

Artículo



Revista

Ciencia
y Naturaleza

Vulnerabilidad ambiental e inundaciones urbanas en la Ciudad de México

Angel Emmanuel Zúñiga Tovar

1081

Artículo

Vulnerabilidad ambiental e inundaciones urbanas en la Ciudad de México

Cómo citar este artículo: Zuñiga-Tovar AE. 2023. Vulnerabilidad ambiental e inundaciones urbanas en la Ciudad de México. Revista Ciencia y Naturaleza (1081).





Crecimiento urbano en la Ciudad de México

Desde su configuración como ciudad en 1325 hasta nuestros días, la Ciudad de México (CDMX) ha sido el principal centro de atracción poblacional del país. Esta situación, ha generado un crecimiento acelerado “no-controlado”, a través del aumento de asentamientos irregulares alejados de la zona urbana. Por ello, cuando hablamos del crecimiento urbano en la CDMX, es necesario recordar que antes de la década de 1950, la zona urbana de la ciudad de México aumentó del centro hacia la periferia. Posterior a esta década su crecimiento ha sido irregular.



Durante esa época (1950), las presas localizadas al poniente de la ciudad eran un límite artificial para la zona urbana (periférica), otros límites estaban representados por la orografía y los cuerpos de agua existentes.



Sin embargo, a partir de la década de los 70's, la migración del campo hacia la ciudad generó un aumento importante de asentamientos irregulares dispersos en los límites de la ciudad, y que hasta ese momento no eran numerosos. Este proceso de migración y la demanda de viviendas aceleró la integración de pequeños asentamientos humanos a la ciudad. A pesar del creciente desarrollo urbano, la aparición de nuevos asentamientos en zonas no-urbanizadas y en la periferia de la ciudad continúa incrementándose hasta hoy en día.

Efectos negativos por el crecimiento urbano



Existen diferentes efectos negativos asociados con el crecimiento de las ciudades. Sin embargo, sólo abordaremos el deterioro ambiental y los cambios en el patrón de lluvias, ya que estos, representan la principal causa del riesgo de inundaciones y encharcamientos en cuencas urbanizadas (Pérez Vega and Ortiz Pérez 2002).



Con la aparición de asentamientos irregulares y el aumento de zonas urbanas, se inicia el proceso de transformación de la cuenca hidrológica (pérdida de vegetación natural) donde se localiza la Ciudad de México. La fragmentación del paisaje natural, la disminución de servicios ambientales, el encausamiento y secado de ríos, son algunas consecuencias del cambio de cobertura de suelo, generado por el aumento de superficies impermeables (zona urbana).



Esta situación, generó cambios en el ciclo natural de la cuenca de la CDMX, principalmente los asociados con la capacidad de infiltración de los escurrimientos superficiales que son generados por tormentas intensas. También, la ciudad enfrenta un proceso de calentamiento (isla de calor) relacionado con el aumento de superficies no-naturales como el concreto y el asfalto.

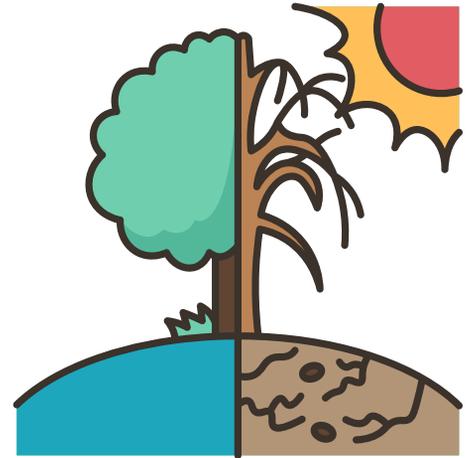


Este fenómeno produce cambios en la temperatura máxima y mínima en la ciudad, generando afectaciones en la salud pública de la población (por ejemplo, enfermedades respiratorias). Esta condición local del clima urbano, favorece la presencia de episodios de lluvia cada vez más intensos, que en combinación con el deterioro de las cuencas, son responsables en gran medida de los escurrimientos que originan inundaciones y encharcamientos urbanos en la ciudad.

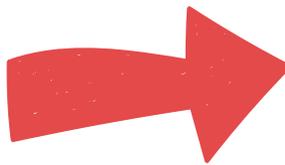


Deterioro ambiental: cuenca hidrológica de la CDMX

Cuando hablamos del deterioro ambiental en las cuencas hidrológicas, nos referimos a la pérdida total o parcial de las coberturas naturales. Este proceso inicia, con la aparición de asentamientos humanos al interior de una cobertura natural (por ejemplo: bosques, selvas, pastizales), generando su fragmentación (división), y con ello, la sustitución de coberturas naturales por suelos urbanos y agrícolas. En el caso particular de la CDMX, la transformación de su territorio inicia con el acelerado proceso de urbanización durante la década de los años 40's (Schteingart, 1987).



Posteriormente, el continuo aumento de asentamientos irregulares, durante el periodo 1980 - 2000 y el desarrollo de vías de comunicación contribuyeron con el deterioro ambiental de la cuenca, principalmente en zonas con paisaje natural, al sur y poniente de la ciudad.





Actualmente, este fenómeno continúa afectando la zona sur, poniente y oriente de la ciudad, dando paso a un proceso de fragmentación activo (figura 1).

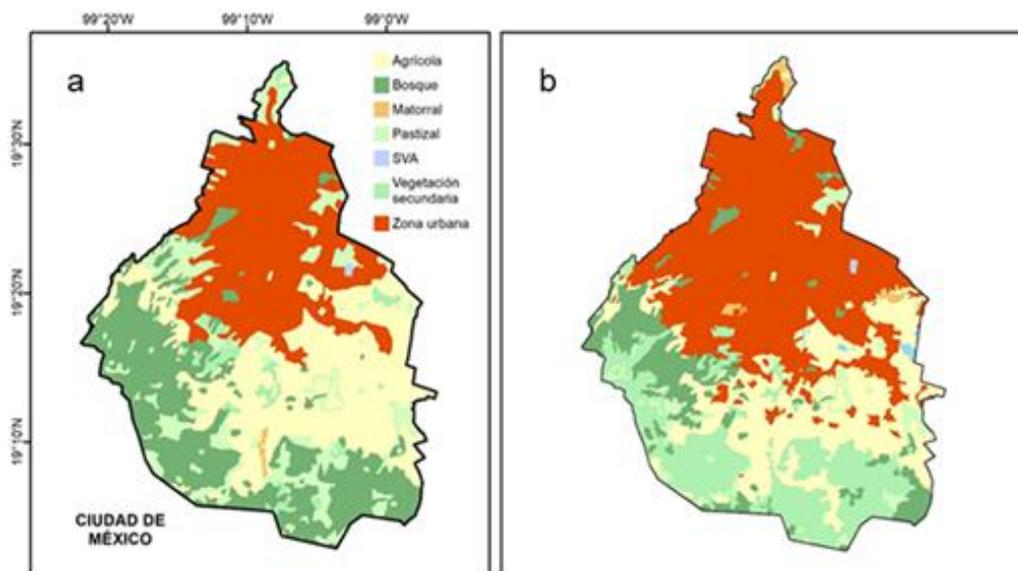


Figura 1. Distribución espacial de las coberturas naturales y uso de suelo en la Ciudad de México. Periodos 1970 (a) y 2021 (b). Fuente: Elaboración propia.

Como resultado del proceso de fragmentación del paisaje natural y el cambio de cobertura del suelo, la superficie urbana en la CDMX aumentó de 432 km² a 653 km² en un periodo de 51 años (1970-2021), reduciéndose los bosques al sur y poniente de la ciudad en 240 km² y la cobertura agrícola localizada en la zona oriente y sur de la ciudad con más de 100 km². Coberturas como los pastizales, se redujeron en 122 km².





Por otro lado, la vegetación secundaria aumento de forma importante (más de 225 km²) al reemplazar parte de la cobertura de bosques. Cuando observamos la distribución de la fragmentación y los cambios en el paisaje natural (Fig. 1), se identifica un crecimiento irregular de la ciudad, acompañado de pequeños asentamientos urbanos dispersos al sur y oriente, donde dominaba el campo agrícola en 1970.



Este fenómeno urbano, está asociado con la orografía de la cuenca. Es decir, en pendientes suaves (sur y oriente de la ciudad) el crecimiento urbano aumentó, mientras que, al poniente de la ciudad, la inclinación del terreno limitó el proceso de urbanización, permitiendo la conservación de bosques y pastizales. La vegetación secundaria localizada al sur y poniente de la ciudad es resultado de la pérdida de la vegetación primaria (bosques), debido a acciones del hombre. Por tal motivo, se puede considerar una cobertura con deterioro ambiental.



Este fenómeno urbano, no sólo afecta áreas naturales periféricas, sino que también afecta áreas verdes dentro de la ciudad. Por ejemplo, el Bosque de Chapultepec (poniente de la ciudad) es afectado por el proceso de urbanización de la ciudad, principalmente en la zona poniente y centro de este bosque urbano. En la figura 2a y 2b, se observa el efecto del crecimiento urbano en el paisaje natural (pérdida de bosque), así como un aumento importante de áreas desprovistas de vegetación cercanas a calles, avenidas y zonas urbanas.

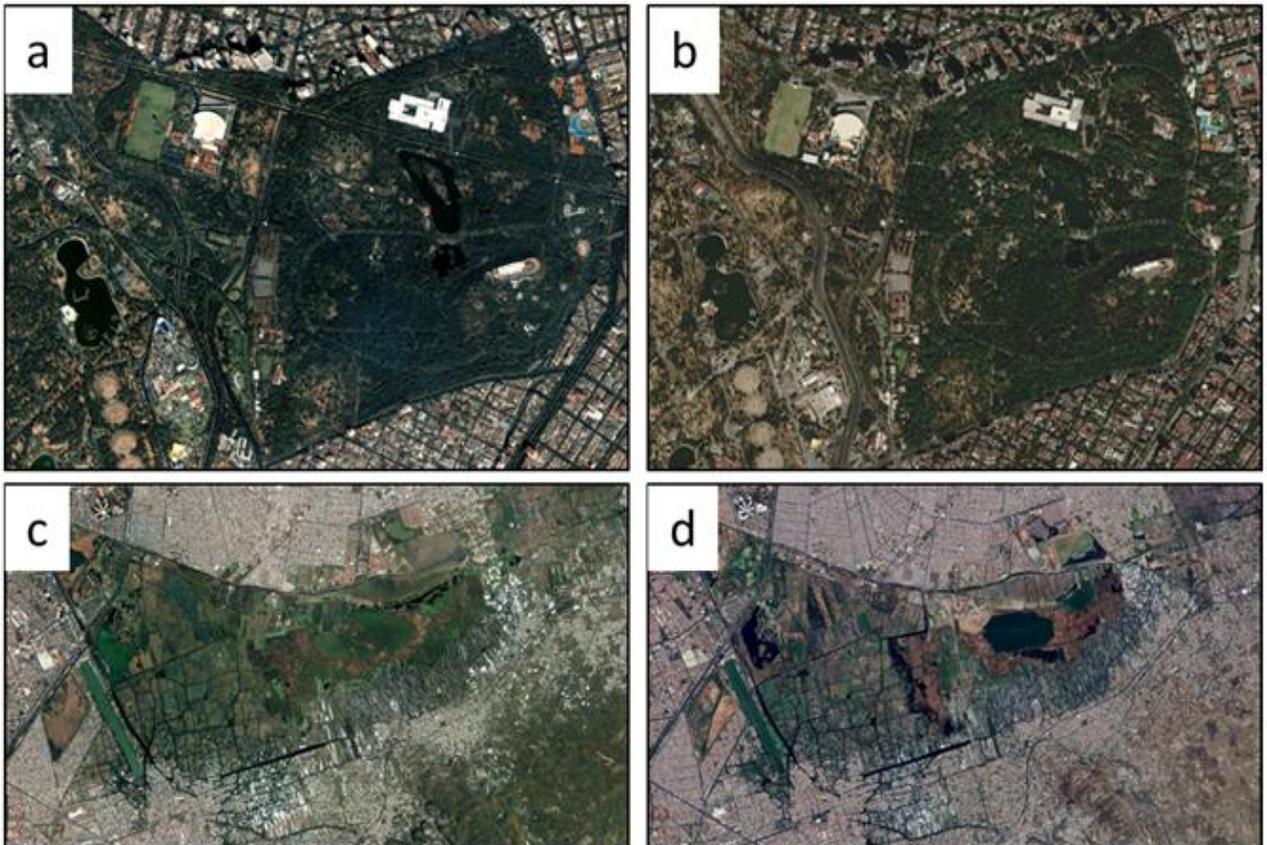


Figura 2. Proceso de transformación del paisaje natural en el Bosque de Chapultepec y en la zona de Chinampas de Xochimilco. Periodo 2000 (a y c) a 2020 (b y d). Fuente: Imágenes de Google Earth.



Otra área con vegetación natural, agricultura y cuerpos de agua afectados por el crecimiento urbano, se localiza en la alcaldía Xochimilco (sur de la ciudad), donde el deterioro ambiental asociado con la densificación urbana (concentración de casas) alrededor de la zona de chinampas (zonas de cultivo artesanal) muestra estar relacionado con la pérdida de coberturas naturales y agrícolas. En la figura 2c y 2d, se puede observar como el crecimiento urbano ha invadido zonas que anteriormente eran consideradas naturales. Esta situación podría estar afectando no sólo la vocación de las chinampas, sino también los servicios ambientales que provee esta zona. Actualmente, este proceso de transformación del territorio en diversas áreas naturales y agrícolas dentro de la CDMX podría explicar el nivel actual de vulnerabilidad ambiental (VA) y riesgo en la ciudad.

Vulnerabilidad ambiental (VA) en la Ciudad de México

Cuando comparamos la evolución de la VA en la CDMX entre 1970 y 2021, podemos observar que existen cambios importantes, asociados con el crecimiento de la zona urbana. En la figura 3 se observa como las zonas con mayor grado de urbanización en ambos periodos, están representadas por los niveles más altos de VA. Esta situación genera efectos negativos en la capacidad de infiltración de los suelos naturales (bosques, selvas, pastos, etc.) cuando son reemplazados por coberturas artificiales (asfalto y concreto) (Solin et al. 2011; Gholami 2013), tal como ocurren en la Ciudad de México.





Otro factor que contribuye con el aumento de VA, está asociado con densidad urbanas, ya que es la principal causa en la transformación del territorio.



Cuando se analiza la VA en la CDMX, se observa como las áreas urbanas “nuevas” con desarrollo disperso e irregular (sur, poniente y oriente de la ciudad), concentran niveles de VA “moderados” a “muy altos” (Fig. 3b) debido principalmente al grado de deterioro del paisaje natural (Fig. 1b).

Por ejemplo, la extensión de la mancha urbana al poniente de la ciudad, muestra mayor impacto que la observada al sur y oriente, debido a la concentración de asentamientos urbanos. Es decir, entre mayor sea el grado de urbanización, mayor será el nivel de VA.



Finalmente, podemos distinguir dos zonas con diferente grado de VA. En la primera de ellas, los valores “bajos” y “muy bajos” (Fig. 3a) están relacionados con: la presencia de coberturas de bosque, su ubicación geográfica (zonas con mayor elevación) y a la escasa actividad humana (Fig. 1a). Una segunda zona, se localiza al sur y sureste de la ciudad, donde el proceso de fragmentación y deterioro ambiental es “alto” (Fig. 1b) y los niveles de VA son “moderados” a “altos” (Fig. 3b).



Aunque la existencia de vegetación secundaria al sur - oriente de la ciudad podría significar una mejor condición de VA, la realidad es que el proceso de urbanización y crecimiento agrícola en zonas naturales (Fig. 1a y 1b) modifica el ciclo natural de las cuencas, tal y como veremos más adelante.

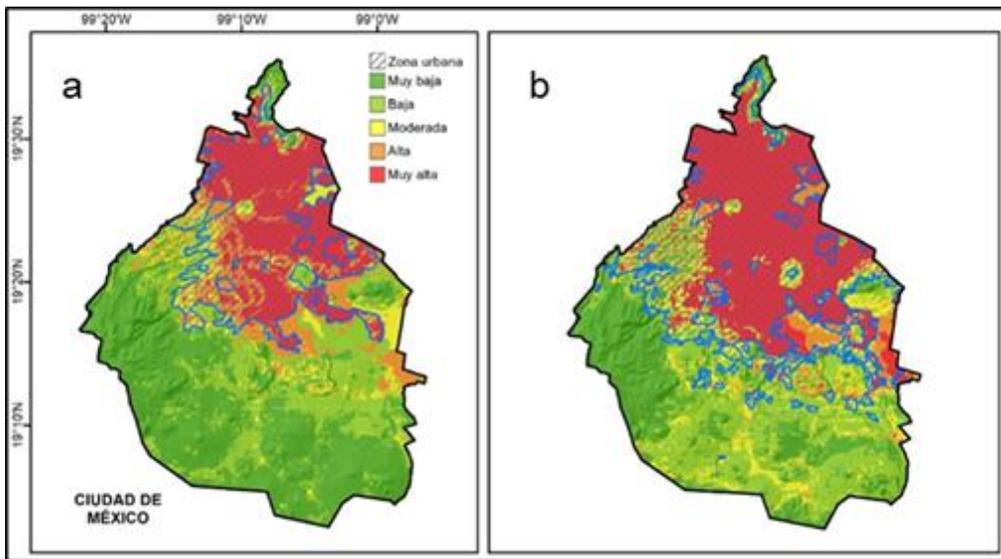


Figura 3. Distribución espacial de valores de vulnerabilidad ambiental (VA) en la cuenca de la CDMX. Periodo: 1970 (a) y 2021 (b). Fuente: Elaboración propia

Capacidad hidrológica de los suelos para infiltrar agua de lluvia.

Con el objetivo de establecer en qué medida el proceso de urbanización en la CDMX, puede modificar la capacidad de infiltración de los suelos y los escurrimientos superficiales, el método de número de curva (NC) se utilizó para evaluar la respuesta hidrológica de las coberturas de suelo natural y antrópico (urbano y agrícola) ante diferentes intensidades de lluvia.



Como resultado (Figura 4), la cobertura agrícola y urbana mostraron los valores más bajos de infiltración. Es decir, para una tormenta de 100 mm, el suelo agrícola infiltra menos del 15% y el suelo urbano menos del 1%, mientras que las coberturas naturales (bosque, pastizal y matorral) mostraron mayor eficiencia para regular (infiltrar) los escurrimientos (62%, 39% y 30%). Finalmente, la vegetación secundaria cuenta con una capacidad de regulación de alrededor del 50%. Como resultado del análisis, podemos establecer que el incremento de superficies urbanas representa un mayor riesgo de inundaciones y encharcamientos en zonas con mayor presencia de esta cobertura, en particular el área urbana localizada en zonas planas, en donde los escurrimientos generados por tormentas intensas pueden acumularse.

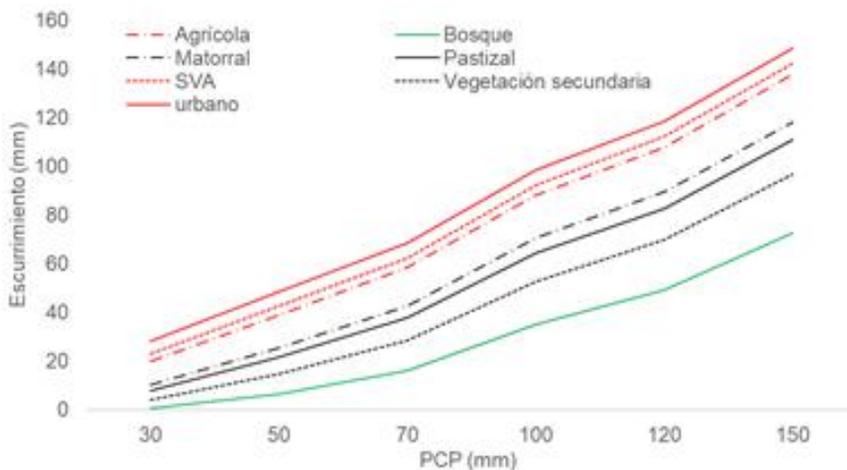


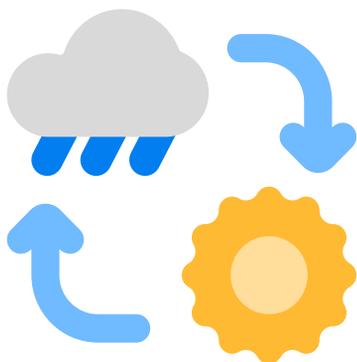
Figura 4. Respuesta hidrológica de las coberturas de suelo de la cuenca de la CDMX para diferentes intensidades de lluvia.

Dinámica de las tormentas en la Ciudad de México

La lluvia es un recurso natural que favorece el desarrollo de hábitats, además de proveer servicios ambientales a la población la CDMX, sin embargo, los cambios observados en la intensidad de las tormentas que ocurren en la ciudad de México han generado impactos importantes en la población.

Esta situación, nos lleva a pensar que existen factores que pueden contribuir con el aumento de episodios de lluvia cada vez más intensos en la ciudad. Un estudio realizado por Aquino (2012) y Magaña, et al (2013) demuestra que los eventos de lluvia intensa en la CDMX están relacionados con el aumento de la temperatura de superficie (isla de calor) debido a la urbanización, lo que contribuye, con el aumento de humedad en la atmosfera, y con ello, el desarrollo de tormentas intensas (> 20 mm), que pueden generar inundaciones y encharcamientos.

Debido a la importancia que significa conocer cómo se distribuyen las lluvias intensas (> 20 mm) en la CDMX, y en vista de su posible contribución con la ocurrencia de inundaciones y encharcamientos, se generaron mapas que permiten visualizar las áreas donde ocurrieron tormentas con diferente intensidad de lluvia (< 20 mm, 20 - 25 mm y > 25 mm), durante el periodo 1991-2016 (Figura 5).



El resultado mostró que las mayores intensidades de lluvia (> 30 mm), se localizan al centro - poniente de la ciudad, donde la vulnerabilidad ambiental se clasificó como alta (Fig. 3b) debido al crecimiento urbano, y donde el efecto orográfico contribuye con la intensificación de tormentas.

Los valores de lluvia entre 20 a 25 mm, se concentran al centro de la ciudad, donde se ubica la mayor superficie urbana (Fig. 1b), por lo que, las condiciones de temperatura (isla de calor) y humedad pueden contribuir con un mayor número de tormentas intensas. Este tipo de eventos de lluvia, se trasladan por acción del viento hacia el poniente de la ciudad, donde los valores "altos" de VA afectan la capacidad de los suelos para infiltrar la lluvia intensa, generando escurrimientos importantes.



Finalmente, al oriente de la ciudad, donde la fragmentación del paisaje y la urbanización es dispersa (Fig. 3b), la intensidad de lluvia mostró valores menores a 25 mm, lo que sugiere que entre menor sea la superficie urbana (o su densidad), los eventos de lluvia intensa serán menores. Con base en esta relación y nivel de VA existente en la CDMX, la zona poniente y centro, se pueden considerar las áreas con mayor posibilidad de ser afectadas por eventos de lluvia intensa y por la acumulación de escurrimientos en zonas urbanas con menor pendiente del terreno, y por lo tanto, mayor riesgo de inundaciones y encharcamientos.

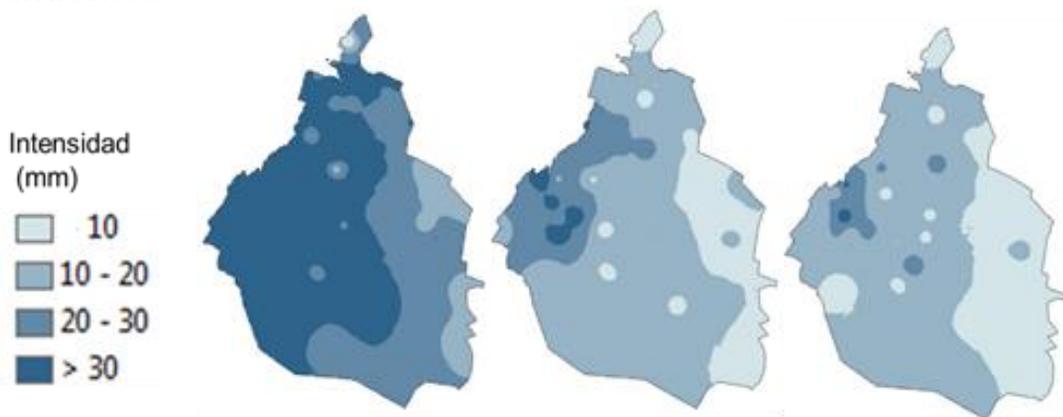


Figura 5. Patrón espacial de eventos de lluvia intensa en la CDMX. Izquierda (> 25 mm) centro (20 - 25 mm) y derecha (< 20 mm). Periodo 1990-2016.

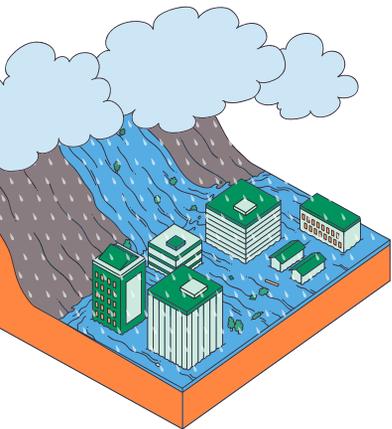
Inundaciones urbanas en la Ciudad de México

Las inundaciones urbanas en la Ciudad de México pueden considerarse resultado del proceso de urbanización del territorio (cuenca hidrográfica) (Domínguez, 2000). Esta situación, ha dado paso a dos tipos de procesos.





El primero, está relacionado con la pérdida de coberturas naturales y el aumento de escurrimientos superficiales que se conducen hacia zonas urbanas con menor pendiente. Un segundo proceso, se relaciona con el aumento de episodios de lluvia cada vez más intensos por el efecto de la isla de calor. Factores como el funcionamiento del sistema de drenaje y el azolvamiento también contribuyen con la frecuencia de encharcamientos e inundaciones en la CDMX (Vázquez y Palazuelos, 2017).



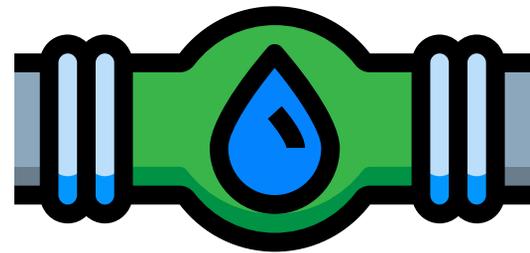
Geográficamente, la Ciudad de México se localiza en una cuenca de tipo endorreica (acumuladora de escurrimientos) que históricamente ha registrado episodios de inundaciones. Sin embargo, el crecimiento de la ciudad generó un aumento de coberturas impermeables, y con ello, la pérdida de infiltración de los suelos naturales en la cuenca de la CDMX, por tanto, las inundaciones que ocurrirían de forma natural (esporádicamente) se han incrementado significativamente, convirtiéndose entonces en un problema relacionado con el proceso de urbanización de la ciudad.

A través de la historia del crecimiento urbano de la CDMX, es posible identificar diferentes desastres originados por inundaciones. Debido a los impactos causados por este tipo de fenómenos (inundaciones), se optó por la construcción de grandes obras de drenaje para el desalojo y el control de escurrimientos, como medida para “resolver” este problema que aumentaba paralelamente con el crecimiento urbano. Diversas obras han sido diseñadas para tratar de aliviar los impactos causados por las inundaciones y los encharcamientos en la ciudad. Algunas obras corresponden a salidas artificiales de la cuenca, hasta la construcción de nuevas redes de drenaje artificial.



Podemos mencionar al: Albarradón de Netzahualcoyotl (1450), Albarradón de San Lázaro (1555), Túnel o Tajo de Nochistongo (1789); Túnel de Tequisquiác (1900; Sistema de Drenaje Profundo de la CDMX (1975) y recientemente, el Túnel Emisor Poniente (2019).

Sin embargo, hoy en día, a pesar de los esfuerzos realizados para tratar de reducir el riesgo de inundaciones y encharcamientos en la CDMX, el número de impactos registrados anualmente continúa afectando a la población de la ciudad de México (DGOCH-DDF, 1975; Zúñiga, 2005; Morán, 2021).



Urbanización y riesgo en la Ciudad de México

Por lo general, el estudio de las inundaciones y encharcamientos en México se ha centrado únicamente en entender la dinámica del peligro (lluvias intensas) sin considerar el contexto en que ocurren las inundaciones y encharcamientos (urbanización del territorio).



Esto ha llevado a considerar a los desastres como “naturales”. Aunque existen esfuerzos, que relacionan el efecto de la urbanización con el aumento de inundaciones urbanas (Cuéllar, M. H., 2017), aún es necesario trabajar en el tema. Por esta razón, este trabajo analiza en qué medida el proceso de urbanización ha contribuido con la VA y el riesgo de inundaciones actual en la CDMX.



Después de evaluar el efecto de la urbanización entre 1970 y 2021, se obtuvieron diferentes niveles de VA para representar la capacidad de infiltración los suelos. Esta información, permitió identificar las zonas más sensibles a partir del crecimiento urbano. Para analizar cambios en el nivel de riesgo de inundaciones y encharcamientos en la CDMX, se combinó información de VA de los periodos analizados (1970 y 2021) con información de lluvia intensa mayor a 30 mm (peligro).

Como resultado (Fig. 6), se determinó que los mayores niveles de riesgo se localizan en las zonas urbanas más antiguas de la ciudad (centro de la ciudad), mientras que los núcleos urbanos más recientes (poniente - sur - oriente) presentaron niveles de riesgo “moderado” a “muy alto”.



En zonas con nulo o bajo nivel de crecimiento urbano (Fig. 1a y 1b), el nivel de riesgo observado es “muy bajo” para 1970 y 2021. Finalmente, donde el proceso de fragmentación es más activo (poniente-sur - oriente) (Figura 1b), el riesgo cambió de “muy bajo” y “bajo” (1970) a “moderado” a “muy alto” en 2021.

A través del análisis realizado, se determinó que el proceso de urbanización en la cuenca de la CDMX entre 1970 y 2021, generó un incremento de los niveles de riesgo: “moderado” (52 %), “alto” (27 %) y “muy alto” (18 %). Por tanto, la fragmentación asociada al crecimiento urbano representa un factor que debe ser considerado en estudios actuales y futuros sobre riesgos de inundaciones y encharcamientos en la CDMX. Aunque es posible entender al riesgo como un proceso que cambia con el tiempo, es necesario evaluar los factores que contribuyen con ese cambio (por ejemplo, el crecimiento urbano y agrícola).



Para validar las condiciones de riesgo por urbanización entre 1970 y 2021, se utilizaron registros de inundaciones y encharcamientos de un periodo de 15 años (2000-2015). El resultado mostró que la zona urbana más antigua de la ciudad (centro) en ambos periodos analizados, concentran la mayor cantidad de registros de desastres.

En zonas menos urbanizadas y dispersas (periferia de la ciudad) en 1970, los registros de desastres se ubican en zonas con riesgo “muy bajos” y “bajos”. Sin embargo, cuando se comparan los registros históricos de desastres con las zonas periféricas en 2021 (urbanizadas), existe una alta correspondencia (> 95%) con los niveles “moderado” a “muy alto”. Por tanto, podemos establecer que el efecto del crecimiento urbano sobre el paisaje natural está estrechamente asociado con la posibilidad de mayor riesgo de inundaciones y encharcamientos en la CDMX.

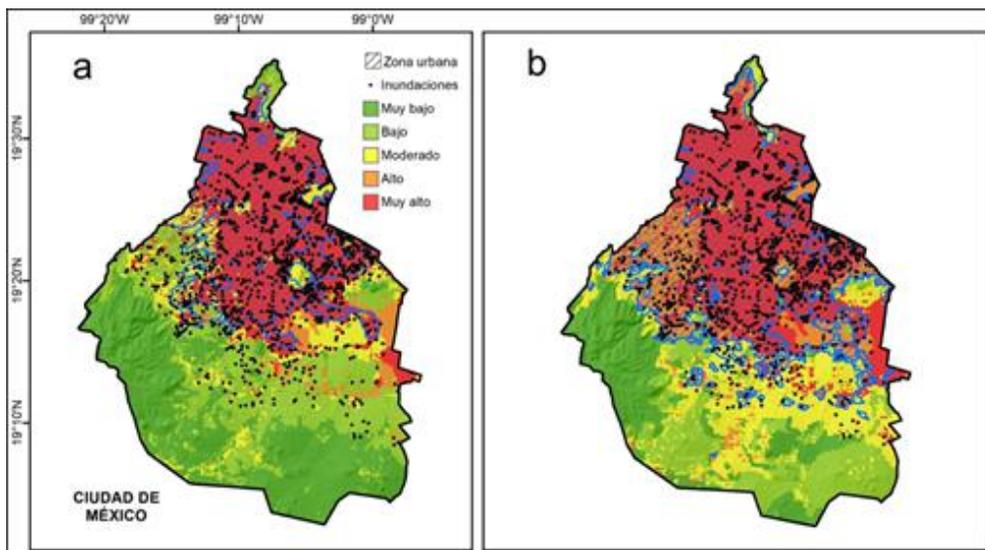


Figura 6. Distribución espacial de valores de riesgo estimados para la Ciudad de México. Periodo 1970 (a) y 2021 (b). Registro histórico de inundaciones y encharcamientos en la CDMX. Periodo: 2000 – 2015.



Conclusiones

Se concluye que el proceso de urbanización en la cuenca de la Ciudad de México durante un periodo de 51 años (1970-2021) generó cambios importantes en el paisaje natural de la cuenca (Fig. 1b), afectando la capacidad hidrológica de los suelos para regular de forma natural los escurrimientos generados por lluvias intensas, principalmente en la zona poniente de la ciudad y donde la fragmentación del paisaje mostró mayores cambios (Fig. 3b). También se observó que los patrones de lluvia más intensa están relacionados a una mayor concentración de zonas urbanas, mientras que en zonas menos urbanizadas la intensidad de lluvia es menor (Fig. 5).



A través del proceso de urbanización de la Ciudad de México, ha sido posible explicar la condición actual de vulnerabilidad ambiental y riesgo de inundaciones y encharcamientos, cuando se comparan los periodos 1970 y 2021.

De esta forma, se determina que las coberturas antrópicas (urbana y agrícola) reducen la capacidad de infiltración de los suelos en aproximadamente 85% y 98%, respectivamente para tormentas de 100 mm, mientras que conservar las superficies naturales (por ejemplo, los bosques) permite la regulación (infiltración) de escurrimientos hasta en 62% para la misma intensidad. Por consiguiente, un adecuado manejo y aprovechamiento del territorio, permitiría conservar y preservar el paisaje natural, reduciendo el efecto negativo del crecimiento urbano, los escurrimientos y su posible impacto en la población.



Finalmente, es importante resaltar que bajo las condiciones actuales de urbanización en la CDMX (2021), aproximadamente 35% de la cuenca donde se localiza la ciudad, presenta niveles de riesgo de inundaciones y encharcamientos “alto” y muy alto” (Fig. 6b), mientras que en zonas urbanas de reciente creación (zonas periféricas), los niveles de riesgo van de “moderados” a “altos”, es decir, en la medida que continúe aumentando la zona urbana, la vulnerabilidad ambiental y el riesgo en la CDMX continuará cambiando, y con ello, mayores impactos en la población y economía de la ciudad. 🍀

Conceptos

Vulnerabilidad ambiental (VA): es la capacidad natural de los suelos, para infiltrar los escurrimientos generados por tormentas con diferente intensidad de lluvia (Zúñiga y Magaña, 2018; 2023). Cuando las coberturas naturales (bosques, selvas, pastizales, etc.) son sustituidas por suelos urbanos o agrícolas, la VA se incrementa, y con ello, los escurrimientos.

Fragmentación del paisaje natural: división del paisaje natural (espacio no modificada por el humano), como consecuencia de la presencia de asentamientos humanos o áreas agrícolas relativamente pequeños. Cuando aumentan de tamaño o se combinan, se transforma el paisaje de natural a urbano o agrícola.

Peligro: término utilizado para expresar la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural, como las lluvias intensas, que puede generar daños o pérdidas en la región donde se presenten.

Número de curva: método utilizado para estimar el potencial de los suelos para generar escurrimientos, a través del tipo de cobertura natural o urbana y su estado de conservación (USDA-NRCS, 1986).

Inundación urbana: ocupación total o parcial de un área que generalmente esta seca, por una lámina de agua suficientemente alta para generar daños y pérdidas económicas y en ocasiones humanas en el lugar donde ocurren, afectando con ello, el desarrollo normal de las actividades de la población.

Riesgo: representa la probabilidad de daños y pérdidas que pueden presentarse en un área específica, cuando se combina un peligro (por ejemplo: lluvias intensas) con la vulnerabilidad de una región, ciudad etc. (por ejemplo: vulnerabilidad ambiental)



Agradecimientos

El presente estudio fue apoyado por el Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra (LANOT 2023) LN-CONAHCYT-2023 del Instituto de Geografía de la UNAM, proporcionando infraestructura de cómputo para el procesamiento de datos. Agradecemos a Gustavo Vázquez Cruz por su apoyo en cómputo científico.

Para Consulta

1. Pérez-Vega A, Ortiz-Pérez MA. 2002. Cambio de la cubierta vegetal y vulnerabilidad a la inundación en el curso bajo del río Papaloapan, Veracruz. *Investigaciones geográficas* 48: 90-105.
2. Schteingart M. 1987. Expansión urbana, conflictos sociales y deterioro ambiental en la ciudad de México. El caso del Ajusco. *Estudios Demográficos y Urbanos* 2(3, 6): 449-477. <http://www.jstor.org/stable/40310378>
3. Solin L, Feranec J, Novaček J. 2011. Land cover changes in small catchments in Slovakia during 1990-2006 and their effects on frequency of flood events. *Nat Hazards* 56(1): 195-214
4. Gholami V. 2013. The influence of deforestation on runoff generation and soil erosion (Case study: Kasilian Watershed). *J For Sci* 59(7): 272-278
5. Aquino M, Lourdes P. 2012. Impacto de la urbanización sobre la dinámica de las tormentas en el valle de México. Tesis de Maestría. UNAM. <https://tesiunam.dgb.unam.mx>
6. Magaña V, López LC, Vázquez G. 2013. El pronóstico de lluvias intensas para la Ciudad de México. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* 16: 18-25.
7. Vázquez-Correa L, Palazuelos-Covarrubias I. 2017. Principales retos y pendientes ante las inundaciones en México.
8. DGOH-DDF. 1975. Memorias de las obras del sistema de drenaje profundo del Distrito Federal. Tomo III.
9. Zúñiga E. 2005. La importancia social del sistema de drenaje en el Distrito Federal para los años 1990-2000. Tesis de Licenciatura. UNAM.
10. Morán EJD. 2021. Escenarios de riesgos y desastres por sismos e inundaciones en la zona metropolitana de la Ciudad de México. El Colegio de San Luis.
11. Cuéllar MH. 2017. 4.-La Ciudad de México: Procesos de inundación y cambios ambientales. Siglos XVI y XVII. *Clima y cultura: crisis y colapsos* 2, 125.



Crédito de imágenes en orden de aparición: VITALII BORKOVSKIY de Vitaliy, CJ Romas de Getty Images (GI), Worldedit (GI), George Pontino Jr de Created Content Connect, viktoriiablohina, Sister JoBangles de Pixabay, deemakdaksina, Vik_Y,Mzxicons, Serhii Yevdokymov, DAPA Images, Victoria sergeeva, heyrrabbiticons, Molekuul´s Images, Buravleva Stock, lil artsy de Pexels, blueringmedia, humblino, macrovector, Icons8, juliars, Craftery Co de Craftery Co, cinoby (GI), Blueringmedia de Graphics RF, herrabbiticons, Vectortradition, Chirawan, AR_twork, Alla Zbitnieva, krailurk (GI), amethyststudio, Aureielaki, OWLISKO de OWLISKO, Jess311 (GI), DAPA Images, Smart farm, Terkph Alive, akchamczuk, Kise1ki y Tom Fisk de Pexels.

Diseño de publicación: Yareli Fiburcio



Ángel Emmanuel Zúñiga Tovar

Investigador por México adscrito al Laboratorio Nacional de Observación de la Tierra del Instituto de Geografía de la UNAM. Especialista en monitoreo ambiental, atmosférico y oceánico a partir de imágenes satelitales de sensores pasivos y activos. Trabaja modelación de inundaciones, vulnerabilidad ambiental y climatología urbana, así como análisis y gestión de riesgos hidrometeorológicos.

contacto: ezuniga@geografia.unam.mx