

La Zona Metropolitana del Valle de México, análisis de riesgos por lluvias extremas

Juárez-Hernández Argelia Esperanza (1); Zepeda-Bautista Rosalba (1); Ángeles-Islas Jorge Fernando (2)

(1) Instituto Politécnico Nacional, ESIME-Zacatenco, CDMX, México

(2) Instituto Politécnico Nacional, UPIITA, Ciencias básicas, CDMX, México

argel_186@hotmail.com; rzedepab@ipn.mx; jangelesi@ipn.mx

<https://orcid.org/0000-0002-0852-7953>, <https://orcid.org/0000-0003-0988-8619>, <https://orcid.org/0000-0003-23742990>

Resumen— En 2023, México se consolidó como cuarto país con mayor riesgo de desastres a nivel mundial y como el primero del continente americano. En el entendido que el territorio nacional está expuesto a desastres de origen natural, así como antropogénico, esta gran urbe presenta retos que deben ser estudiados. La gestión de los recursos naturales, el cuidado al medio ambiente y la cultura de la protección civil son elementos que configuran un sistema complejo como la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). El objetivo del presente trabajo es analizar el comportamiento de lluvias extremas en la zona de estudio y sus impactos en los sistemas afectables. Se utilizó un análisis estadístico del registro histórico de estaciones climatológicas desde 1880 hasta 2024, así como el Atlas Nacional de Riesgos. Los resultados muestran que lluvias de gran intensidad se presentan aproximadamente cada 5 años en la zona de estudio, por otro lado, se identificaron zonas que presentan mayor de riesgo de desastres al oriente y norte de la ZMVM.

Palabras Clave — Gestión de recursos naturales, Lluvias extremas, Protección civil, Riesgo de desastres, Zona Metropolitana del Valle de México.

Abstract- In 2023, Mexico was consolidated as the fourth country with the highest risk of disasters worldwide and the first in the American continent. Given that the national territory is exposed to disasters of natural as well as anthropogenic origin, this large city presents challenges that must be studied. The management of natural resources, care for the environment and the culture of civil protection are elements that make up a complex system such as the Metropolitan Zone of the Valley of Mexico (ZMVM). The objective of this work is to analyze the behavior of extreme rainfall in the study area and its impacts on the affected systems. A statistical analysis of the historical record of weather stations from 1880 to 2024 was used, as well as the National Risk Atlas. The results show that high-intensity rainfall occurs approximately every 5 years in the study area, on the other hand, areas that present a higher risk of disasters were identified to the east and north of the ZMVM.

I. INTRODUCCIÓN

La Zona Metropolitana del Valle de México es considerada como una de las más grandes urbes a nivel mundial, constituida por la creciente afluencia y movimiento de personas de los municipios circundantes a la Ciudad de México desde 1950 y fue hasta diciembre de 2005 cuando adoptó su nombre actual y en el que se incluyó un municipio del estado de Hidalgo [1], [2]. México se consolidó como cuarto país con mayor riesgo de desastres a nivel mundial y como el primero del continente americano siendo los desastres de origen hidrometeorológico los que generan las mayores pérdidas materiales y de vidas humanas en comparación con otro tipo de desastre [3]. Analizar el grado de exposición y vulnerabilidad de los sistemas expuestos a algún agente perturbador es fundamental para comprender la dinámica de estos, considerando que las poblaciones con mayor grado de marginación y rezago social tienen a ser menos resilientes, incapaces de recuperarse una vez materializado el peligro [4], [5].

II. METODOLOGÍA/DESARROLLO

A. Descripción de la zona de estudio

Anteriormente la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) estaba conformada por municipios del Estado de México, Ciudad de México, Morelos e Hidalgo, sin embargo, en 2005 se define oficialmente como lo conocemos actualmente, con 76 municipios (Figura 1), 16 alcaldías de la Ciudad de México, 59 municipios del Estado de México y un municipio del estado de Hidalgo (Mena, 2019), tiene una extensión territorial aproximada de 7.180 km² y cuenta con 21,804,515 habitantes [6].



Figura 1.- Zona Metropolitana del Valle de México integrada por 76 municipios.

B. Integración de la base de datos

Se consultó la base de datos climatológica de la Comisión Nacional del Agua (Conagua) para analizar los registros históricos de 25 estaciones climatológicas ubicadas en la zona de estudio y que se encuentran operando en la actualidad (Tabla 1).

Tabla 1.- Estaciones climatológicas consultadas que se encuentran operando actualmente, 17 de la Ciudad de México, 2 del Estado de Hidalgo y 6 del Estado de México.

Clave	Nombre de la estación climatológica	Estado
C09002	Ajusco	Ciudad de México
C09004	Calvario 61	Ciudad de México
C09008	Ciudad Universitaria	Ciudad de México
C09010	Colonia América	Ciudad de México
C09014	Colonia Santa Úrsula Coapa	Ciudad de México
C09020	Desviación Alta al Pedregal	Ciudad de México
C09022	El Guarda	Ciudad de México
C09029	Gran Canal Km. 06+250	Ciudad de México
C09032	Milpa Alta	Ciudad de México
C09036	Playa Caleta 454 Colonia Marte	Ciudad de México
C09041	San Francisco Tlalnepantla	Ciudad de México
C09043	San Juan de Aragón	Ciudad de México
C09048	Tacubaya Central	Ciudad de México
C09051	Tláhuac	Ciudad de México
C09068	Puente La Llave	Ciudad de México
C09070	Campo Experimental Coyoacán	Ciudad de México
C09071	Colonia Educación	Ciudad de México
13008	El manantial	Hidalgo
13091	Tizayuca	Hidalgo
15008	Atenco	Estado de México
15013	Colacoaya	Estado de México
15020	Chalco	Estado de México
15008	Atenco	Estado de México
15044	La grande	Estado de México
15081	Represa el alemán	Estado de México

C. Atlas Nacional de Riesgo

Para realizar la identificación de zonas expuestas a riesgo de desastres, se utilizó el Atlas Nacional de Riesgo del Centro

Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred). Un sistema afectable a todo sistema integrado por el hombre y por los elementos que este necesita para su subsistencia, sobre el que pueden materializarse los efectos de un fenómeno o agente perturbador (DOF, 2012). En esta investigación se consideran como sistemas afectables las vías de comunicación, los servicios de salud, la vivienda y los servicios de transporte público. La exposición y vulnerabilidad de los sistemas afectables se analizaron mediante el uso de capas del Atlas Nacional de Riesgos [7] (Garnica & Alcántara, 2004).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de la base de datos mostró que la calidad de la información histórica de las variables climáticas es deficiente en gran cantidad de estaciones, por ejemplo, el número de estaciones climatológicas que operan actualmente en la CDMX es considerablemente reducido (Figura 2), sólo 16 estaciones de 60 y se observa que sólo la estación 9048-Tacubaya Central, ubicada en la delegación Miguel Hidalgo cuenta con 140 años de información y ha operado de manera ininterrumpida desde 1877 hasta la fecha. Por el contrario, estaciones como la 9064-Chapultepec y la 9040-San Borja 726, cuentan con sólo 4 y 6 años de información. Lo anterior es un obstáculo que se debe considerar al analizar estadísticamente la información.

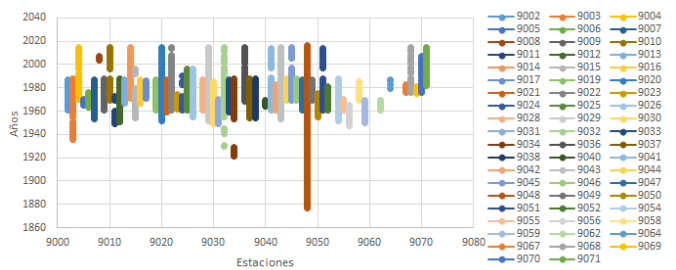


Figura 2.- Registro histórico de precipitación para cada estación climatológica de la Ciudad de México.

Por otro lado, el análisis de capas realizado en el Atlas Nacional de Riesgos mostró puntos críticos por inundación varias regiones de la ZMVM, Chalco e Ixtapaluca (Figura 3), la delegación Iztapalapa, Ecatepec de Morelos, Nezahualcóyotl y Naucalpan de Juárez.

En el año 2009 se identificaron afectaciones en varias zonas del Estado de México causadas por lluvias extremas, particularmente la ruptura del Emisor Poniente que dejó inundaciones de más de 2 metros de altura en colonias de Atizapán de Zaragoza y Tlalnepantla de Baz, 2365 viviendas resultaron afectadas, 2 decesos y daños en diferentes sectores, las pérdidas materiales se estiman en 29.4 millones de dólares [8].

En 2011 el desbordamiento del río de Los Remedios afectó a 7548 viviendas en las colonias Valle de Aragón, Granjas Independencia, Pedro Ojeda Paullada y Nicolás Bravo por inundaciones de aguas negras.

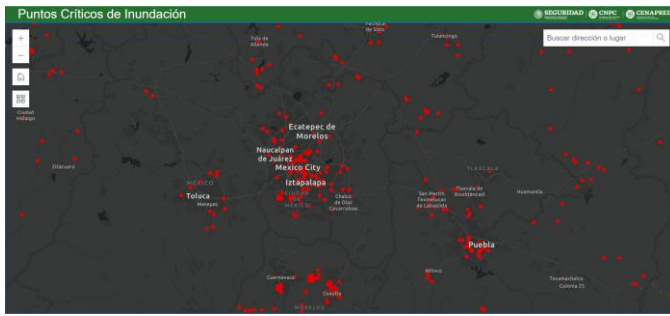


Figura 3.- Puntos críticos por inundación. Se observa en color rojo las zonas con las mayores inundaciones.

Para definir un riesgo, es necesario considerar la exposición y vulnerabilidad de los sistemas expuestos o afectables, por lo que se tomaron en cuenta los grados de exposición, índices de peligro y vulnerabilidad calculados por el Cenapred a nivel municipal. En la figura 4, observamos valores que son resultado de la simplificación del análisis sobre diferentes amenazas. Las localidades en rojo representan un muy alto grado de peligro o exposición, lo que significa que ante impacto de un fenómeno perturbador los sistemas expuestos tendrán graves afectaciones.

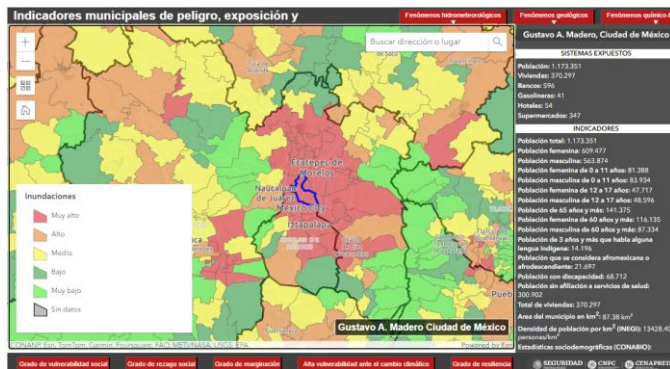


Figura 4.- Indicadores municipales de peligro, exposición y vulnerabilidad.

Las zonas, norte y oriente de la ciudad aportan la mayor cantidad de trabajadores que viajan diariamente a la Ciudad de México para llegar a sus centros de trabajo, con recorridos que duran de 2 a 3 horas aproximadamente y que, si se presenta una lluvia extrema, duplica sus tiempos y aumenta los costos de transportación por el colapso de las vías de comunicación como la calzada Ignacio Zaragoza y/o inundación de la Línea A del metro. Por otro lado, se encontró que las afectaciones a los servicios de salud radican en la pérdida de citas médicas y servicios hospitalarios por el encharcamiento de los centros de salud.

Finalmente, al realizar el análisis del registro de lluvias identificaron tres eventos que ocasionaron el colapso de prácticamente toda la ZMVM. En septiembre de 2015, se registraron lluvias que alcanzaron los 75 mm, en la zona norte de la ciudad el agua alcanzó más de un metro y medio de altura;

en junio de 2017 se registraron tres días consecutivos con lluvias de 55.9, 75.9 y 84.3 mm, respectivamente, que ocasionó cuantiosas pérdidas materiales particularmente en la zona de Valle de Chalco y sus alrededores, sin mencionar las pérdidas por procesos de remoción en masa en las faldas de la Sierra de Guadalupe en la alcaldía Gustavo A. Madero. Adicionalmente, se observó que el registro muestra cierta periodicidad cada 5 años aproximadamente que, si bien no se consideran lluvias de grandes magnitudes como los en los casos de 2015 y 2017, superan la precipitación media de la zona y provocan afectaciones principalmente en las vías de comunicación y servicios de transporte público.

IV. CONCLUSIONES

Se concluye que los municipios que presentan mayor riesgo por inundación son Ecatepec de Morelos, Naucalpan de Juárez, Chalco, Ixtapaluca, Nezahualcóyotl y Valle de Chalco, esto por la interacción de diferentes factores que convergen para potenciar los peligros, como el rezago social, la falta de servicios de salud, precariedad en la vivienda, entre otros. En la Ciudad de México, las zonas más vulnerables son las delegaciones Iztapalapa, Gustavo A. Madero, Álvaro Obregón, Cuajimalpa de Morelos, Tlalpan y Xochimilco, al igual que lo que se observa en el Estado de México, las condiciones de rezago social potencian el fenómeno perturbador.

Particularmente, en 1972 el desbordamiento de los ríos San Andrés y San Buenaventura ocasionó daños materiales incalculables en 11 poblados de Tlalpan, Xochimilco, Álvaro Obregón y Cuajimalpa, se reportaron 18 decesos, heridos y desaparecidos. Los años con las peores afectaciones fueron el 2000 y 2010, con el desbordamiento del río de La Compañía en ambas ocasiones provocado por lluvias extremas, las afectaciones impactaron en miles de viviendas que permanecieron bajo aguas negras durante semanas.

Para mitigar los impactos que un agente perturbador pueda generar en un sistema, es necesario identificar el grado de exposición y vulnerabilidad, así como la construcción de sociedades resilientes capaces de regresar rápidamente a la normalidad después de la materialización de un peligro. Generar y difundir información que permita a una sociedad estar consiente y preparada ante la presencia de un agente perturbador como las lluvias extremas, es fundamental para transformar mentes y sociedades, en concordancia con el cuidado al medio ambiente y la cultura de la autoprotección será la solución a muchas de las problemáticas actuales en pro de una sociedad preparada y resiliente.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Seciht y al Instituto Politécnico Nacional, por el apoyo brindado para la realización de este proyecto de investigación.

REFERENCIAS

- [1] J. Escobar and J. Jiménez, “Urbanismo y sustentabilidad: estado actual del desarrollo urbano de la ZMVM,” *Revista digital universitaria*, vol. 10, 7, Jul. 2009, Accessed: Oct. 20, 2024. [Online]. Available: <http://www.revista.unam.mx/vol.10/num7/art40/art40.htm>
- [2] J. E. Mena, “The Metropolitan Zone of the Valley of Mexico: formal arrangements and fragmentation,” *Economía, Sociedad y Territorio*, vol. 19, no. 60, pp. 241–271, May 2019, doi: 10.22136/est20191335.
- [3] Bündnis Entwicklung Hilft / IFHV, “World Risk Report 2023,” erlin: Bündnis Entwicklung Hilft., 2023.
- [4] M. Gómez-Valentín, F. Macchione, and B. Russo, “Comportamiento hidráulico de las calles durante lluvias extremas en zonas urbanas,” *Ingeniería hidráulica en México*, vol. XXIV, no. 3, pp. 51–62, 2009.
- [5] G. R. Pardo, “El radar meteorológico y los sistemas de alerta contra inundaciones causadas por intensas lluvias,” vol. XXXII, no. 1, pp. 80–86, 2011.
- [6] INEGI, “Marco Geoestadístico Nacional,” 2017. [Online]. Available: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/catalogoclaves.aspx>
- [7] R. Garnica and I. Alcántara, “Riesgos por inundación asociados a eventos de precipitación extraordinaria en el curso bajo del río Tecolutla, Veracruz,” *Investigaciones Geográficas*, vol. 55, pp. 23–45, 2004.
- [8] Cenapred, “FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS.” Accessed: Mar. 19, 2025. [Online]. Available: <https://rmgir.proyectomesoamerica.org/portal/apps/Cascade/index.html?appid=ee6f29bb0f444b6582332473282e3ca2>