

ISOYETAS DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS ANUALES ACUMULADAS EN 24 HORAS EN LA CIUDAD DE MÉXICO

PARA LOS PERIODOS
DE RETORNO DE
2, 5, 10, 20,
50 Y 100
AÑOS



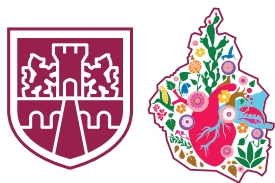
INFORMES
TÉCNICOS
2025



**GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO**
CAPITAL DE LA TRANSFORMACIÓN



**SECRETARÍA DE GESTIÓN INTEGRAL
DE RIESGOS Y PROTECCIÓN CIVIL**



**GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO**
CAPITAL DE LA TRANSFORMACIÓN



SGIRPC

**SECRETARÍA DE GESTIÓN INTEGRAL
DE RIESGOS Y PROTECCIÓN CIVIL
DE LA CIUDAD DE MÉXICO**

Arq. Myriam Urzúa Venegas

Secretaria de Gestión Integral de Riesgo
y Protección Civil

Lic. Luz Elena Rivera Cano

Secretaria Particular de la Secretaría de Gestión
Integral de Riesgos y Protección Civil

Mtro. Jorge Antonio Ortiz Torres

Asesor de la Secretaria

Lic. Iccen Leticia Salas Pichardo

Directora Ejecutiva de Asuntos Jurídicos

Mtra. Gloria Luz Ortiz Espejel

Directora General de Vinculación y Capacitación

Mtro. Norlang Marcel García Arróliga

Director General de Resiliencia

Lic. Rafael Humberto Marín Cambranis

Director General de Análisis de Riesgos

Mtro. Pedro Martínez Cornejo

Director General de Táctico Operativa

Mtra. Erika Alejandra Barba Luna

Directora Ejecutiva de Administración y Finanzas

Lic. Jonathan Pascual Capote Romero

Director de Difusión de Prevención de Riesgos

ESTUDIO REALIZADO POR:

**ROMÁN VALVERDE DELGADO
DIANA LAURA DIAZ CRUZ**

**FENÓMENOS NATURALES
Y ANTROPOGÉNICOS**

**DIRECCIÓN GENERAL
DE ANÁLISIS DE RIESGOS**

AÑO 2025

Diseño: Sandra Elizet Torres Campos

Inscrita a la Dirección de Difusión
de Prevención de Riesgos



ÍNDICE

1. OBJETIVO	6
2. ANTECEDENTES	6
3. BASE DE DATOS	7
ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS	7
PERIODO DE RETORNO	10
Importancia del Tr en análisis hidrológicos	10
Escenarios por periodo de retorno	10
4. METODOLOGÍA	12
MÁXIMOS DIARIOS ANUALES	12
ESTIMACIÓN DE DATOS FALTANTES	13
AJUSTE DE DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD	13
Distribución Normal	14
Distribución Log-Normal.....	14
Distribución de Valores Extremo Tipo I (Gumbel).....	14
Distribución Exponencial	15
Distribución Gamma	15
Distribución Bivariada - Gumbel Doble (BiGumbel Doble)	16
LÁMINAS DE LLUVIA ASOCIADA A CADA PERIODO DE RETORNO	17
INTERPOLACIÓN ESPACIAL	19
5. GENERACIÓN DE ISOYETAS.....	26
GENERACIÓN DE ISOYETAS EN QGIS	26
MAPAS DE ISOYETAS POR PERIODO DE RETORNO	26
Isoyetas para el Tr de 2 años	27
Isoyetas para el Tr de 5 años	28
Isoyetas para el Tr de 10 años	29
Isoyetas para el Tr de 20 años	30
Isoyetas para el Tr de 50 años	31
Isoyetas para el Tr de 100 años	32
6. CONCLUSIONES	33
7. REFERENCIAS	35

1.OBJETIVO

Elaborar mapas de isoyetas que representen la distribución espacial de la lluvia máxima anual acumulada en un lapso de 24 horas en la Ciudad de México para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años, con el fin de proporcionar una herramienta técnica que apoye principalmente el análisis de riesgos hidrometeorológicos.

2. ANTECEDENTES

La Ciudad de México (CDMX) es una de las zonas urbanas más densamente pobladas. Su ubicación geográfica, topografía y condiciones climatológicas la hacen particularmente vulnerable ante fenómenos hidrometeorológicos extremos, como lluvias intensas y tormentas localizadas.

De acuerdo con los informes anuales de gestión hídrica y pluvial del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX), ahora Secretaría de Gestión Integral del Agua, durante las últimas décadas, la Ciudad de México ha enfrentado un incremento tanto en la frecuencia como en la intensidad de las lluvias, generando afectaciones en diversas zonas. Entre los principales problemas asociados se encuentran:

- Inundaciones urbanas, las cuales han sido provocadas por lluvias intensas en cortos periodos de tiempo, que superan la capacidad del sistema de drenaje pluvial (SACMEX, 2022).
- Escurrimientos superficiales no controlados, derivados de la expansión urbana sobre áreas naturales de infiltración, lo que ha modificado la dinámica del escurrimiento superficial, incrementando el volumen y velocidad del agua de lluvia.
- Daños e insuficiencia en la infraestructura hidráulica. Las necesidades de mantenimiento, construcción y operación requieren atención permanente, ya que son elementos dinámicos y crecientes ante el incremento de población, los hundimientos del terreno y el cambio climático (SACMEX, 2015).

Ante este contexto, la elaboración de isoyetas para distintos periodos de retorno se vuelve una herramienta esencial para comprender y visualizar la distribución espacial de la lluvia extrema, apoyar en la toma de decisiones técnicas para el diseño de obras hidráulicas, priorizar zonas de intervención en términos de riesgo hídrico, fortalecer la planificación urbana con criterios de resiliencia y contribuir a la actualización de atlas de riesgo y sistemas de alerta temprana.

Las isoyetas, como representación espacial de la precipitación estimada para diferentes periodos de retorno, permiten visualizar zonas de mayor intensidad plu-

viométrica. Además de ser importantes para las autoridades locales que requieran esta información actualizada para definir políticas públicas de mitigación de riesgos y planeación territorial.

La Secretaría de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil de la Ciudad de México (SGIRPC) desempeña un papel clave en la supervisión, elaboración y operación del Atlas de Riesgos de la Ciudad de México, en cumplimiento de lo establecido en el Artículo 2, fracción V de la Ley de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil de la Ciudad de México (LGIRPC). Este instrumento constituye un sistema integral de información geoespacial, que consolida los Atlas de Riesgos de las diferentes alcaldías y presenta estimaciones sobre daños y pérdidas potenciales, basadas en el análisis espacial y temporal de la interacción entre peligros, vulnerabilidad, exposición y sistemas expuestos. De esta manera, el Atlas se convierte en una herramienta estratégica para la identificación de zonas de riesgo, planificación de emergencias, diseño de políticas de resiliencia urbana, cumplimiento normativo y toma de decisiones fundamentadas en materia de Protección Civil.

El presente informe busca ofrecer una base técnica, construida a partir de datos climatológicos reales, tomados de la Información Estadística Climatológica publicada por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), análisis probabilísticos y herramientas geoespaciales, para apoyar en la toma de decisiones sobre la gestión del recurso hídrico y la prevención de riesgos hidrometeorológicos en la Ciudad de México.

3. BASE DE DATOS

ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS

Las estaciones climatológicas son instalaciones diseñadas para medir y registrar variables climáticas y meteorológicas en un lugar específico. Suelen estar equipadas con instrumentos especializados para medir variables como la temperatura del aire, del suelo y del agua; la cantidad y tipo de precipitaciones como lluvia, nieve o granizo; humedad relativa del aire; velocidad y dirección del viento; cantidad de radiación solar que llega a la superficie terrestre; y presión del aire en la superficie terrestre.

El análisis de la distribución espacial de la precipitación se fundamenta en el uso de datos provenientes de estaciones climatológicas que han registrado lluvia en forma continua durante un periodo representativo. La calidad y densidad de estas estaciones impacta directamente en la precisión del modelo de isoyetas generado, especialmente en zonas con alta variabilidad orográfica o urbanización intensa.

La selección de estaciones debe considerar los siguientes criterios:

- Ubicación geográfica dentro de los límites administrativos, en este caso, de la Ciudad de México y su zona de influencia inmediata.
- Disponibilidad de datos de precipitación diaria por al menos 20 años continuos.
- Calidad de los datos, priorizando series validadas y sin lagunas extensas.

Aunque la densidad de estaciones en la Ciudad de México es relativamente alta en comparación con otras zonas del país, existen retos importantes a considerar como los espacios con baja cobertura en zonas montañosas, discontinuidades o vacíos temporales en algunas series y las diferencias que se pusieran generar entre estaciones manuales y automáticas que pueden afectar la homogeneidad de los datos.

Estas limitaciones fueron consideradas durante el proceso de interpolación, utilizando métodos que minimicen el sesgo en zonas con menor densidad de datos.

Ante la necesidad de contar con información climática confiable, para el presente análisis se recurrió a los datos de registro de 29 estaciones climatológicas que conforman a la Red Nacional de la CONAGUA. Estas cuentan con amplios registros históricos, lo que permite un análisis profundo y de largo plazo de los patrones de precipitación. Posterior a la revisión de los registros diarios, se verificó que estos cumplieran con los criterios de validación previamente descritos. A continuación se enlistan los números de identificación de las estaciones, nombre, latitud y longitud, así como su representación gráfica:

No.	Estación	Nombre	Latitud	Longitud
1	9004	CALVARIO 61	19.20306	-99.14917
2	9010	COLONIA AMERICA	19.41250	-99.20167
3	9014	COLONIA SANTA URSULA COAPA	19.30333	-99.14806
4	9020	DESVIACION ALTA AL PEDREGAL	19.29694	-99.18222
5	9022	EL GUARDA	19.13444	-99.17306
6	9029	GRAN CANAL KM. 06+250	19.47667	-99.09139
7	9032	MILPA ALTA	19.19056	-99.02194
8	9036	PLAYA CALETA 454 COLONIA MARTE	19.39528	-99.09778
9	9041	SAN FRANCISCO TLALNEPANTLA	19.19667	-99.12861
10	9043	SAN JUAN DE ARAGON	19.46528	-99.07917
11	9045	SANTA ANA TLACOTENCO	19.17889	-99.00278
12	9048	TACUBAYA CENTRAL (OBS)	19.40361	-99.19611
13	9051	TLAHUAC	19.26278	-99.00361

Tabla 1
Estaciones climatológicas empleadas en la construcción de isoyetas de lluvias máximas anuales
Fuente: Elaboración propia con base en los datos de la Red Nacional de la CONAGUA

14	9068	PUENTE LA LLAVE	19.42917	-99.05278
15	9071	COLONIA EDUCACION	19.33389	-99.13222
16	15020	CHALCO SAN LUCAS	19.25833	-98.89583
17	15039	JUCHITEPEC	19.08694	-98.88472
18	15041	GRAN CANAL KM 27+250	19.56167	-99.01944
19	15045	LA MARQUESA	19.29861	-99.36861
20	15047	LAS ARBOLEDAS	19.56278	-99.21583
21	15050	LOS REYES	19.35778	-98.99167
22	15059	MOLINO BLANCO	19.47750	-99.22083
23	15077	PRESA TOTOLICA	19.45278	-99.28361
24	15094	SAN LUIS AMECA	19.19028	-98.87083
25	15098	SAN MARTIN OBISPO	19.62167	-99.19278
26	15173	AHUATENCO	18.94833	-99.33139
27	17039	SAN JUAN TLACOTENCO	19.03917	-99.09389
28	17047	HUITZILAC	19.05833	-99.27417
29	17051	TOTOLAPAN E-10	18.98694	-98.91972

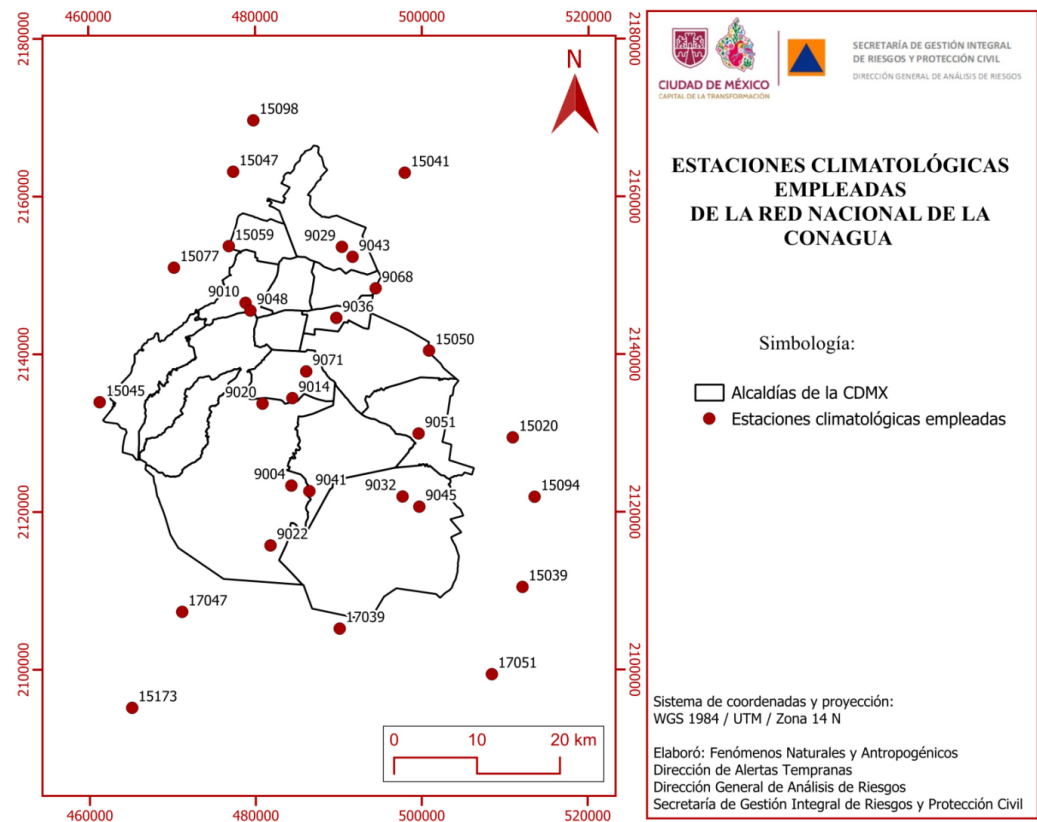


Figura 1
Estaciones climatológicas empleadas en la construcción de las isoyetas de lluvias máximas anuales
Fuente: Elaboración propia con base en los datos de la Red Nacional de CONAGUA

PERIODO DE RETORNO

El periodo de retorno (T_r) es un concepto estadístico fundamental en hidrología, que indica el tiempo promedio de ocurrencia que se espera entre eventos de una determinada magnitud o intensidad. En el caso de la precipitación, se refiere al número de años en los que, en promedio, se puede esperar que ocurra, por ejemplo, una lluvia igual o mayor a un valor específico.

Importancia del T_r en análisis hidrológicos

La estimación de lluvias para diferentes periodos de retorno es clave en el diseño y evaluación de infraestructura hidráulica. Dependiendo de la función de la obra y el nivel de riesgo aceptable, se elige un periodo de diseño:

- 2 a 10 años para drenaje superficial, captadores pluviales, calles, obras menores.
- 20 a 50 años para colectores principales, redes secundarias, diseño urbano.
- 100 años o más para presas, bordos de protección, obras críticas, escenarios de riesgo extremo.

Escenarios por periodo de retorno

En el presente informe se recurre al análisis de los periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años, los cuales representan un amplio espectro de escenarios de diseño:

- 2 y 5 años permiten conocer la recurrencia de lluvias que pueden causar afectaciones urbanas menores cuando no hay capacidad de drenaje suficiente.
- 10 y 20 años representan valores medios de diseño para redes pluviales convencionales.
- 50 y 100 años se usan como referencia para modelar eventos extraordinarios o para obras con requerimientos de mayor seguridad estructural.

La anterior descripción se realizó con base en la recomendación para la selección del periodo de retorno, en función del tipo de uso de suelo y el tipo de infraestructura desarrollada (CONAGUA), tomada de la Norma Hidrológica de 1996 de la Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos de la Comisión Nacional del Agua.

Tabla 2

Periodos de retorno para diseño de redes de drenaje pluvial en zonas urbanas
Fuente: Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Datos Básicos para Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado, CONAGUA

<i>Periodos de retorno para diseño de redes de drenaje pluvial en zonas urbanas</i>	
ZONAS URBANAS	Tr (AÑOS)
Poblados pequeños con menos de 100 000 habitantes	2 - 5
Poblados medianos entre 100 000 y 1 000 000 habitantes	5 - 10
Poblados grandes con más de 1 000 000 de habitantes	10 - 25

Tabla 3

Periodos de retorno para diseño de redes de drenaje pluvial por tipo de actividad económica
Fuente: Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Datos Básicos para Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado, CONAGUA

<i>Periodos de retorno para diseño de redes de drenaje pluvial por tipo de actividad económica</i>		
<i>(Adaptado de Department of Energy and Water Supply, 2013)</i>		
TIPO	DESCRIPCIÓN	Tr (AÑOS)
Centro de negocios	Zonas donde el uso principal es para las actividades de venta al por menor o de negocios y donde los edificios son comúnmente construidos hasta los límites de la propiedad, los toldos sobresalen sobre la banqueta y el paisaje es mínimo o inexistente. Estas áreas de negocios a menudo se encuentran en las partes más antiguas de la ciudad o pueblo.	10
Áreas comerciales	Zonas donde los usos primarios incluyen las ventas al por menor, actividades comerciales, hoteles etc. Pueden incluir centros para exposiciones, restaurantes, clubes deportivos	10
Zonas industriales	Las áreas donde las actividades principales llevadas a cabo son la producción, el procesamiento de productos, instalaciones de almacenamiento, etcétera	2
Zonas urbanas con alta densidad	Áreas urbanas que tienen más de 20 viviendas por cada 10 000 m ² (hectárea), como edificios de departamentos, unidades habitacionales y zonas suburbanas altamente pobladas	10
Zonas urbanas de mediana densidad	Las áreas residenciales que tienen más de 5 y hasta 20 unidades de vivienda por cada 10 000 m ² (hectárea)	2
Zonas rurales	Áreas residenciales rurales que tienen entre 2 y 5 unidades de vivienda por cada 10 000 m ² (hectárea)	2
Espacios abiertos	Las áreas abiertas utilizadas principalmente para la recreación, como parques, campos de golf, etcétera	1

Tabla 4

Periodos de retorno para diseño de redes de drenaje pluvial por tipo de infraestructura
Fuente: Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Datos Básicos para Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado, CONAGUA

<i>Periodos de retorno para diseño de redes de drenaje pluvial por tipo de infraestructura</i>	
DRENAJE PLUVIAL ESTRUCTURA	Tr (AÑOS)
Aeropuertos y estaciones de ferrocarril y de autobuses	10
Cunetas y contracunetas en caminos y carreteras	5
Alcantarillas para paso de cauces pequeños en caminos locales que comunican poblados pequeños	10 a 25
Alcantarillas para paso de cauces pequeños en caminos regionales que comunican poblados medianos	25 a 50
Alcantarillas para paso de cauces pequeños en caminos primarios que comunican poblados grandes	50 a 100
Poblados pequeños con menos de 100 000 habitantes	2 a 5
Poblados medianos entre 100 000 y 1 000 000 de habitantes	5 a 10
Poblados grandes con más de 1 000 000 de habitantes	10 a 25

Tabla 5

Periodos de retorno para protección de infraestructura comunitaria esencial
Fuente: Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Datos Básicos para Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado, CONAGUA

<i>Periodos de retorno para protección de infraestructura comunitaria esencial</i>	
TIPO DE INFRAESTRUCTURA	Tr (AÑOS)
Hospitales, servicios de emergencia, centros de mando, Protección Civil	500
Albergues, policía, museos, bibliotecas, instalaciones de almacenamiento para los registros de valor históricos o culturales, casas hogar, infraestructura de servicios públicos los servicios críticos	200
Vías de acceso	50

4. METODOLOGÍA

MÁXIMOS DIARIOS ANUALES

Una vez identificadas las estaciones climatológicas con las que se realizará el análisis de las lluvias máximas anuales, se recopilan los datos correspondientes al periodo de interés. Posteriormente, se realiza un proceso de validación y depuración de la información, a fin de detectar y corregir posibles errores o inconsistencias en los registros, para posteriormente poder determinar los valores máximos anuales de lluvia acumulada en 24 horas.

Por ejemplo, la estación climatológica 9029 de nombre “GRAN CANAL KM. 06+250”, ubicada en la alcaldía Gustavo A. Madero, cuenta con la serie completa de registros diarios desde 1961 hasta 2023 (periodo de análisis). Los máximos anuales de lluvia acumulada en 24 horas para esta estación se exponen a continuación:

Año	Lluvia [mm/24 hrs]	Año	Lluvia [mm/24 hrs]	Año	Lluvia [mm/24 hrs]	Año	Lluvia [mm/24 hrs]
1961	29.5	1977	42.9	1993	36.6	2009	56.4
1962	40	1978	30	1994	37.9	2010	84.5
1963	59.2	1979	42	1995	47.6	2011	62
1964	38.9	1980	44	1996	37.3	2012	55.8
1965	45	1981	36.6	1997	43.9	2013	57.8
1966	24.5	1982	78	1998	29.8	2014	47.1
1967	42	1983	38	1999	51	2015	56
1968	56	1984	37.3	2000	36.4	2016	45.2
1969	40.2	1985	42.5	2001	29.4	2017	51.3
1970	35	1986	36.5	2002	63.5	2018	56
1971	41.6	1987	63	2003	43	2019	40
1972	36.5	1988	35.8	2004	40.5	2020	29.4
1973	43	1989	34.8	2005	50.8	2021	47.9
1974	34	1990	33.3	2006	52.4	2022	55.7
1975	40	1991	45	2007	64.5	2023	47.7
1976	36	1992	42	2008	45.6		

Tabla 6
Valores máximos anuales de lluvia acumulada en 24 horas de la estación climatológica 9029 - GRAN CANAL KM. 06+250
Fuente: Elaboración propia con base en los datos de la Red Nacional de la CONAGUA.

ESTIMACIÓN DE DATOS FALTANTES

Las series de datos de lluvia se delimitaron al periodo comprendido entre los años 1961 y 2023. No obstante, debido a que no todas las estaciones climatológicas cuentan con registros completos de datos diarios a lo largo de dicho intervalo, fue necesario complementar las series faltantes mediante la generación de datos sintéticos. Para ello, se aplicó el método de la razón q , la cual es una técnica estadística utilizada comúnmente en hidrología, la cual es la relación entre una estación principal y una o varias estaciones auxiliares cercanas. Este método se fundamenta en la suposición de que existe una proporción constante entre los registros de las estaciones, permitiendo proyectar los valores ausentes mediante el promedio de las razones entre los valores observados en periodos comunes. De esta manera, se asegura una mayor coherencia en las series temporales y se reduce el sesgo asociado a la ausencia de los datos (K. Linsley, A. Kohler, & H. Paulhus, 1958)

La razón q se calcula mediante la siguiente fórmula (Cavero, 2013):

$$q = \sum b_i / \sum a_i$$

Donde a es la estación con los datos completos y b es la estación con los datos incompletos.

Por tanto, el valor faltante b_j se obtiene como

$$b_j = q * a_j$$

AJUSTE DE DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD

El ajuste de distribuciones de probabilidad es fundamental en el análisis estadístico, ya que permite representar de manera matemática el comportamiento de los datos observados mediante la identificación de la distribución de probabilidad que mejor se adecúa a ellos. Este proceso facilita no solo la comprensión de los patrones subyacentes en los datos, sino también la realización de inferencias, la estimación de parámetros y la simulación de escenarios futuros.

Para generar este análisis se recurrió al programa AX, desarrollado por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), por el Dr. Martín Jiménez Espinosa para llevar a cabo el análisis de frecuencia estadística de eventos hidrome-

teorológicos extremos. Este programa tiene la capacidad de evaluar múltiples distribuciones y calcular sus parámetros mediante métodos de estimación eficientes (como el de máxima verosimilitud).

Las funciones con las que trabaja el programa son: Normal, Log-Normal, Gumbel, Exponencial, Gamma y Doble Gumbel. A continuación se describen estas funciones de probabilidad típicas en hidrología:

Distribución Normal

$$F(x) = \frac{1}{\beta\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)^2\right] dx$$

El rango va de $-\infty \leq x \leq \infty$

α y β son los parámetros de esta distribución, los cuales corresponden a la media (μ) y a la desviación estándar (σ), respectivamente. Estos parámetros pueden sustituirse por los estadísticos muestrales correspondientes: $\mu = \bar{x}$ y $\sigma = s_x$.

Y los estimadores de los parámetros en términos de los momentos de la muestra son: $\alpha = \bar{x}$ y $\beta = s_x$

Distribución Log-Normal

$$F(x) = \frac{1}{\beta \times \sqrt{2\pi}} \int_0^x \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \alpha}{\beta}\right)^2\right] dx$$

El rango va de $x > 0$

α y β son los parámetros de esta distribución, los cuales corresponden a la media (μ) y a la desviación estándar (σ), respectivamente. Estos parámetros pueden sustituirse por los estadísticos muestrales correspondientes: $\mu = \bar{x}$ y $\sigma = s_x$.

Y los estimadores de los parámetros en términos de los momentos de la muestra son: $\alpha = \bar{y}$ y $\beta = s_y$, para $y = \ln x$.

Distribución de Valores Extremo Tipo I (Gumbel)

Los valores extremos son valores máximos o mínimos seleccionados de conjuntos de datos.

$$F(x) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x-\alpha}{\beta}\right)\right]$$

Donde el rango va de $-\infty \leq x \leq \infty$

Y los estimadores de los parámetros en términos de los momentos de la muestra

son: $\beta = \frac{\sqrt{6}}{\pi} s_x$ y $\alpha = \bar{x} - 0.5772\beta$

α y β son los parámetros de esta distribución, α es un parámetro de ubicación, β es un parámetro de escala.

Distribución Exponencial

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\frac{x - \alpha}{\beta}\right]$$

El rango va de $x \geq \alpha$

α y β son los parámetros de esta distribución, los cuales corresponden a la media (μ) y a la desviación estándar (σ), respectivamente. Estos parámetros pueden sustituirse por los estadísticos muestrales correspondientes: $\mu = \bar{x}$ y $\sigma = s$.

$\frac{1}{\beta}$ es la tasa media de ocurrencia de los eventos.

Los estimadores de los parámetros en términos de los momentos de la muestra

son: $\beta = s_x$ y $\alpha = \bar{x}$

Distribución Gamma

Está descrito por la distribución Gamma, la cual es la distribución de una suma de β variables aleatorias independientes e idénticas, distribuidas exponencialmente.

$$F(x) = \frac{1}{\alpha \Gamma(\beta)} \int_0^x \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left(-\frac{x}{\alpha}\right) dx$$

El rango va de $x \geq 0$

Y los estimadores de los parámetros en términos de los momentos de la muestra

son: $\alpha = \frac{s_x^2}{\bar{x}}$ y $\beta = \frac{\bar{x}}{s_x^2} = \frac{1}{(c_y)^2}$

Distribución Bivariada - Gumbel Doble (BiGumbel Doble)

Sea la función de distribución de probabilidad conjunta entre las variables aleatorias x, y , dada por la extensión bivariada del modelo logístico de Gumbel siguiente:

$$F(x, y) = \exp\left\{[-\ln F(x)]^m + [-\ln F(y)]^m\right\}^{1/m}$$

Donde m es un parámetro de asociación dado por $m = \sqrt{\frac{1}{1-p}}$, $p =$ coeficiente de correlación lineal.

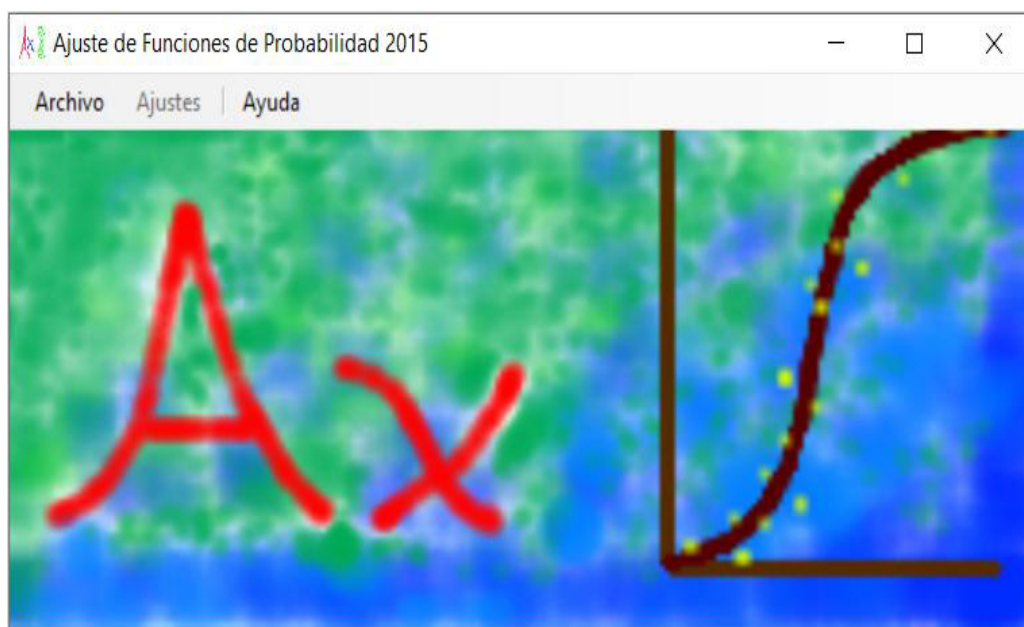


Figura 2
Pantalla principal del programa AX
Fuente: Ajuste de Funciones de Probabilidad 2015. Martín Jiménez Espinosa. CENAPRED

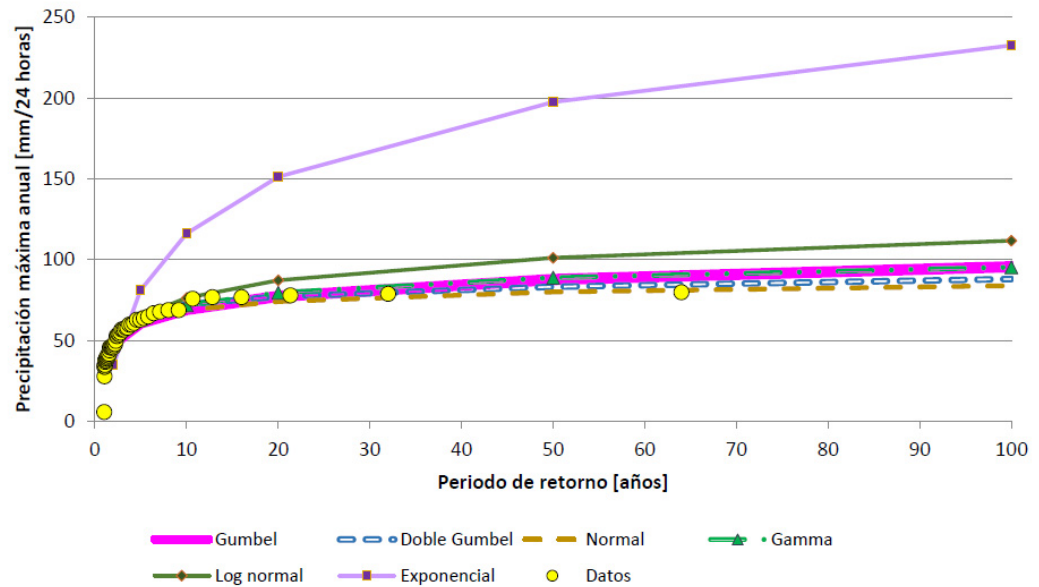
AX realiza de forma automática el análisis de bondad de ajuste utilizando criterios como:

- Kolmogorov-Smirnov
- Chi-cuadrada
- Error cuadrático medio
- Análisis visual gráfico de probabilidad

Para cada estación climatológica seleccionada se emplea como insumo la serie de lluvia máxima anual acumulada en 24 horas, correspondiente al periodo.

A continuación se muestran los ajustes de funciones de probabilidad estadística con base en los datos máximos diarios anuales correspondientes a la estación climatológica 9048 de nombre "TACUBAYA CENTRAL (OBS)":

FUNCIONES DE PROBABILIDAD ESTADÍSTICA



LÁMINAS DE LLUVIA ASOCIADA A CADA PERIODO DE RETORNO

El cálculo de la lámina de lluvia acumulada en 24 horas, se realizó de igual manera con el programa AX, el cual permite estimar valores asociados a distintos periodos de retorno.

Particularmente, para este análisis, se determinó que la distribución de Gumbel presenta el mejor ajuste estadístico en la mayoría de las estaciones analizadas. Esta distribución es ampliamente aceptada en el análisis de eventos extremos (como lluvias intensas) debido a su formulación basada en la teoría de valores extremos (Gumbel, 1958).

Una vez seleccionada esta distribución, el programa AX estima la media ($\bar{X}$), desviación estándar (S), parámetro de forma (α) y ubicación (u), específicos de la función Gumbel.

Con estos parámetros calcula automáticamente las láminas de lluvia para diferentes periodos de retorno mediante la fórmula:

$$P_{Tr} = \bar{X} + K_{Tr} \cdot S$$

donde:

P_{Tr} es la precipitación máxima estimada para el periodo de retorno (Tr) en milímetros;

$\bar{X}$ es la media de la serie;

S la desviación estándar;

K_{Tr} el coeficiente de frecuencia de Gumbel para el periodo Tr , calculado por:

$$K_{Tr} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} [\ln(Tr/(Tr - 1))]$$

Así AX utiliza esta relación internamente para calcular las lluvias máximas para los diferentes periodos de retorno. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Estación	Nombre	X (UTM Zona 14)	Y (UTM Zona 14)	Lluvia máxima anual acumulada en 24 horas [mm]					
				Tr2 años	Tr5 años	Tr10 años	Tr20 años	Tr50 años	Tr100 años
9004	CALVARIO 61	484319.00	2123302.00	50.6	63.2	71.5	79.5	89.8	97.6
9010	COLONIA AMERICA	478827.42	2146483.07	48.2	64.2	74.8	84.9	98.0	107.8
9014	COLONIA SANTA URSULA COAPA	484445.61	2134397.81	47.0	60.2	68.9	77.3	88.1	96.3
9020	DESVIACION ALTA AL PEDREGAL	480855.38	2133694.29	41.3	60.0	72.3	84.2	99.5	111.0
9022	EL GUARDA	481800.58	2115712.55	49.1	67.5	79.7	91.4	106.5	117.9
9029	GRAN CANAL KM. 06+250	490409.05	2153573.48	42.9	53.1	59.9	66.4	74.8	81.1
9032	MILPA ALTA	497692.99	2121912.37	40.9	55.0	64.3	73.2	84.8	93.5
9036	PLAYA CALETA 454 COLONIA MARTE	489733.44	2144567.91	40.2	53.6	62.5	71.0	82.1	90.3
9041	SAN FRANCISCO TLALNEPANTLA	486479.67	2122593.41	51.1	66.7	77.0	86.9	99.7	109.3
9043	SAN JUAN DE ARAGON	491691.15	2152312.63	39.5	49.7	56.4	62.9	71.2	77.5
9045	SANTA ANA TLACOTENCO	499707.95	2120621.31	40.3	51.9	59.7	67.1	76.7	83.9
9048	TACUBAYA CENTRAL (OBS)	479409.57	2145498.82	48.1	60.9	69.3	77.4	87.8	95.7
9051	TLAHUAC	499620.53	2129903.65	35.7	45.3	51.7	57.7	65.6	71.5
9068	PUENTE LA LLAVE	494459.54	2148315.75	25.4	39.2	48.4	57.3	68.7	77.2
9071	COLONIA EDUCACION	486111.61	2137777.50	38.3	52.9	62.5	71.8	83.8	92.7
15020	CHALCO SAN LUCAS	510946.51	2129415.15	35.7	46.2	53.1	59.7	68.3	74.8
15039	JUCHITEPEC	512126.66	2110451.70	35.9	55.6	68.6	81.0	97.2	109.3
15041	GRAN CANAL KM 27+250	497960.44	2162976.65	38.7	51.5	60.0	68.1	78.6	86.5
15045	LA MARQUESA	461273.24	2133909.82	53.8	68.8	78.8	88.3	100.6	109.9
15047	LAS ARBOLEDAS	477360.98	2163113.76	52.6	69.3	80.4	91.0	104.8	115.1
15050	LOS REYES	500875.19	2140415.56	33.8	45.0	52.4	59.4	68.6	75.5
15059	MOLINO BLANCO	476824.37	2153678.04	47.9	63.5	73.9	83.8	96.7	106.3
15077	PRESA TOTOLICA	470231.53	2150952.08	43.0	57.8	67.7	77.1	89.3	98.5
15094	SAN LUIS AMECA	513579.26	2121886.52	34.1	47.7	56.8	65.4	76.6	85.0
15098	SAN MARTIN OBISPO	479786.67	2169627.25	40.3	55.4	65.4	74.9	87.3	96.6
15173	AHUATENCO	465110.45	2095143.43	50.1	71.5	85.7	99.3	116.8	130.0
17039	SAN JUAN TLACOTENCO	490120.52	2105163.81	76.2	101.3	117.9	133.8	154.5	169.9
17047	HUITZILAC	471153.97	2107304.46	74.9	98.4	114.0	128.9	148.2	162.7
17051	TOTOLAPAN E-10	508449.89	2099384.81	60.4	83.9	99.4	114.3	133.6	148.1

Tabla 7

Valores de lluvia máxima anual acumulada en 24 horas para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años
Fuente: Elaboración propia con base en el programa AX

INTERPOLACIÓN ESPACIAL

Las incertidumbres asociadas a la variación espacial de la lluvia constituyen una de las principales fuentes de error en los análisis. Interpolarse nunca es tan preciso como medir el dato directamente, ya que el proceso de interpolación depende de suposiciones sobre cómo se distribuye la información entre los puntos muestreados.

Cuando interpolamos, estamos asumiendo que los datos en puntos no observados pueden estimarse razonablemente basándonos en los datos cercanos, utilizando una función matemática que busca estimar los valores en esos lugares intermedios. Sin embargo, esta aproximación puede no reflejar con exactitud la realidad debido a varios factores. Uno de los principales problemas es la heterogeneidad espacial de las precipitaciones. Las lluvias no se distribuyen de manera uniforme y pueden estar influenciadas por una gran cantidad de variables, como la topografía, la proximidad al mar, la vegetación, o las condiciones meteorológicas locales, que no siempre pueden capturarse adecuadamente con los métodos de interpolación.

Para obtener la distribución espacial de la lluvia se acostumbra interpolarse valores medidos en las estaciones situadas en el área de influencia del estudio, con procedimientos comunes, entre los cuales se encuentran:

- Polígonos de Voronoi (Thiessen)
- Interpolación lineal
- Método de Cressman
- Método de Barnes
- Método de Kriging
- Método de las distancias inversas ponderadas (IDW)

La interpolación de distancia inversa ponderada (IDW) supone explícitamente que los elementos cercanos entre sí son más parecidos que los que están más alejados. Para predecir un valor para cualquier ubicación sin medición, IDW usa los valores medidos que rodean a la ubicación de predicción. Los valores medidos más cercanos a la ubicación de predicción tienen más influencia en el valor predicho que los que están más alejados. En otras palabras IDW otorga ponderaciones más altas a los puntos más cercanos a la ubicación de predicción y las ponderaciones disminuyen como una función de distancia, de ahí el nombre de distancia inversa ponderada. (ArcGIS Pro)

A continuación se presentan los mapas de las capas ráster derivados de la interpolación de la lluvia máxima anual acumulada en 24 horas, para diferentes periodos de retorno, empleando el método IDW, generadas con QGIS:

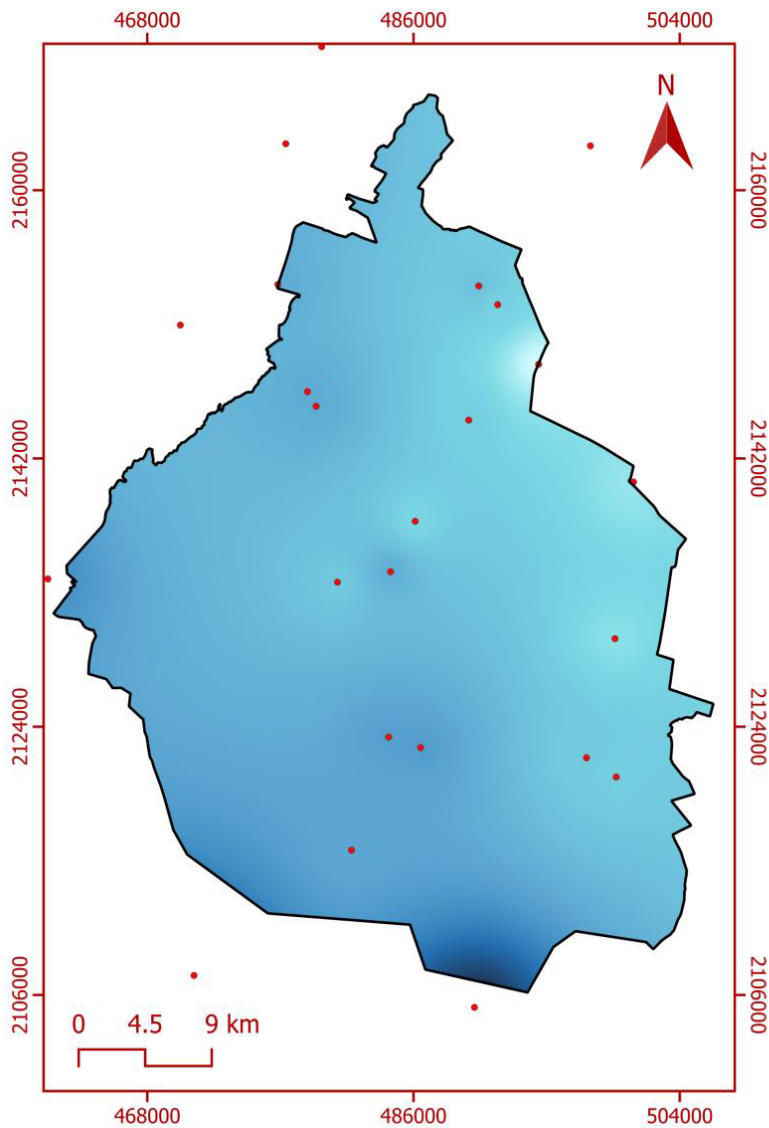
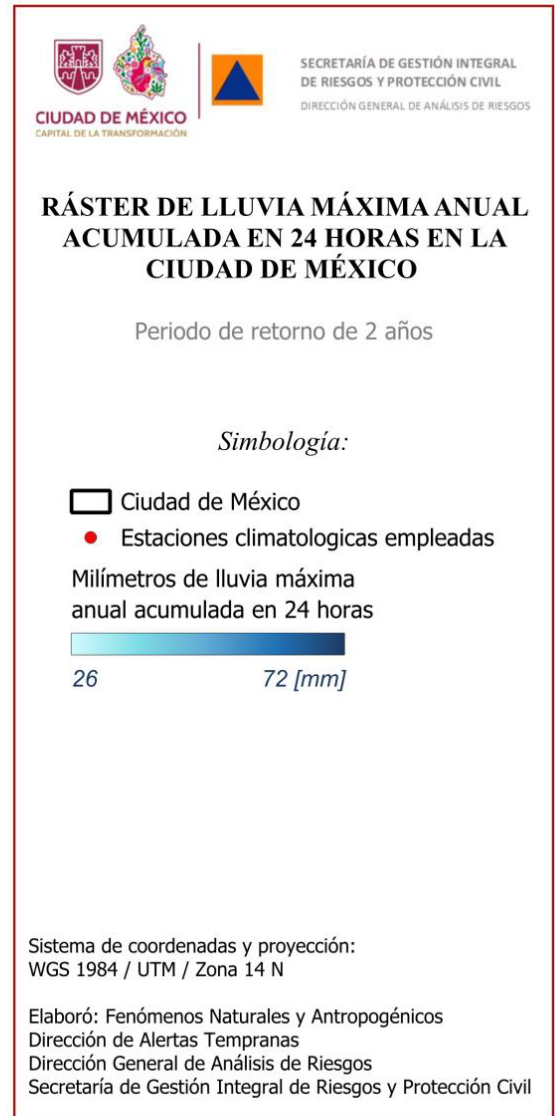


Figura 4
Ráster de interpolación
de lluvia máxima anual
acumulada en 24 horas,
correspondiente al Tr de 2
años Fuente: Elaboración
propia

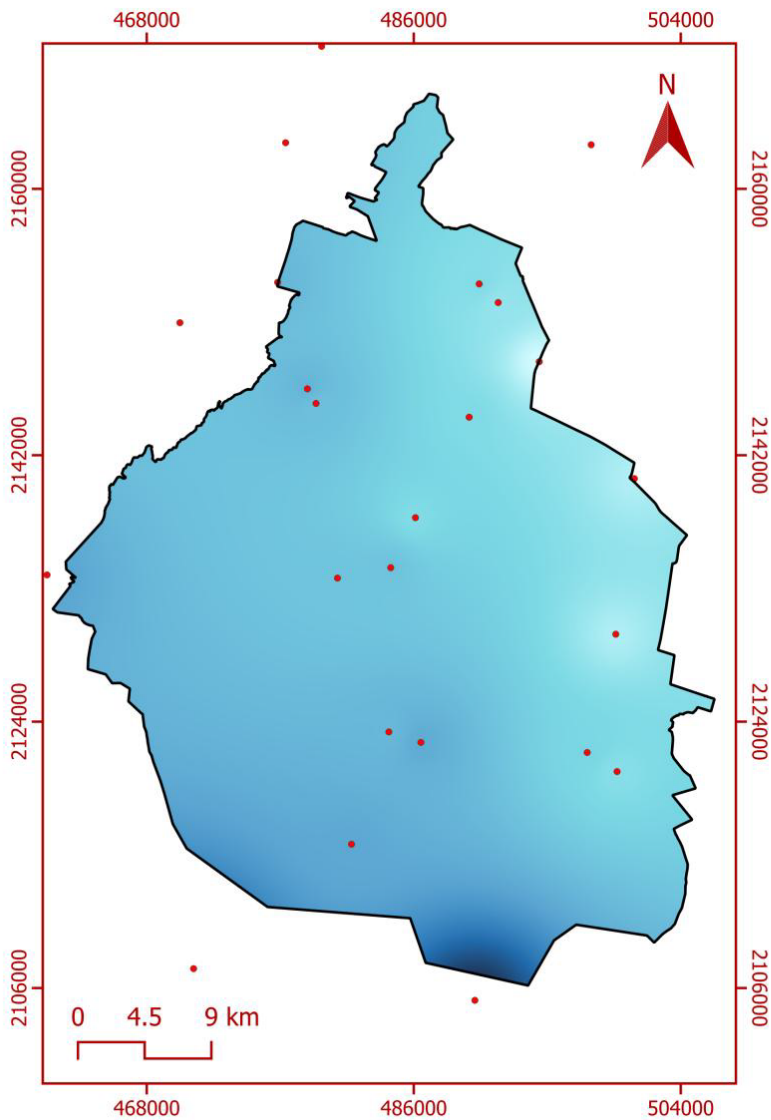
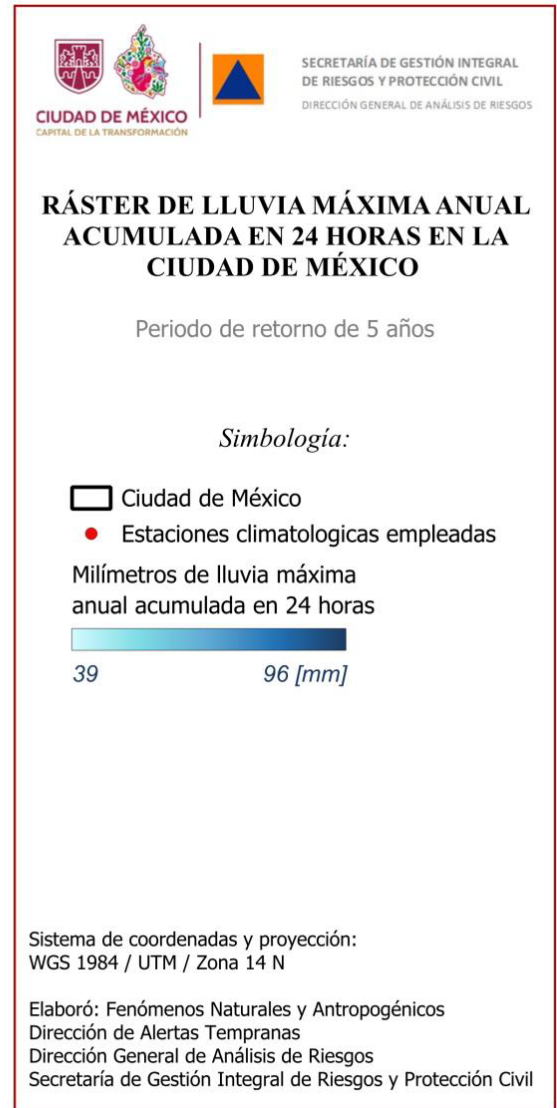


Figura 5
 Ráster de interpolación de lluvia máxima anual acumulada en 24 horas, correspondiente al Tr de 5 años
 Fuente: Elaboración propia

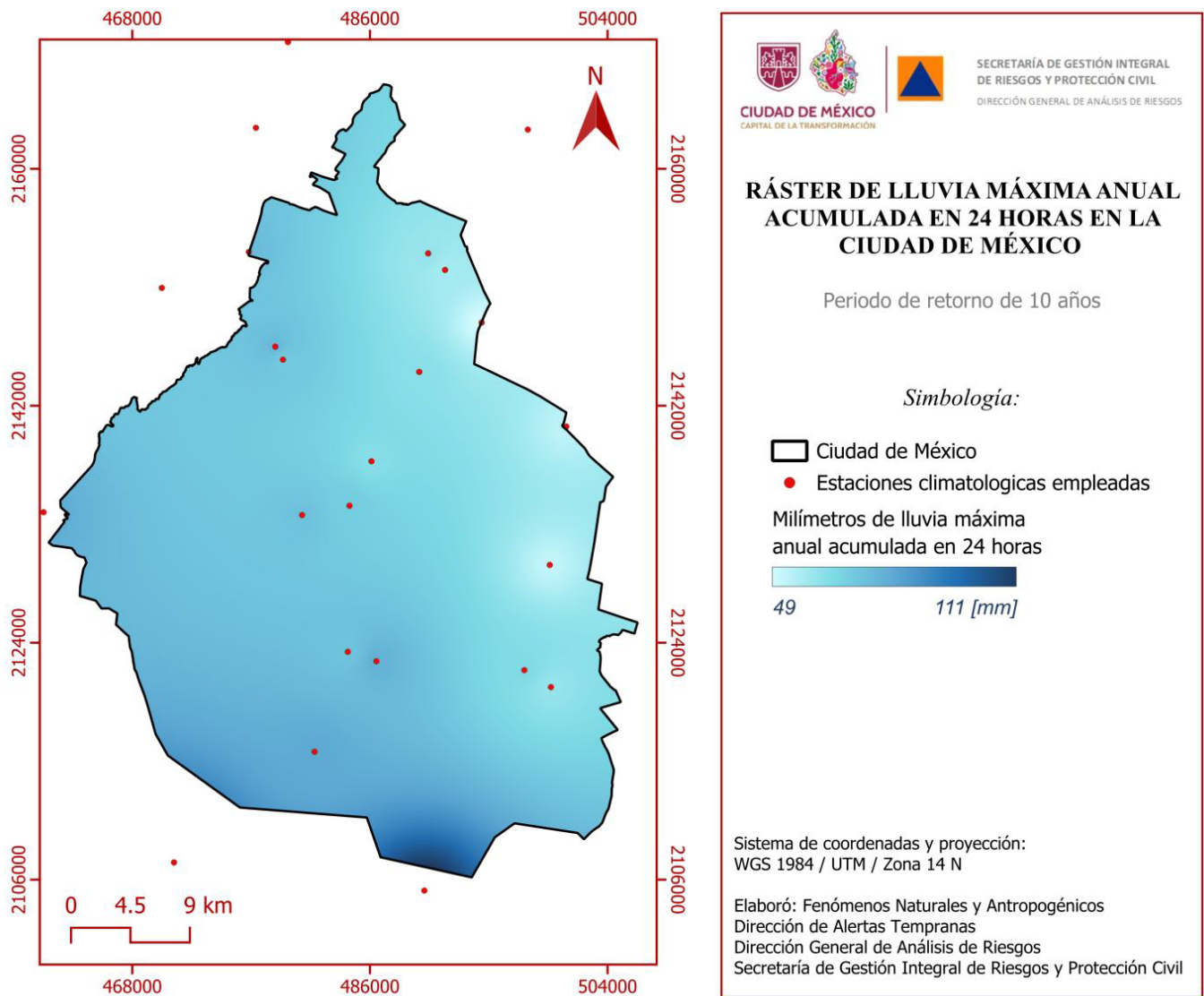


Figura 6
Ráster de interpolación de lluvia máxima anual acumulada en 24 horas, correspondiente al Tr de 10 años
Fuente: Elaboración propia

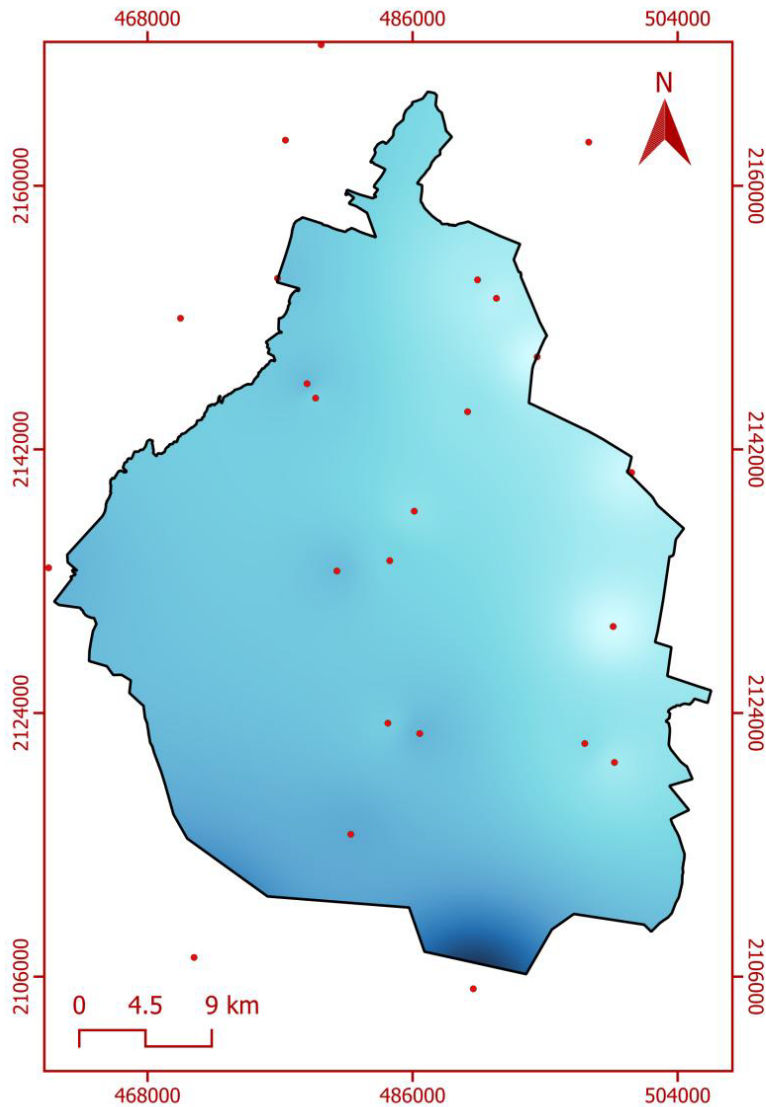
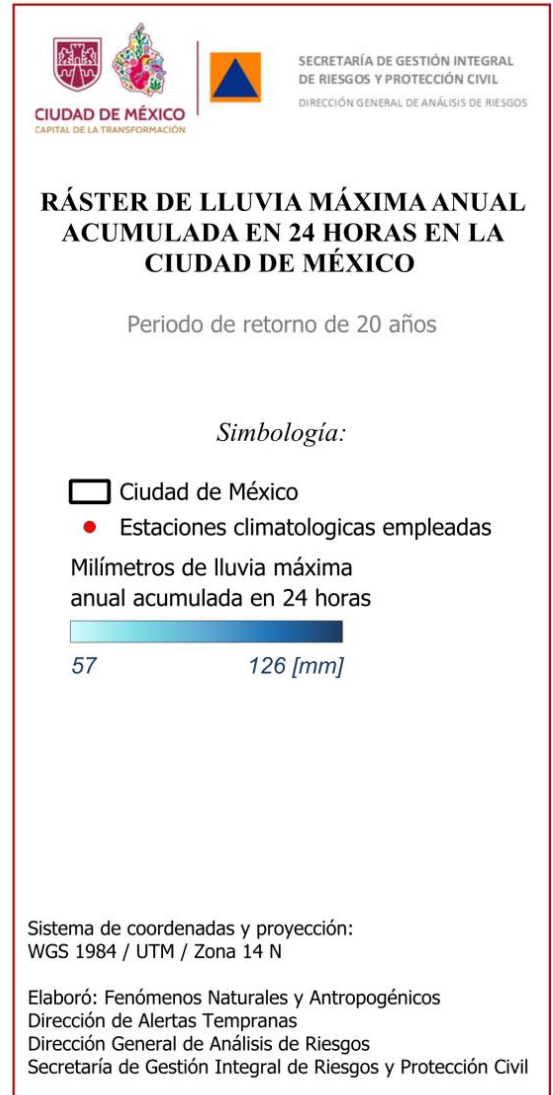


Figura 7
 Ráster de interpolación
 de lluvia máxima anual
 acumulada en 24 horas,
 correspondiente al Tr de 20
 años
 Fuente: Elaboración propia

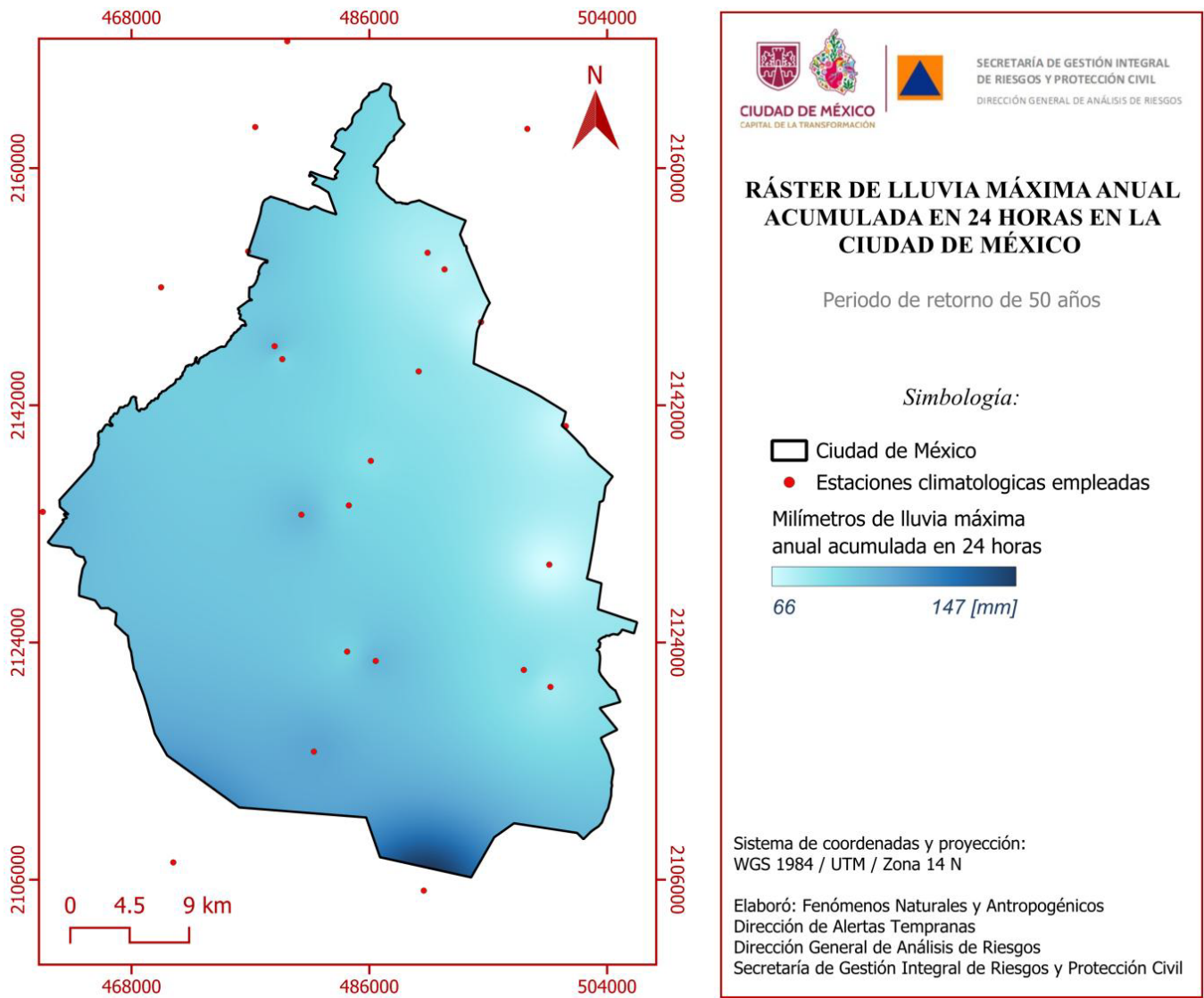


Figura 8
Ráster de interpolación de lluvia máxima anual acumulada en 24 horas, correspondiente al Tr de 50 años
Fuente: Elaboración propia

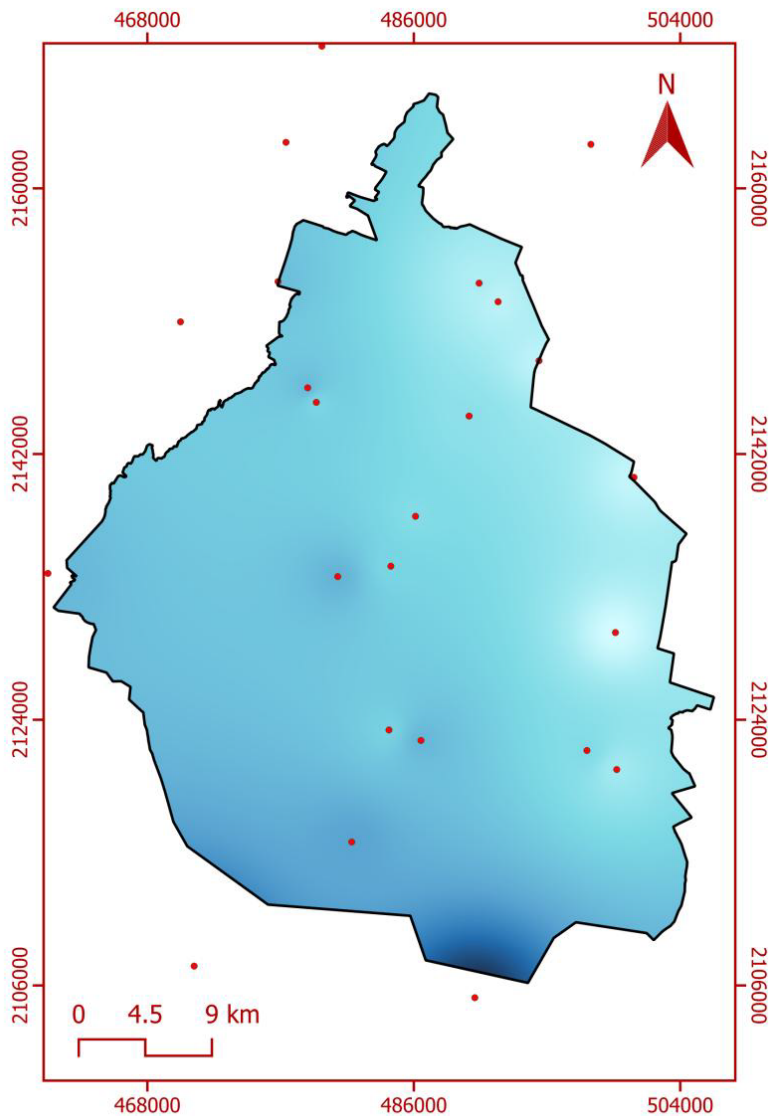
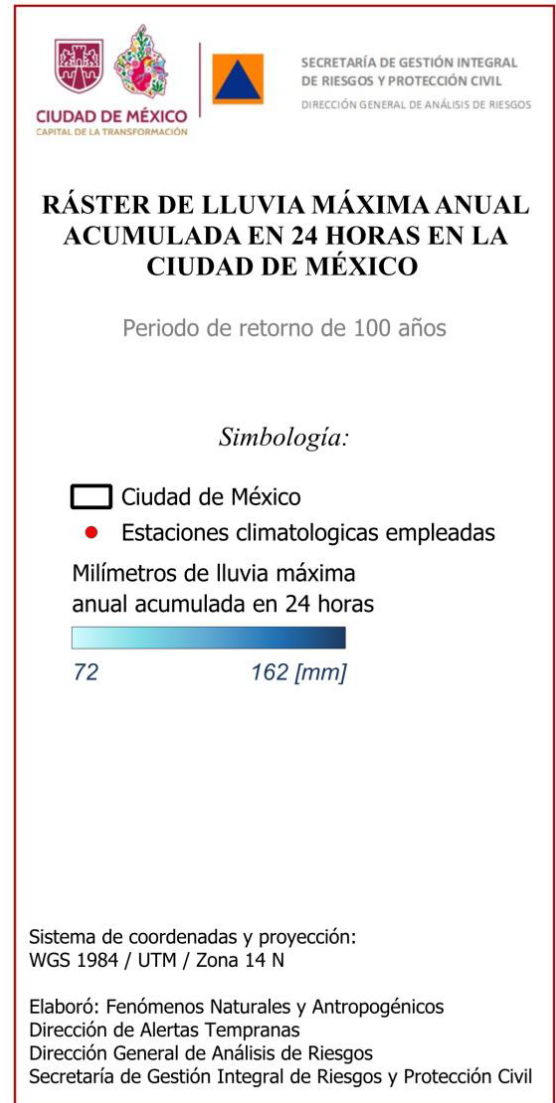


Figura 9

Ráster de interpolación de lluvia máxima anual acumulada en 24 horas, correspondiente al Tr de 100 años

Fuente: Elaboración propia

5. GENERACIÓN DE ISOYETAS

GENERACIÓN DE ISOYETAS EN QGIS

Las isolíneas, curvas de nivel o isoyetas representan líneas de igual valor en una superficie espacialmente continua. En este estudio, las isoyetas reflejan las láminas de lluvia estimadas para distintos periodos de retorno. Estas fueron generadas a través del sistema de información geográfica QGIS.

Una vez creado el ráster de distribución espacial de lluvia máxima anual acumulada en 24 horas, correspondiente a cada periodo de retorno, QGIS se apoya en la biblioteca GDAL (Geospatial Data Abstraction Library), particularmente en la función `gdal_contour`, que realiza un recorrido del ráster y genera polígonos o líneas conectando celdas con valores iguales o próximos a los umbrales definidos.

MAPAS DE ISOYETAS POR PERIODO DE RETORNO

A continuación se presentan los resultados obtenidos en la generación de las isoyetas de lluvia máxima anual acumulada en 24 horas en la Ciudad de México, para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años.

Isoyetas para el Tr de 2 años

El presente mapa muestra la distribución espacial de la lluvia máxima anual acumulada en 24 horas, estimada para un periodo de retorno de 2 años.

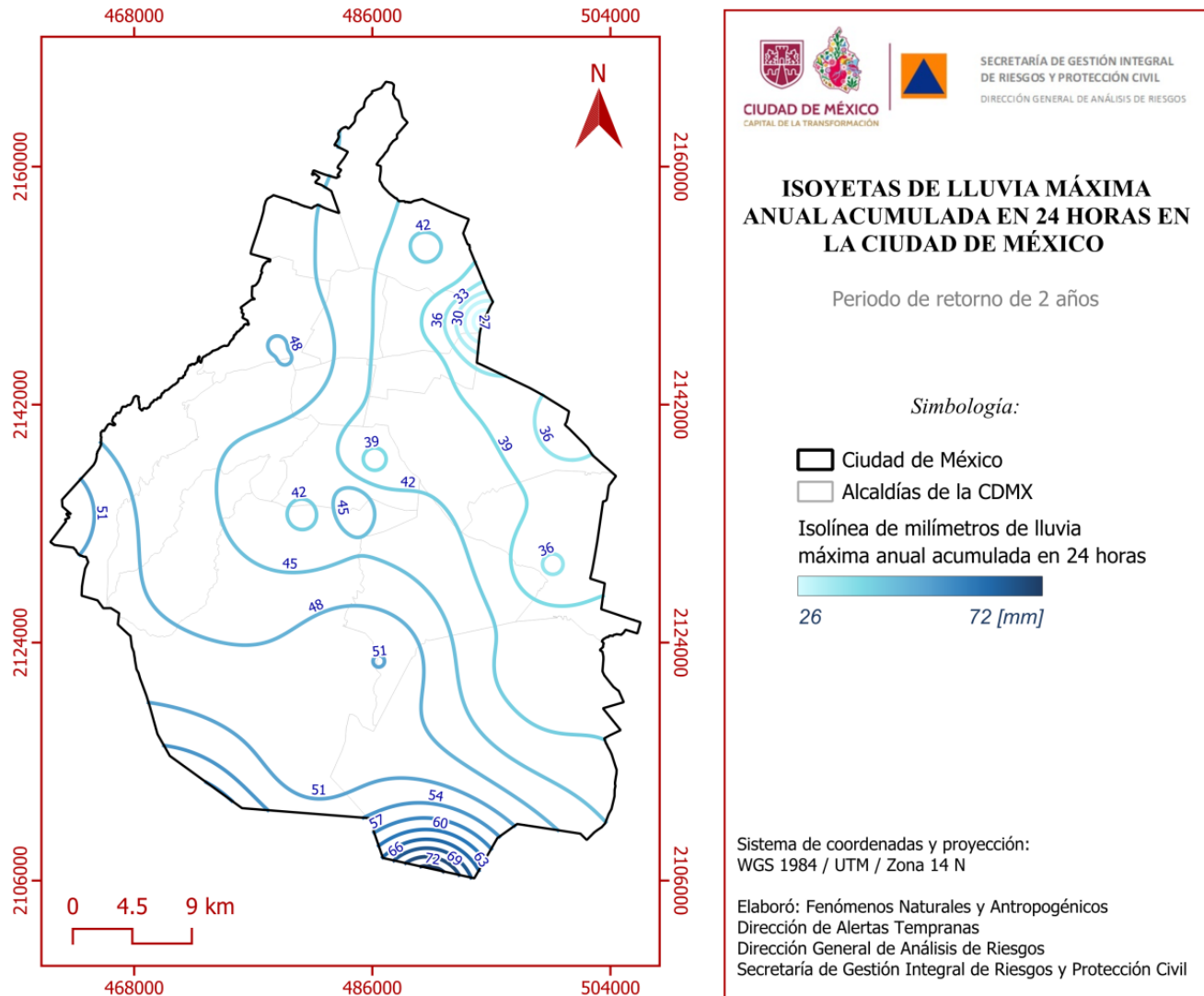


Figura 10

Isoyetas de la lluvia máxima anual acumulada en 24 horas, para el periodo de retorno de 2 años Fuente: Elaboración propia.

Las isoyetas se generaron con una separación de 3 milímetros de diferencia entre cada una de las curvas, permitiendo identificar zonas con mayor recurrencia de eventos pluviales intensos. El resultado muestra la distribución de la lluvia desde los 26 hasta los 72 milímetros. En el mapa se observa una tendencia de mayores láminas de lluvia en el sur de la ciudad, particularmente en la alcaldía Milpa Alta, donde las isoyetas, incluso, alcanzan valores superiores a los 70 mm.

En contraste, la zona oriente de la ciudad muestran valores significativamente más bajos, con láminas estimadas por debajo de los 40 mm.

Isoyetas para el Tr de 5 años

Para el presente mapa de isoyetas, estas abarcan desde los 39 hasta los 96 milímetros. Estas permiten identificar con precisión las áreas que podrían experimentar eventos de lluvia máxima con una recurrencia de cinco años.

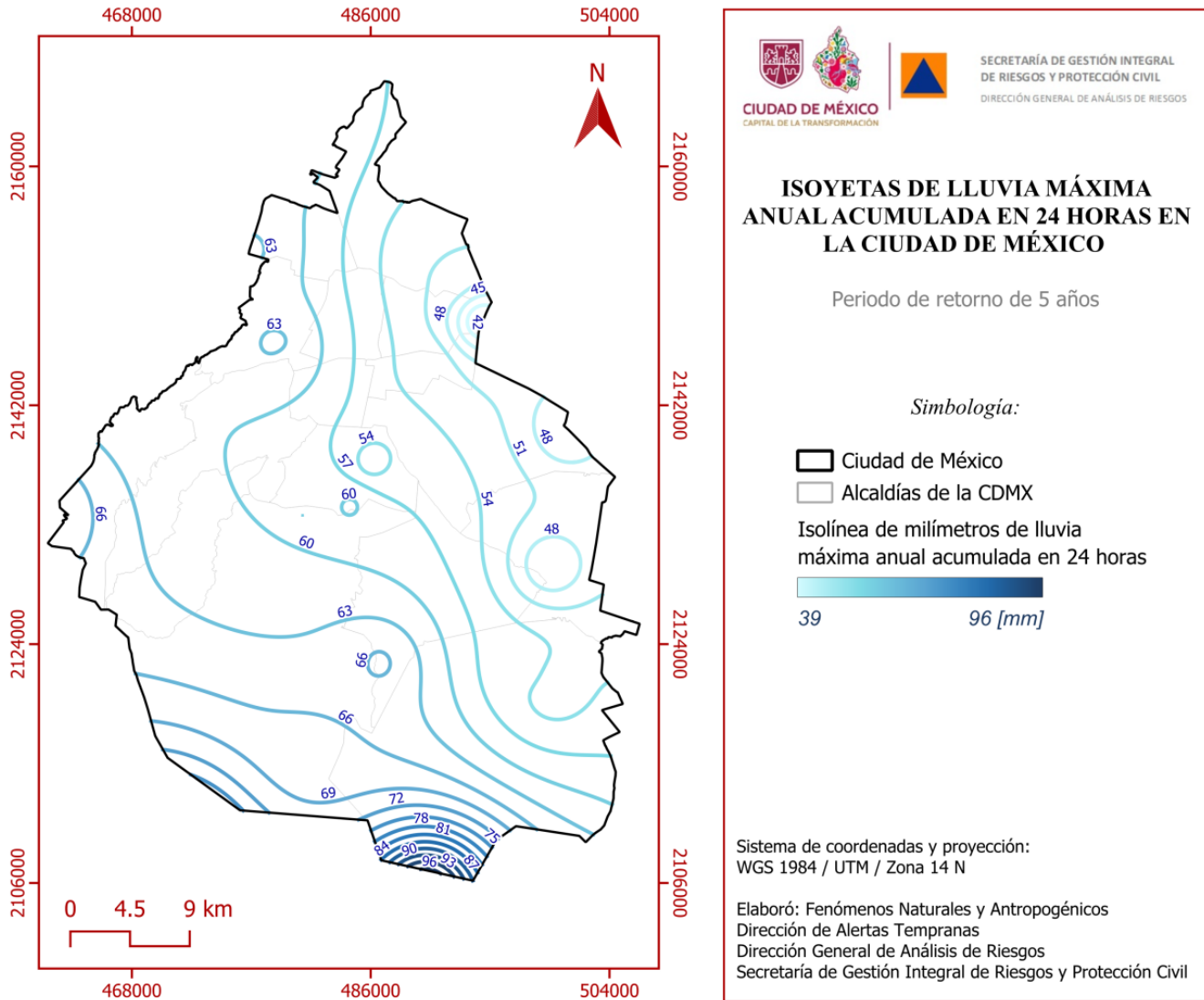


Figura 11
Isoyetas de la lluvia máxima anual acumulada en 24 horas, para el periodo de retorno de 5 años
Fuente: Elaboración propia

Es posible observar que se mantiene la tendencia de mayor precipitación hacia el sur de la ciudad, donde se superan los 90 mm. Las zonas del noreste y oriente, muestran valores entre 42 y 54 mm, lo que sugiere menor intensidad de lluvia para este periodo de retorno, en comparación con el sur.

Ahora bien, en las zonas centro y poniente, se presentan valores comprendidos entre los 54 y 66 mm.

Isoyetas para el Tr de 10 años

Con el fin de facilitar la lectura e interpretación del mapa, los valores de las isoyetas varían entre 49 y 111 milímetros, lo que permite identificar las zonas más susceptibles a eventos de lluvia intensa.

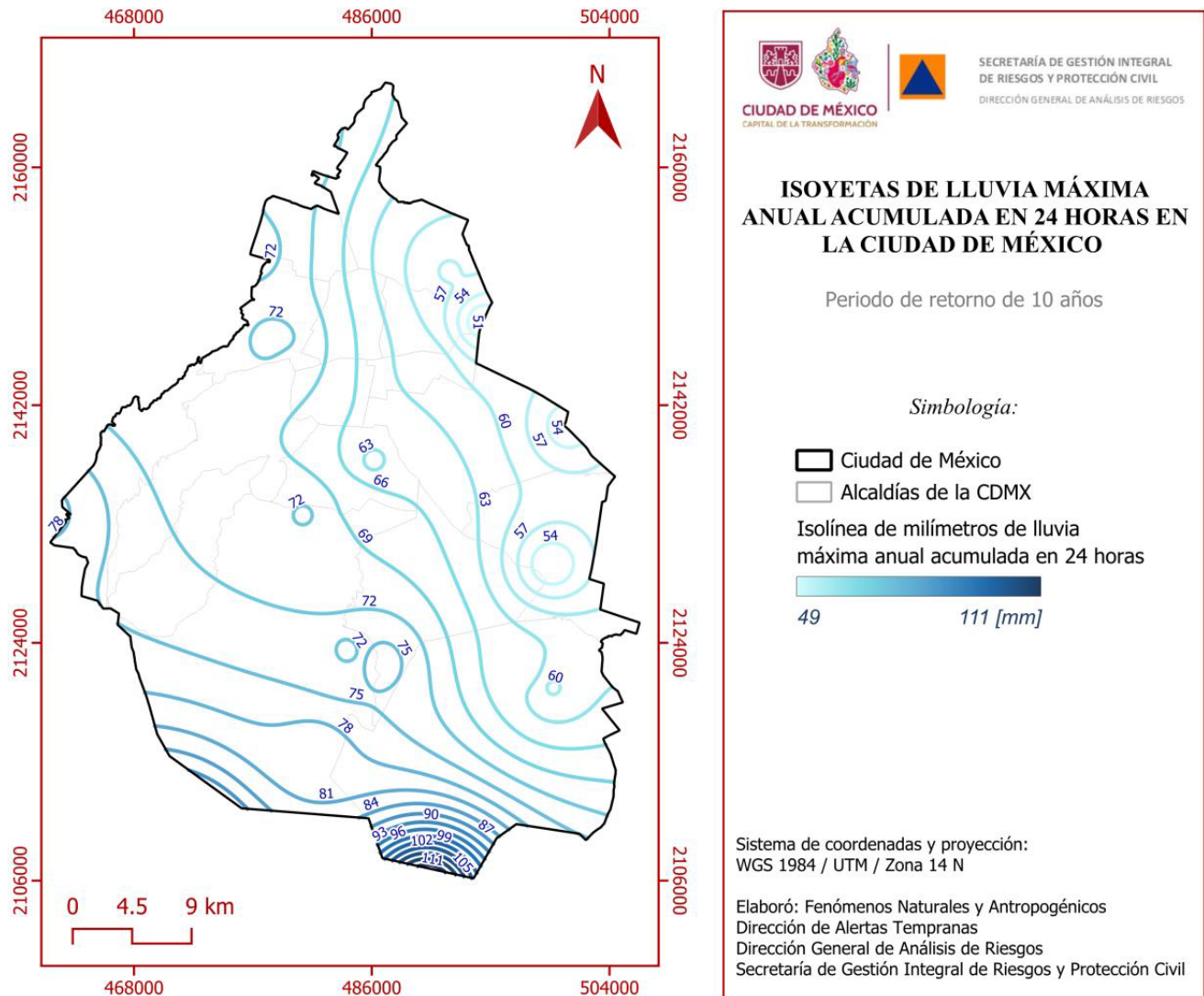


Figura 12

Isoyetas de la lluvia máxima anual acumulada en 24 horas, para el periodo de retorno de 10 años

Fuente: Elaboración propia

La zona sur de la Ciudad de México, vuelve a destacar por registrar los valores más altos, siendo superiores a 100 milímetros.

En contraste, las zonas del noreste y oriente muestran valores entre 51 y 66 milímetros, en partes de Iztapalapa, Venustiano Carranza y Gustavo A. Madero.

La zona centro, como Benito Juárez, Coyoacán y Álvaro Obregón, presentan valores intermedios entre 63 y 69 milímetros.

Isoyetas para el Tr de 20 años

Las isoyetas se presentan con valores que oscilan entre 57 y 126 milímetros.

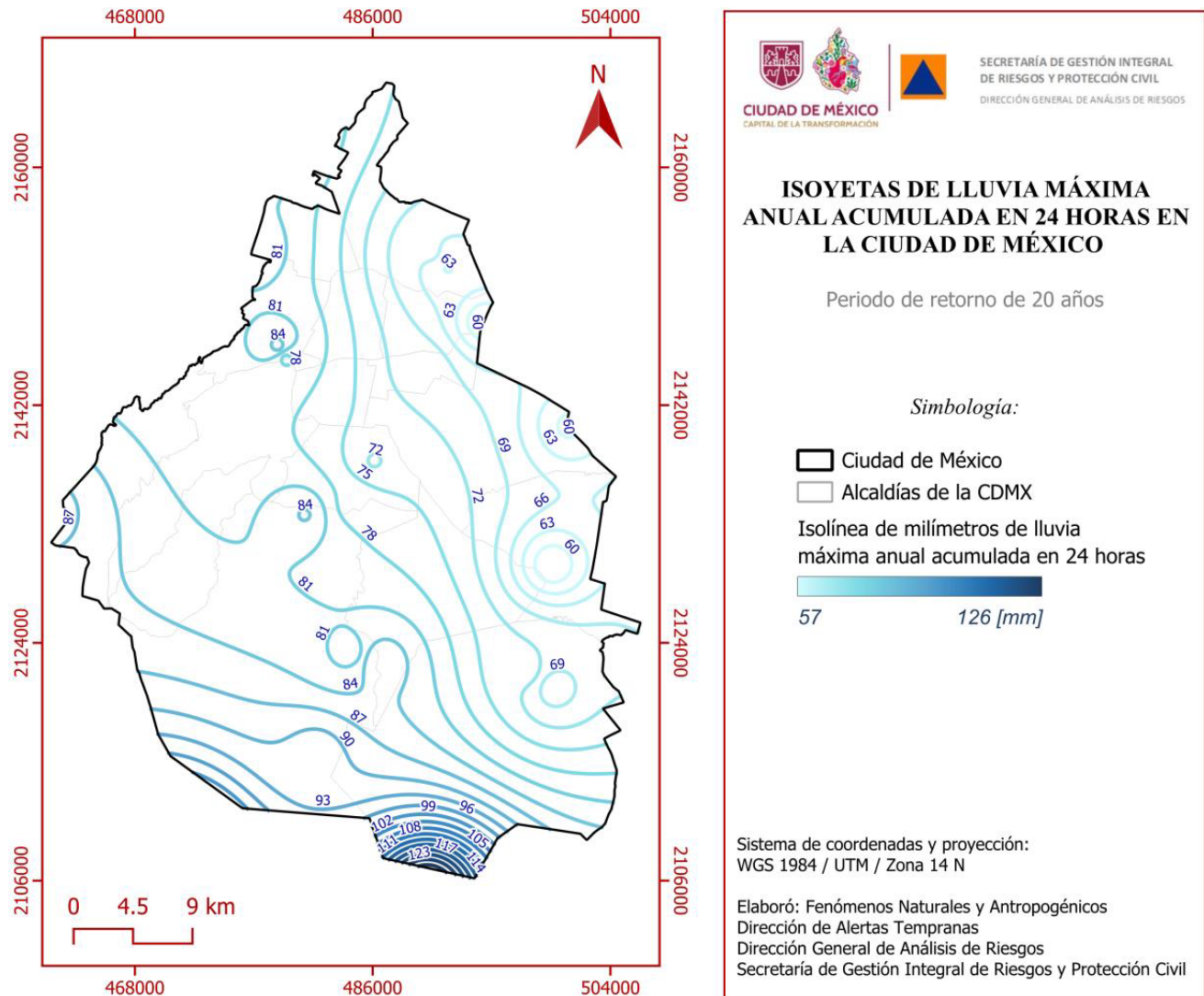


Imagen 13

Isoyetas de la lluvia máxima anual acumulada en 24 horas, para el periodo de retorno de 20 años

Fuente: Elaboración propia

La región sur de la ciudad, principalmente en la alcaldía Milpa Alta, continúa registrando las mayores intensidades de lluvia, alcanzando valores superiores a 120 mm. Las zonas como Gustavo A. Madero y Cuauhtémoc, mantienen los valores (aunque en crecimiento respecto a periodos anteriores), generalmente entre 70 e inferiores a los 80 milímetros.

La importancia de este análisis radica en su utilidad para el diseño de obras hidráulicas con un horizonte de planeación más largo, así como para la planificación territorial orientada a la reducción de riesgos por fenómenos hidrometeorológicos extremos. Igualmente, los resultados permiten anticipar impactos en infraestructura, servicios urbanos y asentamientos humanos.

Isoyetas para el Tr de 50 años

Por igual, con una separación de 3 milímetros de diferencia entre cada una de las curvas, se puede observar que los valores van desde los 66 hasta los 147 milímetros, lo que refleja el incremento progresivo de la intensidad de lluvia conforme aumenta el periodo de retorno.

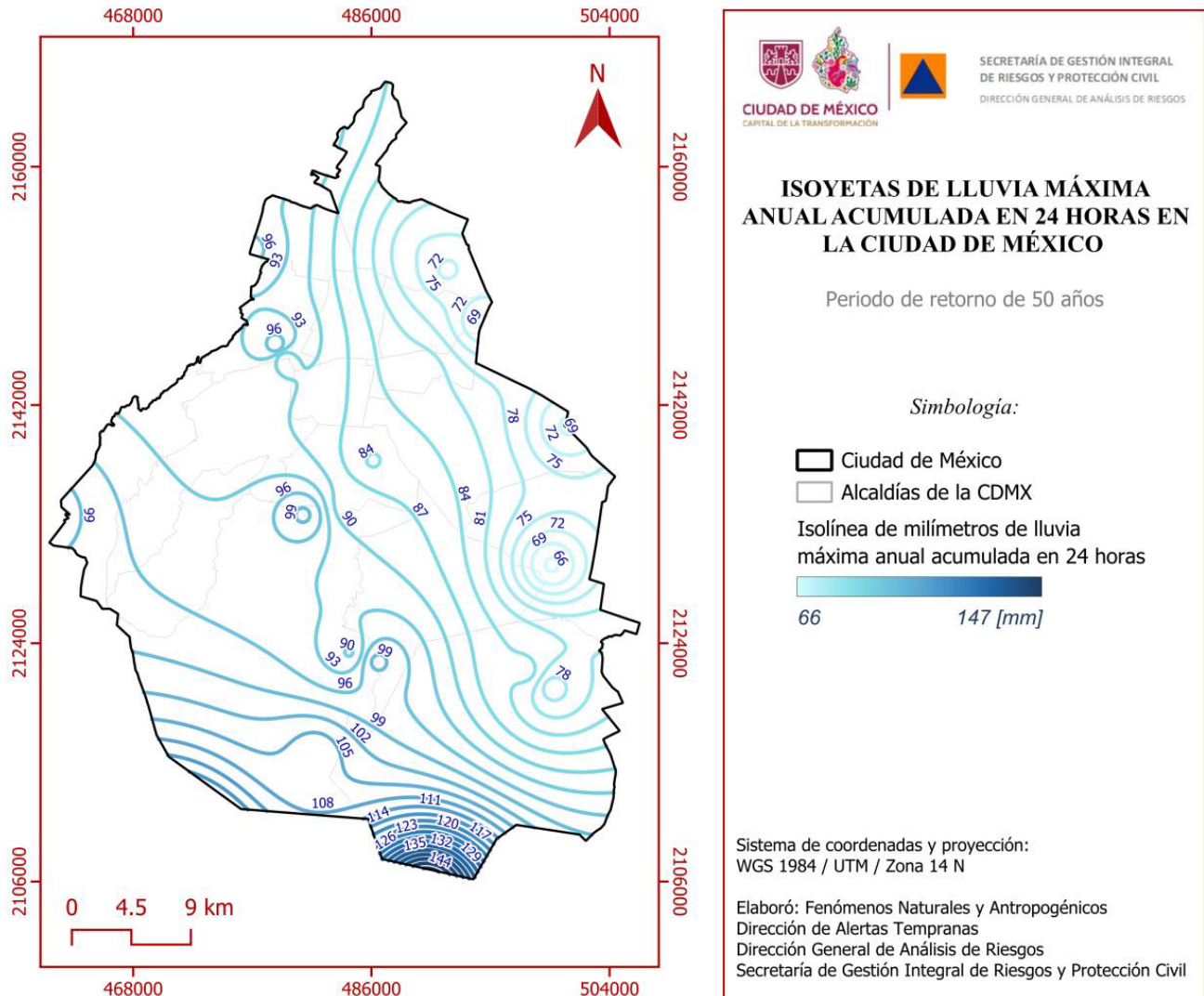


Imagen 14

Isoyetas de la lluvia máxima anual acumulada en 24 horas, para el periodo de retorno de 50 años
Fuente: Elaboración propia

Las zonas sur de la ciudad concentran los valores máximos, superando, incluso, los 140 mm. Esta área, por su topografía y régimen orográfico, presentan alta susceptibilidad a escurrimientos intensos, deslaves y acumulación de agua.

El centro y noreste de la Ciudad de México muestra intensidades menores, aunque notoriamente superiores a los periodos de retorno de 20 y 10 años, con valores en el rango de 70 a 90 mm, entre las alcaldías Venustiano Carranza, Benito Juárez y Cuauhtémoc.

Isoyetas para el Tr de 100 años

La representación de las isoyetas para el periodo de retorno de 100 años se muestra con valores que van desde los 72 hasta los 162 milímetros.

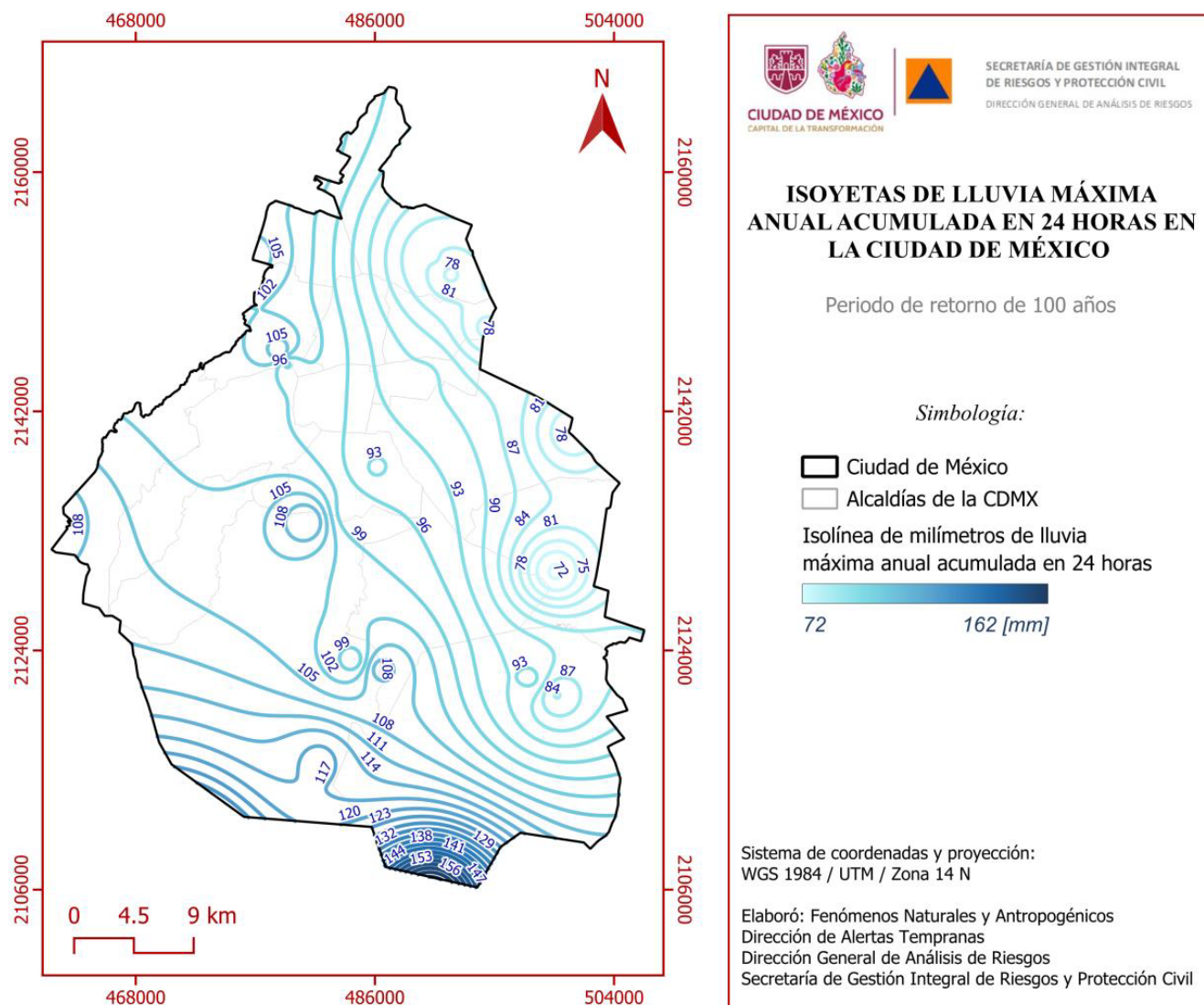


Imagen 15

Isoyetas de la lluvia máxima anual acumulada en 24 horas, para el periodo de retorno de 100 años

Fuente: Elaboración propia

El sur de la ciudad presenta los valores más elevados de lluvia, superando los 100 mm en las alcaldías Tlalpan, Magdalena Contreras, e inclusive, en Milpa Alta, rebasando los 156 mm.

El incremento en los valores de precipitación en este periodo respecto a los anteriores es considerable, evidenciando cómo eventos de baja frecuencia pueden representar riesgos hidrometeorológicos.

Las zonas del centro y noreste, como Iztacalco, Cuauhtémoc y Gustavo A. Madero, muestran intensidades que van entre los 80 y hasta 99 milímetros, valores significativos que podrían representar riesgos urbanos importantes, particularmente en puntos bajos o con drenaje insuficiente.

Este mapa constituye una herramienta clave para la gestión integral del riesgo y la planeación de infraestructura con horizontes de largo plazo.

6. CONCLUSIONES

La generación de mapas de isoyetas para periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años permite visualizar de forma clara la distribución espacial de la lluvia acumulada en un intervalo de 24 horas en la Ciudad de México. Esta información es fundamental para la toma de decisiones en materia de protección civil y gestión del riesgo.

En todos los periodos de retorno analizados, se observó una tendencia consistente de mayores intensidades de lluvia en la zona sur de la ciudad, especialmente en la alcaldía Milpa Alta. Esta área presenta condiciones topográficas y orográficas que favorecen la precipitación, lo que incrementa su vulnerabilidad ante fenómenos hidrometeorológicos.

Los resultados muestran un incremento notable de las intensidades de lluvia conforme aumenta el periodo de retorno, evidenciando el comportamiento creciente de estos eventos. Por ejemplo, zonas con valores cercanos a 40 milímetros para un Tr de 2 años, superan los 100 milímetros para un Tr de 100 años, lo que resalta en la necesidad de prever escenarios de alta severidad para la planeación de obras. Estos cambios pueden explicarse a través de una combinación de factores estructurales y ambientales, entre los cuales destacan la expansión urbana descontrolada y la transformación del entorno natural, incluyendo la pérdida de áreas verdes y la modificación del régimen hídrico local.

La combinación del software AX del CENAPRED, basado en métodos estadísticos sólidos como la distribución de Gumbel, junto con técnicas de interpolación en QGIS (IDW), permitió generar representaciones espaciales detalladas. Estas metodologías fortalecen el análisis técnico y aumentan la precisión en los resultados.

Dado que los patrones de precipitación pueden variar en el tiempo, es necesario actualizar periódicamente estos análisis con nuevas series de datos. Asimismo, es conveniente fomentarse el mantenimiento y ampliación de la red de estaciones climatológicas para mejorar la resolución y precisión de futuros estudios.

En este tipo de procesos, es crucial contar con fuentes de información confiables, como lo es la base de datos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Esta institución, mediante su Red Nacional de Estaciones Climatológicas Convencionales y Automáticas, genera registros sistematizados, validados y ampliamente reconocidos a nivel nacional e internacional. La confiabilidad de esta fuente radica no solo en la cobertura territorial y temporal de sus datos, sino también en los procedimientos de monitoreo, verificación y publicación aplicados a sus series históricas.

Las estaciones climatológicas deben responder a la necesidad de contar con datos climatológicos sólidos, que permitan realizar análisis estadísticos robustos. La extensión temporal de los registros es indispensable para detectar tendencias significativas, eliminar sesgos de corto plazo y construir indicadores climáticos con mayor precisión y estabilidad. En el presente análisis, se utilizaron datos de 29 estaciones que cumplieran con estos criterios, lo cual permitió obtener un panorama representativo y confiable de la evolución de las lluvias extremas en la Ciudad de México.

Cuando las series de datos presentan inconsistencias o vacíos, la generación de datos sintéticos permite completar las series y conservar la continuidad temporal necesaria para el análisis. No obstante, esta práctica debe implementarse con criterios metodológicos rigurosos, ya que en algunos casos, cuando la cantidad de datos faltantes es elevada o se desconoce la representatividad del comportamiento estacional, la interpolación puede inducir errores. Por ello, completar series es recomendable solo cuando el margen de incertidumbre es manejable y se valida con estaciones vecinas o registros correlacionados.

De igual manera, al generar una interpolación de datos en una capa ráster, se deben considerar cuidadosamente los métodos espaciales empleados, ya que estos influirán directamente en la distribución de los valores estimados entre estaciones. Por esta razón, la elección del método de interpolación, la densidad de estaciones disponibles y el análisis del contexto geográfico local son factores determinantes para asegurar la fidelidad de los mapas generados.

Los cambios observados entre periodos no solo documentan una transformación en la exposición al peligro, sino que alertan sobre la creciente necesidad de reforzar las capacidades institucionales, sociales y técnicas para anticipar, mitigar y responder de manera efectiva ante eventos de lluvia extrema.

7. REFERENCIAS

Aparicio Mijares, F. J. (2008). Fundamentos de hidrología de superficie. México: Limusa, Noriega editores.

ArcGIS Pro. (s.f.). ArcGIS Pro. Obtenido de ArcGIS Pro: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/3.3/help/analysis/geostatistical-analyst/how-inverse-distance-weighted-interpolation-works.htm>

Baylina, R. (2003). Pluviógrafo. España.

Bordino, J. (9 de Octubre de 2024). Geoenciclopedia. Recuperado el 18 de Marzo de 2025, de Geoenciclopedia: <https://www.geoenciclopedia.com/pluviometro-que-es-para-que-sirve-como-funciona-y-tipos-1017.html>

Breña Puyol, A. F., & Jacobo Villa, M. A. (2006). Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial. México: Universidad Autónoma Metropolitana.

Burrough, P. A., & McDonnell, R. A. (1998). Principles of Geographical Information System. Oxford University Press.

Campos Aranda, D. (1998). Procesos del Ciclo Hidrológico. México: Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP).

Cavero, M. (30 de Octubre de 2013). Gidahatari. Recuperado el 18 de Marzo de 2025, de Gidahatari: <https://gidahatari.com/ih-es/metodos-estimacion-completar-datos-precipitacion>

CENAPRED. (2006). Guía Básica para la Elaboración de Atlas de Riesgos Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos: Fenómenos Hidrometeorológicos. México.

CENAPRED. (2010). Programa AX para análisis de eventos extremos.

CENAPRED. (2016). Guía de contenido mínimo para la elaboración del Atlas Nacional. México.

Childs, C. (2004). Interpolating surface in ArcGIS Spatial Analyst. ESRI White Paper.

Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). Applied Hydrology. McGraw-Hill.

CICESE. (s.f.). Datos climáticos diarios del CLICOM del SMN. Recuperado el 2025 de Marzo de 11, de Datos climáticos diarios del CLICOM del SMN: <https://cucapa-clicom.cicese.mx/>

CONAGUA . (2015). Manual de diseño hidrológico.

CONAGUA. (s.f.). Información Estadística Climatológica. Recuperado el 2025 de Marzo de 11, de Información Estadística Climatológica: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>

CONAGUA. (s.f.). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento . México: CONAGUA.

DOF. (21 de 12 de 2016). Acuerdo por el que se emite la guía de contenido mínimo para la elaboración del Atlas Nacional de Riesgos. Recuperado el 2025 de Marzo de 13, de Acuerdo por el que se emite la guía de contenido mínimo para la elaboración del Atlas Nacional de Riesgos: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5466288&fecha=21/12/2016#gsc.tab=0

Gumbel, E. J. (1958). Statistics of Extremes. Columbia University Press.

IMTA. (29 de Julio de 2019). Gobierno de México. Recuperado el 18 de Marzo de 2025, de <https://www.gob.mx/imta/articulos/la-importancia-de-la-medicion-del-agua-de-lluvia#:~:text=El%20pluvi%C3%B3metro%20es%20el%20instrumento,Contesta%20nuestra%20encuesta%20de%20satisfacci%C3%B3n>.

Jiménez Espinosa, M. (1997). Manual de Operación de los Programas AX.EXE (para hidrología). México: CENAPRED.

K. Linsley, R., A. Kohler, M., & H. Paulhus, J. L. (1958). Hydrology for Engineers. New York Toronto London: McGRAW-HILL BOOK COMPANY.

Meteorito. (s.f.). Precipitación. Clase 6. México: Meteorito.

QGIS Documentation. (2023). GDAL raster extraction tools. Recuperado el 2025 de junio de 21, de <https://docs.qgis.org>

QGIS Documentation. (2023). QGIS User Guide. Recuperado el 2025 de junio de 21, de QGIS User Guide : <https://docs.qgis.org>

SACMEX. (2015). Retos y Soluciones para el Drenaje de la Capital. México: SACMEX.

SACMEX. (2022). Inteligencia Artificial y Convergencia Tecnológica en el Sector Hídrico. México: SACMEX.

Sandoval, E. (2008). Técnicas estadísticas en hidrología. México: FI UNAM.

SEDATU. (2014). Bases para la Estandarización en la Elaboración de Atlas de Riesgos. México.

SEDATU. (2014). Bases para la Estandarización en la Elaboración de Atlas de Riesgos y Catálogo de Datos Geográficos para Representar el Riesgo 2014. México: Secretaría de Desarrollo Agrario Territorial y Urbano.



INFORMES TÉCNICOS 2025



**GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO**
CAPITAL DE LA TRANSFORMACIÓN



SGIRPC

