation. [en línea]. México, D.F. [fecha de consulta: 10 abril 2018]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/302560228_A_refinement_of_inverse_distance_weighted_interpolation>.
- WEF (World Economic Forum) (2011). *Water Security. Water-Food-Energy-Climate Nexus*, The World Economic Forum Water Initiative, Island Press.
- Woo, G. (1996). Kernel estimation methods for seismic hazard area source modeling. *BSSA*, Vol. 86, No 2. 353-362.
- Zambrano, L., Pacheco-Muñoz, R., & Fernández, T. (2018). Influence of solid waste and topography on urban floods: The case of Mexico City. *Ambio*, 1-10.

Hemerografía consultada

- Animal Político. (15 de junio, 2018). Niño de 9 años muere tras ser arrastrado por corriente de agua a una coladera en Iztapalapa. Animal Político. Recuperado de <https://www.animalpolitico.com/2018/06/nino-corriente-agua-coladera-iztapalapa/>
- Aristegui Noticias. (22 de mayo, 2018). 30 inundaciones y 10 árboles caídos deja la lluvia en CDMX. Aristegui Noticias. Recuperado de <https://aristeguinoticias.com/2205/mexico/30-inundaciones-y-10-arboles-caidos-deja-la-lluvia-en-cdmx/>
- Chilango. (15 de junio, 2018). Niño de 9 años murió por las inundaciones en #CDMX. Chilango. Recuperado de <<https://www.chilango.com/noticias/nino-muerto-en-inundacion-iztapalapa/>>
- El Universal Metrópoli. (14 de junio, 2018a). Niño muere al ser arrastrado por corriente de agua a coladera en Iztapalapa. El Universal. Recuperado de <https://www.eluniversal.com.mx/metropoli/cdmx/nino-muere-al-ser-arrastrado-por-corriente-de-agua-coladera-en-iztapalapa>
- El Universal Metrópoli. (15 de junio, 2018b). Lluvias dejan a un niño muerto e inundaciones en la Línea A del metro. El Universal. Recuperado de <https://www.eluniversal.com.mx/metropoli/cdmx/lluvias-dejan-un-nino-muerto-y-anegada-la-linea-del-metro>
- El Universal (2017). El Túnel Emisor Oriente. El Universal. p. 1. Recuperado de <http://interactivo.eluniversal.com.mx/interactivos/external/graficos/online/PDF_17/PDF-tunelemisororientepdf.pdf>. [fecha de consulta: 11 marzo 2019]
- El Universal. (2018). Niño muere al ser arrastrado por corriente de agua a coladera en Iztapalapa. Disponible en: <https://www.eluniversal.com.mx/metropoli/cdmx/nino-muere-al-ser-arrastrado-por-corriente-de-agua-coladera-en-iztapalapa>

- Enciso L Angélica. (Lunes 7 de enero del 2019). Auditoría sobre fracaso de K invertida aún no concluye: Conagua. La Jornada. Recuperado el 14 de marzo del 2019 de: <https://www.jornada.com.mx/ultimas/2019/01/07/auditoria-sobre-fracaso-de-k-invertida-aun-no-concluye-conagua-5799.html>
- Excélsior. (15 de mayo, 2019). Granizo y fuerte lluvia sorprenden a CDMX este miércoles. Excélsior. Recuperado de <<https://www.excelsior.com.mx/comunidad/granizo-y-fuerte-lluvia-sorprenden-a-cdmx-este-miercoles/1313284>>
- La Silla Rota. (4 de diciembre, 2018). Se registran inundaciones por lluvia; hay afecciones en el Metro. LA SILLA ROTA. Recuperado de <<https://lasillarota.com/se-registran-inundaciones-por-lluvia-hay-afecciones-en-el-metro-metro-lineas-lluvia-lluvias/260686>>
- La Silla Rota. (5 de junio, 2019). Estas son las estaciones del Metro que más se inundan. LA SILLA ROTA. Recuperado de <<https://lasillarota.com/estas-son-las-estaciones-del-metro-que-mas-se-inundan-metro-cdmx-inundacion-mantenimiento/289055>>
- Milenio Digital. (6 de junio, 2019). Lluvia colapsa el Metro; hay retrasos en 10 líneas. Milenio. Recuperado de <<https://www.milenio.com/politica/comunidad/metro-retrasa-servicio-linea-9-lluvias>>
- Milenio Digital. (14 de junio, 2018). Niño muere ahogado en coladera de Iztapalapa. Milenio. Recuperado de <<https://www.milenio.com/policia/nino-muere-ahogado-en-coladera-de-iztapalapa>>
- MVS Noticias (2018), “Lluvias azotan la capital: Xochimilco y Tlalpan inundadas”, MVS Noticias, México, 4 de abril. Recuperado de <http://www.mvsnoticias.com/?_escaped_fragment_=/noticias/lluvias-azotan-la-capital-xochimilco-y-tlapan-inundadas-785>
- Plumas atómicas. (15 de junio, 2018). Niño falleció arrastrado por el agua en Iztapalapa. Plumas atómicas. Recuperado de <<https://plumasatomicas.com/noticias/cdmx/nino-iztapalapa-lluvia/>>
- Publimetro. (14 de junio, 2018). Por inundación, muere ahogado niño de nueve años en Iztapalapa. Publimetro. Recuperado de <https://www.publimetro.com.mx/mx/noticias/2018/06/14/inundaciones-muere-ahogado-nino-nueve-anos-iztapalapa.html>
- Olvera, G. (14 de junio, 2018). Se ahoga niño en tormenta en Iztapalapa. Reforma. Recuperado de <https://www.reforma.com/aplicacioneslibre/preacceso/articulo/default.aspx?id=1419848&v=2&urlre-direct=https://www.reforma.com/aplicaciones/articulo/default.aspx?id=1419848&v=2>
- Raquel Ochoa. (2016). El Túnel Emisor Oriente: La Columna Vertebral del Sistema de Drenaje del Valle de México. Construcción y Tecnología en Concreto. Ciudad de México. Pp 5.
- Redacción Obras. (17 de mayo del 2017). ¿Cuánto se ha invertido en el Túnel Emisor Oriente? Conagua contestó. Obras, p. 1. Recuperado el 11 de marzo del 2019 de: <https://obrasweb.mx/construccion/2017/05/17/cuanto-se-ha-invertido-en-el-tunel-emisor-oriente-conagua-contesto>
- Rodríguez, S. (27 de julio, 2018). Metro de la CDMX: tips para sobrevivir a las terribles inundaciones. Occmundial.com. Recuperado de <<https://www.occ.com.mx/blog/metro-de-la-cdmx-inundaciones/>>
- Reyes. El Sol de México. Recuperado de <<https://www.elsoldemexico.com.mx/metropoli/valle-de-mexico/muere-nino-al-caer-a-una-coladera-entre-inundaciones-en-los-reyes-1764316.html>>
- Velasco, M. (14 de junio, 2018). Muere menor tras ser arrastrado por el agua. Excélsior. Recuperado de <<https://www.excelsior.com.mx/comunidad/muere-menor-tras-ser-arrastrado-por-el-agua/1245578>>

