Revista **Perspectiva Geográfica**
ISSN 0123-3769 eISSN 2500-8684

VOL. 30 [N.º 1] ▶ **enero - junio de 2025** ▶ **PP. 1-16**

Giovani González Camacho [1] Juan Roberto Calderón Maya [2] Francisco Zepeda Mondragón [3] Cristina Estrada Velázquez [4]

ARTÍCULO ORIGINAL

Variabilidad de la intensidad de lluvias entre 1930 y 2010 en la región centro del Estado de México

Recepción: 23 de noviembre de 2023 ▸ **Evaluación:** 26 de agosto de 2024
▸ **Aceptado:** 12 de noviembre de 2024 ▸ **Publicación:** 28 de enero de 2025

Sugerencia de citación. González, G., Calderón, J., Zepeda, F., & Estrada, C. (2025). Variabilidad de la intensidad de lluvias entre 1930 y 2010 en la región centro del Estado de México. *Perspectiva Geográfica, 30*(1), 1-16. https://doi.org/10.19053/uptc.01233769.16879

Resumen. El cambio climático ha generado alteraciones significativas en las condiciones climáticas locales. El objetivo de esta investigación es analizar cuáles son los cambios que ha tenido la intensidad de lluvia en la región centro del Estado de México. Para el desarrollo de la investigación, se identificó una zona con precipitación homogénea y se obtuvo información de las estaciones meteorológicas presentes en el sitio. Los registros de lluvia en 24 horas de las estaciones meteorológicas fueron categorizados y con ellos se desarrolló un índice de precipitación diaria; asimismo, se analizaron parámetros como evaporación diaria, temperatura máxima diaria y temperatura mínima diaria. Los datos fueron agrupados por tiempo (décadas) y espacio (municipios). Con los datos temporales, se realizó un análisis de tendencias mediante la prueba estadística de Mann-Kendall y se analizaron las correlaciones entre las variables atmosféricas. Con los datos espaciales, se llevó a cabo un análisis mediante el índice I de Moran. Los resultados muestran que las precipitaciones ligeras, las precipitaciones moderadas y el promedio de evaporación diaria muestran una tendencia significativa a la baja; asimismo, el promedio de temperatura máxima diaria muestra una tendencia significativa al alza; en cuanto al análisis espacial, la evaporación diaria fue la única variable que presentó evidencia significativa de autocorrelación espacial positiva. En conclusión, el promedio de precipitación diaria en la región centro del Estado de México ha sido similar en las últimas décadas; sin embargo, se están presentando cambios significativos en su intensidad.

Palabras clave: *análisis de tendencias, cambio climático, evaporación, precipitación, temperatura.*

1 Doctor en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Universidad Autónoma del Estado de México. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México. ggonzalezc@uaemex.mx, https://orcid.org/0000-0003-3479-8973

2 Doctor en Urbanismo, Universidad Autónoma del Estado de México. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México. jrcalderonm@uaemex.mx. https://orcid.org/0000000265848868

3 Doctor en Ciencias del Agua, Universidad Autónoma del Estado de México. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México. fzepedam@uaemex.mx. https://orcid.org/0000-0003-3297-7580

4 Doctora en Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma del Estado de México. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México. cestradav@uaemex.mx. https://orcid.org/0009-0005-2704-7735

CC BY NC ND

Variability of rainfall intensity between 1930 and 2010 in the central region of the State of Mexico

Abstract. The climate change has generated significant changes in local climate conditions. The objective of this investigation is to analyze the changes that have occurred in the intensity of the rain in the central region of the State of Mexico. To develop the investigation, an area with homogeneous precipitation was identified and information was obtained from the meteorological stations present on the site. 24-hour rain records from meteorological stations were categorized and with them a daily precipitation index was developed; simismically, parameters such as: daily evaporation, maximum daily temperature and minimum daily temperature were analyzed. Data was grouped by time (decades) and space (municipalities). With the temporal data, a trend analysis was carried out using the Mann-Kendall statistical test and the correlations between atmospheric variables were analyzed. An analysis was carried out with the spatial data using the Moran I index. The results show that light precipitation, moderate precipitation and the daily evaporation rate show a significant downward trend; accordingly, the average maximum daily temperature shows a significant trend towards alza; regarding spatial analysis, daily evaporation was the only variable that presented significant evidence of positive spatial autocorrelation. In conclusion, the average daily precipitation in the central region of the State of Mexico has been similar in recent decades; however, significant changes are occurring in its intensity.

Keywords: *Trend analysis, climate change, evaporation, precipitation, temperature.*

Variabilidade da intensidade das chuvas entre 1930 e 2010 na região central do estado do México

Resumo. A mudança climática gerou alterações significativas nas condições climáticas locais. O objetivo desta investigação é analisar quais são as mudanças que tiveram a intensidade da chuva na região centro do Estado do México. Para o desenvolvimento da investigação, uma zona de precipitação homogênea foi identificada e foram obtidas informações sobre as estações adversas presentes no local. Os registros de chuvas nas 24 horas das estações foram categorizados e com eles foi estabelecido um índice de precipitação diária; simismo, se analisaram parâmetros como: evaporação diária, temperatura máxima diária e temperatura mínima diária. Os dados foram agrupados por tempo (décadas) e espaço (municípios). Com os dados temporais foi realizada uma análise de tendências com base na prova estatística de Mann-Kendall e foram analisadas as correlações entre as variáveis atmosféricas. Com os dados espaciais foi realizada uma análise baseada no índice I de Moran. Os resultados mostram que as precipitações leves, as precipitações moderadas e a promessa de evaporação diária mostram uma tendência significativa para a baixa; sim, o padrão de temperatura máxima diariamente mostraria uma tendência significativa ao alza; no que diz respeito à análise espacial, o diário de evaporação foi a única variável que apresentou evidência significativa de autocorrelação espacial positiva. Concluindo, a precipitação média diária na região central do Estado do México tem sido semelhante nas últimas décadas; no entanto, mudanças significativas estão ocorrendo em sua intensidade.

Palavras-chave: *Análise de tendências, mudanças climáticas, evaporação, precipitação, temperatura.*

Introducción

El cambio climático ha generado alteraciones significativas en las condiciones atmosféricas a nivel mundial; según datos de la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2022) y el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2018), la concentración de los gases de efecto invernadero se encuentra en el punto más alto de los últimos dos millones de años, lo cual ha dado como resultado un incremento de la temperatura global de 1,5 °C y el incremento de las lluvias intensas. Autores como Chenguang et al. (2023) mencionan que el incremento de 1,5 °C y el aumento de los días de sequía a nivel mundial implican un incremento de entre un 10 y un 15% de los incendios forestales que afectan la Amazonía, el sur de África y los bosques boreales de Eurasia.

La ONU (2021) señala que América Latina es una de las regiones más vulnerables al cambio climático, ya que reporta temporadas prolongadas de sequía y un aumento considerable de los riesgos meteorológicos. Miranda (2018) menciona que el cambio climático genera grandes impactos en las condiciones socioeconómicas de esta región, lo cual pone en riesgo incluso su soberanía alimentaria.

En México, el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2018) reporta que la temperatura promedio en el país se ha incrementado 0,85 °C, mientras que las precipitaciones han disminuido en la porción sureste del territorio. El Gobierno, a través del *Atlas nacional de vulnerabilidad al cambio climático,* menciona que México es un país con una vulnerabilidad alta frente al cambio climático debido a sus características geográficas y ambientales, si bien los efectos son distintos para cada región (INECC, 2019).

El cambio climático está favoreciendo la ocurrencia de eventos climáticos extremos que cada vez son más recurrentes y afectan tanto las actividades humanas como los ecosistemas. En un estudio hecho por García et al. (2013), se evidencia que en México el cambio climático, junto con los cambios de uso de suelo, están provocando periodos de retorno cada vez más cortos entre los eventos climáticos extremos.

En este contexto, los cambios en la dinámica climática global han provocado también modificaciones en las condiciones climáticas locales. Al respecto, el Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático (IEECC, 2020) señala que el 22% de los municipios que integran el Estado de México presenta una vulnerabilidad alta ante el cambio climático.

Entre las variables climáticas, la precipitación es una de las más importantes, ya que representa una de las principales fuentes de abastecimiento de agua. La precipitación no solo permite potabilizar el agua, sino que es una de las formas más asequibles en las que el ser humano ha podido acceder al agua potable incluso en las zonas más remotas donde no se cuenta con la infraestructura necesaria para su distribución; sin embargo, en los últimos años el cambio climático ha modificado los regímenes de lluvia (Houze, 2014). A su vez, los cambios en la precipitación han generado alteraciones ambientales muy importantes en los ecosistemas, y este es el caso de las inundaciones (Sauquet & Lang, 2017).

Por lo tanto, la comprensión de cómo el cambio climático está afectando las condiciones atmosféricas locales, y específicamente la precipitación, nos ayuda a establecer políticas públicas más eficientes para la adaptación al cambio climático. Esto nos lleva a la pregunta de investigación: ¿cuáles son las modificaciones que ha tenido la intensidad de lluvia en la región centro del Estado de México? Para responder a esta cuestión, se parte de la hipótesis de que existen variaciones en la tendencia de la intensidad de lluvias en la región centro del Estado de México. El objetivo de esta investigación es analizar cuáles son los cambios que ha tenido la intensidad de lluvia en la región centro del Estado de México durante las últimas décadas.

Materiales y métodos

Área de estudio

La región centro del Estado de México que se delimitó para el presente estudio comprende los municipios de Almoloya de Juárez, Almoloya del Río, Atlacomulco, Calimaya, Chapultepec, El Oro, Ixtlahuaca, Jocotitlán, Joquicingo, Lerma, Metepec, Mexicaltzingo, Rayón, San Felipe del Progreso, Temoaya, Tenango del Valle, Toluca y Zinacantepec (Figura 1). La mayor parte de estos municipios pertenecen al Valle de Toluca (Gobierno del Estado de México, 2005).

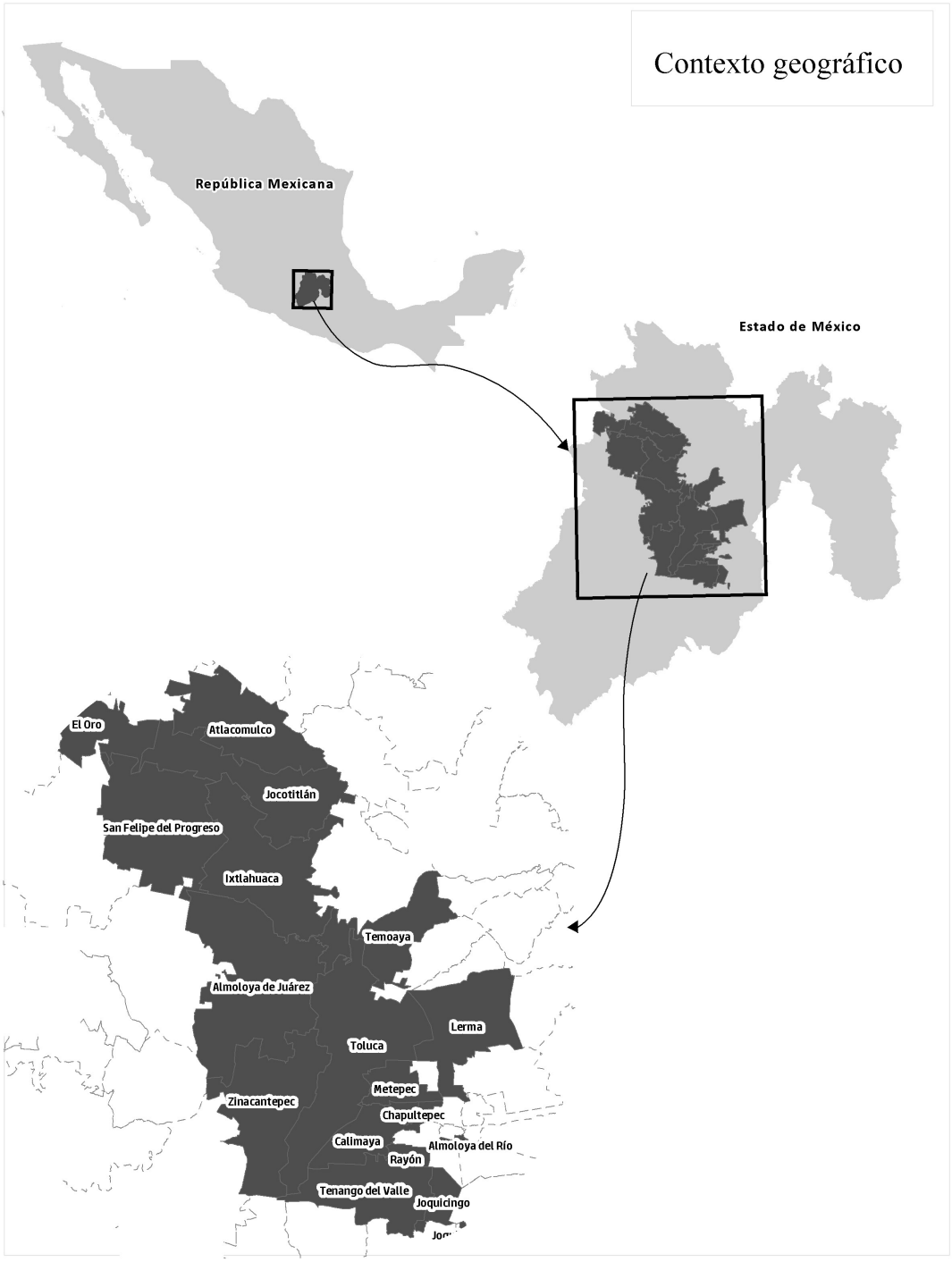


FIGURA 1. Ubicación de la zona de estudio

FUENTE: elaboración propia.

La zona de estudio presenta un clima templado subhúmedo, con una precipitación media anual de 1.000 mm. Se localiza entre los 2.500 y 3.000 metros sobre el nivel del mar y en el área predomina el uso de suelo agrícola, el cual cubre más del 80% del territorio. Actualmente es una de las zonas más densamente pobladas del país, ya que supera el medio millón de habitantes (Gobierno del Estado de México, 2019).

Metodología

Para el desarrollo de la investigación, se identificó una zona con precipitación homogénea con el fin de identificar los cambios locales en la lluvia. Para esto, se utilizaron los datos del conjunto de datos vectoriales de precipitación escala 1:1.000.000 y se seleccionó la zona ubicada en la isoyeta 1.000 mm del Estado de México, con el fin de disminuir la alteración por otras variables como la altitud y la topografía (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2006). Posteriormente, se obtuvo la información estadística climatológica de las estaciones meteorológicas ubicadas dentro de la zona de estudio y se seleccionaron aquellas que tuvieran registros diarios de lluvia en 24 horas durante el periodo 1930-2010, para un total de 48 estaciones meteorológicas distribuidas en 18 municipios (Servicio Meteorológico Nacional, 2022). En la Figura 2 se presenta la ubicación de las estaciones meteorológicas; sin embargo, cabe señalar que algunas de las estaciones se encuentran muy cerca entre sí, por lo que se utilizó un solo punto para su representación cartográfica.

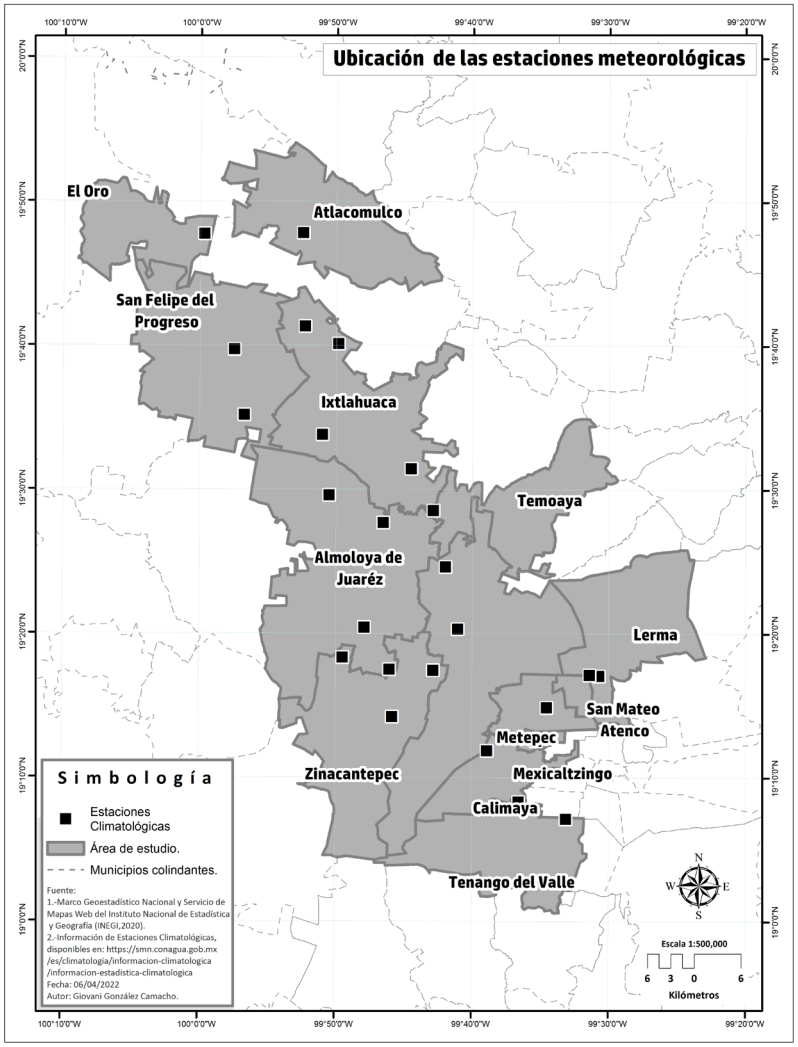


FIGURA 2. Ubicación de las estaciones meteorológicas

FUENTE: elaboración propia.

Los registros de lluvia en 24 horas de las estaciones meteorológicas fueron categorizados usando como base la clasificación echa por Brown et al. (2017), modificada para las condiciones particulares de la zona de estudio (Tabla 1).

TABLA 1. Clasificación de las precipitaciones diarias

Nivel	Clasificación	Rango (mm)
0	Lluvias nulas	0
1	Lluvias ligeras	0,1-5
2	Lluvias moderadas	5,1-20
3	Lluvias fuertes	20,1-70
4	Lluvias intensas	70,1-150
5	Lluvias torrenciales	≥150

FUENTE: elaboración propia con base en Brown et al. (2017).

Posteriormente, se desarrolló un índice de precipitación diaria para cada estación meteorológica utilizando la siguiente fórmula:

$$IPD = \left(\frac{Dn}{TD}\right) * 100$$

En donde:

IPD = Índice de precipitación diaria.

Dn = Número de días del mismo nivel de precipitación registrados por la estación.

TD = Total de días de todos los niveles de precipitación registrados por la estación.

Una vez que se obtuvo el IPD de cada estación, se llevó a cabo un promedio de todas las estaciones y se obtuvieron las medias de las variables atmosféricas: precipitación diaria, nivel de precipitación, evaporación diaria, temperatura máxima diaria y temperatura mínima diaria. Los datos obtenidos fueron agrupados por tiempo (décadas) y por espacio (municipios). Con los datos obtenidos por tiempo, se realizó un análisis de tasa de cambio entre décadas mediante la siguiente fórmula:

$$TC = Da - Dp$$

En donde:

TC = Tasa de cambio.

Da = Década anterior.

Dp = Década posterior.

Enseguida, se efectuó un análisis de tendencias mediante la prueba estadística no paramétrica de Mann-Kendall con el *software* de acceso abierto TREND V1.0.2 (De la Mora et al., 2014; EWATER, 2023). La descripción de la significancia de dicho análisis se llevó a cabo utilizando como base la investigación de Alencar y Silva (2017) (Tabla 2).

TABLA 2. Descripción de la significancia del test de Mann-Kendall

Significancia	Z
Sin tendencia	0
Tendencia significativa creciente	>+1,96
Tendencia significativa decreciente	<-1,96
Tendencia no significativa creciente	<+1,96
Tendencia no significativa decreciente	>-1,96

FUENTE: Alencar y Silva (2017).

Posteriormente, se elaboró un análisis de correlación de Pearson con las variables atmosféricas analizadas para comprender las relaciones que existen entre dichas variables y se procedió a realizar una prueba t de Student para determinar si existe una relación o no entre las variables utilizando un nivel de confianza del 95%, con un nivel de significación del 0,05.

Con los datos obtenidos por municipios, se llevó a cabo un análisis de autocorrelación espacial utilizando del índice I de Moran con el *software* ArcGis, esto con el fin de identificar la existencia de patrones espaciales de agrupación o dispersión en las variables atmosféricas analizadas (González et al., 2020; Environmental Systems Research Institute, 2021). Al igual que en el caso anterior, se consideró un nivel de confianza del 95%, con un nivel de significación del 0,05 y una desviación estándar (puntuación z) de <-1,96 o >+1,96.

Resultados

En la Tabla 3 se muestra el desarrollo histórico de las precipitaciones en la región centro del Estado de México, y se observa que la década en la cual existió mayor precipitación diaria promedio fue 1930. Por su parte, en lo que respecta a los niveles de precipitación, se observa que 1940 fue la década que presentó más días sin lluvia (nivel 0), la década de 1930 fue la que tuvo el mayor porcentaje de días con lluvias ligeras (nivel 1), nuevamente 1930 fue la década que presentó más días con lluvias moderadas (nivel 2), la década del 2000 es la que albergó el mayor porcentaje de días con lluvias fuertes (nivel 3) y la década de 2010 es la que ostenta el mayor porcentaje de días con lluvias intensas (nivel 4); asimismo, destaca que la década de 1950 fue la que presentó mayor promedio de evaporación diaria y la década del 2010 es la que ocupó los promedios de temperatura diaria máxima y mínima más altos de todo el periodo analizado. Cabe señalar que no se presentaron precipitaciones torrenciales (nivel 5) en la zona de estudio.

TABLA 3. Análisis de intensidad de lluvia por décadas

Década	Promedio de precipitación diaria (mm)	Índice de precipitación diaria (%)					Promedio de evaporación diaria (mm)	Promedio de temperatura máxima diaria (°C)	Promedio de temperatura mínima diaria (°C)
		Nivel 0	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4			
1930	2,678	62,33	19,331	16,418	1,919	0	---	21,005	5,039
1940	2,124	72,589	13,812	11,648	1,857	0,085	4,323	20,51	6,898
1950	2,171	70,346	15,006	13,138	1,504	0,004	4,412	20,17	6,191
1960	2,293	69,487	16,108	12,166	2,226	0,01	4,411	21,209	5,178
1970	2,216	68,585	17,296	12,072	2,044	0,002	4,31	21,072	5,062
1980	2,111	71,46	15,217	11,49	1,826	0,004	4,25	21,27	4,975
1990	2,379	69,196	15,696	12,885	2,206	0,015	4,248	21,544	5,484
2000	2,484	70,675	14,101	12,521	2,667	0,034	4,081	22,158	5,521
2010	2,413	71,15	14,225	12,33	2,203	0,089	4,104	22,64	7,06
Promedio	2,318	69,535	15,643	12,740	2,050	0,027	4,267	21,286	5,712
Mediana	2,293	70,346	15,217	12,33	2,044	0,01	4,28	21,209	5,484
Desviación estándar	0,188	2,969	1,763	1,477	0,328	0,035	0,124	0,761	0,809
Varianza	0,035	8,816	3,110	2,181	0,107	0,001	0,015	0,579	0,655

FUENTE: elaboración propia.

De forma general, se observa que las primeras décadas tenían un régimen de lluvias caracterizado por precipitaciones nivel 1 y 2; sin embargo, las últimas décadas se han diferenciado por presentar mayor porcentaje de precipitaciones nivel 3 y 4, junto con las temperaturas máximas y mínimas más altas de todo el periodo analizado. Los resultados evidencian que el parámetro que presenta los datos más dispersos es la precipitación nivel 0, seguido por la precipitación nivel 1 y nivel 2; el resto de los datos presentan una baja dispersión.

En la Tabla 4 se advierte que, de los niveles de precipitación analizados, las lluvias nivel 3 son las que presentan el promedio negativo más grande. En cuanto al resto de las variables atmosféricas analizadas, destaca el incremento promedio de 0,3 °C de las temperaturas máximas diarias entre décadas.

TABLA 4. Tasa de cambio

Década	Promedio de precipitación diaria (mm)	Índice de precipitación diaria (%)					Promedio de evaporación diaria (mm)	Promedio de temperatura máxima diaria (°C)	Promedio de temperatura mínima diaria (°C)
		Nivel 0	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4			
1950	0,047	-2,243	1,194	1,49	-0,353	-0,081	0,089	-0,34	-0,707
1960	0,122	-0,859	1,102	-0,972	-0,722	0,006	-0,001	1,039	-1,013
1970	-0,077	-0,902	1,188	-0,094	-0,182	-0,008	-0,101	-0,137	-0,116
1980	-0,105	2,875	-2,079	-0,582	0,218	0,002	-0,06	0,198	-0,087
1990	0,268	-2,264	0,479	1,395	0,38	0,011	-0,002	0,274	0,509
2000	0,105	1,479	-1,595	-0,364	-0,461	0,019	-0,167	0,614	0,037
2010	-0,071	0,475	0,124	-0,191	-0,464	0,055	0,023	0,482	1,539
Promedio	0,041	-0,206	0,059	0,097	-0,226	0,001	-0,031	0,304	0,023

FUENTE: elaboración propia.

En la Tabla 5 se presentan los resultados del análisis de Mann-Kendall, donde se observa que las precipitaciones nivel 1 y nivel 2 manifiestan una tendencia significativa decreciente, lo cual se traduce en que estadísticamente existe una tendencia a la disminución de las lluvias ligeras y moderadas en el centro del Estado de México.

TABLA 5. Análisis de Mann-Kendall

Variable		Mann-Kendall (S)	Z	Coeficiente de correlación (τ)	Tendencia
Promedio de precipitación diaria (mm)		8	0,729	0,003	Tendencia no significativa creciente
Índice de precipitación diaria (%)	Nivel 0	6	0,521	0,201	Tendencia no significativa creciente
	Nivel 1	-8	-0,938	0,243	Tendencia significativa decreciente
	Nivel 2	-6	-0,729	0,212	Tendencia significativa decreciente
	Nivel 3	12	1,146	0,403	Tendencia no significativa creciente
	Nivel 4	17	1,668	0,079	Tendencia no significativa creciente
Promedio de evaporación diaria (mm)		-22	-0,104	0,765	Tendencia significativa decreciente
Promedio de temperatura máxima diaria (°C)		28	2,814	0,734	Tendencia significativa creciente
Promedio de temperatura mínima diaria (°C)		6	0,521	0,017	Tendencia no significativa creciente

FUENTE: elaboración propia.

En la Figura 3 se observa que la evaporación diaria es la variable que mostró la tendencia a la baja más pronunciada, mientras que la temperatura máxima diaria presentó la única tendencia significativa creciente.

En la Tabla 6 se muestra que en el caso de las precipitaciones nivel 3 existe una correlación positiva alta con la temperatura máxima, mientras que las precipitaciones nivel 4 muestran una correlación positiva alta con la temperatura mínima, lo cual significa que la cantidad de lluvias fuertes está relacionada directamente con la temperatura máxima del día y la cantidad de lluvias intensas, con la temperatura mínima del día; por el contrario, las precipitaciones nivel 1 presentaron una correlación negativa con la temperatura mínima, lo cual muestra que el incremento en las temperaturas más bajas del día se vincula con la disminución de las precipitaciones ligeras.

Según la prueba de hipótesis para la evaluación de la correlación de Pearson mediante un análisis de t de

Student, se encontró que todas las correlaciones analizadas muestran existencia estadística de vinculación entre las variables, ya que presentan datos de p-valor menores a 0,05 (Tabla 7).

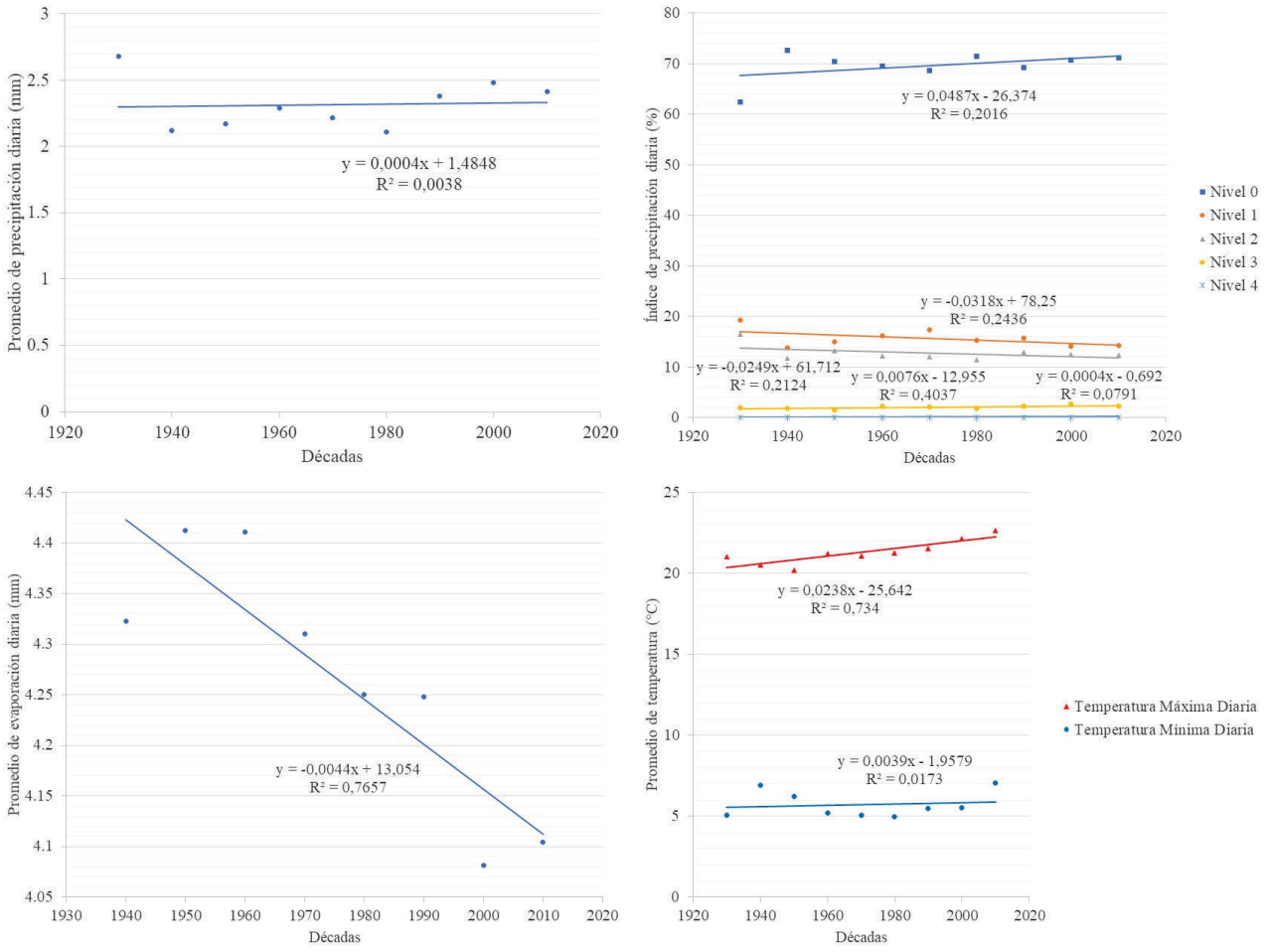


FIGURA 3. Tendencias de las variables atmosféricas

FUENTE: elaboración propia.

TABLA 6. Índices de correlación de Pearson

Variable		Promedio de precipitación diaria	Índice de precipitación diaria					Promedio de evaporación diaria	Promedio de temperatura máxima diaria	Promedio de temperatura mínima diaria
			Nivel 0	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4			
Promedio de precipitación diaria		1	-0,735	0,488	0,788	0,485	-0,066	-0,686	0,462	-0,187
Índice de precipitación diaria	Nivel 0	-0,735	1	-0,934	-0,918	0,048	0,527	-0,229	0,111	0,526
	Nivel 1	0,488	-0,934	1	0,738	-0,167	-0,658	0,459	-0,236	-0,664
	Nivel 2	0,788	-0,918	0,738	1	-0,123	-0,345	0,025	-0,125	-0,257
	Nivel 3	0,485	0,048	-0,167	-0,123	1	0,205	-0,673	0,786	-0,129
	Nivel 4	-0,066	0,527	-0,658	-0,345	0,205	1	-0,453	0,379	0,882

Promedio de evaporación diaria	-0,686	-0,229	0,459	0,025	-0,673	-0,453	1	-0,872	-0,190
Promedio de temperatura máxima diaria	0,462	0,111	-0,236	-0,125	0,786	0,379	-0,872	1	0,106
Promedio de temperatura mínima diaria	-0,187	0,526	-0,664	-0,257	-0,129	0,882	-0,190	0,106	1

FUENTE: elaboración propia.

TABLA 7. Pruebas de hipótesis de correlaciones (p-valor)

Variable		Promedio de precipitación diaria	Índice de precipitación diaria					Promedio de evaporación diaria	Promedio de temperatura máxima diaria	Promedio de temperatura mínima diaria
			Nivel 0	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4			
Promedio de precipitación diaria		-	4,143E-21	1,504E-13	4,510E-13	0,049	1,001E-16	1,354E-13	1,400E-21	1,533E-09
Índice de precipitación diaria	Nivel 0	4,143E-21	-	1,500E-18	3,419E-19	4,148E-21	2,353E-21	1,739E-19	1,307E-18	1,623E-20
	Nivel 1	1,504E-13	1,500E-18	-	0,002	1,317E-13	1,161E-14	1,29E-11	1,546E-07	5,385E-11
	Nivel 2	4,510E-13	3,419E-19	0,002	-	3,901E-13	1,812E-14	7,019E-11	5,012E-11	1,112E-09
	Nivel 3	0,049	4,148E-21	1,317E-13	3,901E-13	-	3,499E-12	1,519E-11	2,718E-21	1,044E-09
	Nivel 4	1,001E-16	2,353E-21	1,161E-14	1,812E-14	3,499E-12	-	1,764E-22	1,438E-22	4,366E-13
Promedio de evaporación diaria		1,354E-13	1,739E-19	1,29E-11	7,019E-11	1,519E-11	1,764E-22	-	1,594E-19	0,0002
Promedio de temperatura máxima diaria		1,400E-21	1,307E-18	1,546E-07	5,012E-11	2,718E-21	1,438E-22	1,594E-19	-	8,294E-18
Promedio de temperatura mínima diaria		1,533E-09	1,623E-20	5,385E-11	1,112E-09	1,044E-09	4,366E-13	0,0002	8,294E-18	-

FUENTE: elaboración propia.

En la Tabla 8 se muestra el desarrollo de las precipitaciones por municipios. El municipio en el cual existió mayor promedio de precipitación diaria fue Tenango del Valle; por su parte, en lo que respecta a los niveles de precipitación, se observa que Chapultepec presentó más días sin lluvia (nivel 0), Temoaya fue el que tuvo mayor porcentaje de días con lluvias ligeras (nivel 1), Almoloya del Río es el municipio que presentó más días con lluvias moderadas (nivel 2), nuevamente Tenango del Valle es el que albergó el mayor porcentaje de días con lluvias fuertes (nivel 3) y el municipio de Lerma es el que ostenta el mayor porcentaje de días con lluvias intensas (nivel 4); asimismo, destaca que Almoloya de Juárez fue el municipio que presentó mayor promedio de evaporación diaria y Tenango del Valle ocupó los promedios de temperatura diaria máxima y mínima más altos de todo el periodo analizado.

En la Tabla 9 se presentan los resultados del análisis del índice I de Moran de las variables atmosféricas analizadas. Los datos exponen que la evaporación diaria es la única variable que muestra evidencia estadística de autocorrelación espacial positiva, lo que significa que la evaporación diaria es la única variable que muestra un patrón espacial que, en este caso, es agrupado.

TABLA 8. Análisis de intensidad de lluvia por municipio, 1930-2010

Municipio	Promedio de precipitación diaria (mm)	Índice de precipitación diaria (%)					Promedio de evaporación diaria (mm)	Promedio de temperatura máxima diaria (°C)	Promedio de temperatura mínima diaria (°C)
		Nivel 0	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4			
Almoloya de Juárez	2,263	70,867	14,612	12,42	2,092	0,006	4,653	21,31	5,047
Almoloya del Río	2,543	67,121	14,476	16,926	1,422	0,04	2,857	20,169	5,499
Atlacomulco	2,12	73,326	13,809	10,585	2,27	0,006	4,361	22,243	4,562
Calimaya	2,481	68,435	15,903	13,313	2,284	0,062	4,358	21,475	4,83
Chapultepec	1,966	75,69	11,349	11,157	1,802	0	3,637	21,995	4,372
El Oro	2,311	73,678	12,541	11,172	2,634	0,012	3,978	21,2	5,262
Ixtlahuaca	2,019	71,58	15,355	11,521	1,54	0,002	4,54	21,885	4,492
Jocotitlán	2,044	73,279	13,171	11,7	1,849	0	4,62	21,124	4,878
Joquicingo	2,291	71,162	12,795	14,417	1,61	0,042	3,957	20,437	3,514
Lerma	2,491	65,918	18,855	12,905	2,254	0,065	3,968	21,455	4,517
Metepec	2,566	65,783	17,27	14,626	2,32	0	3,702	22,506	4,138
Mexicaltzingo	2,12	68,248	18,661	10,92	2,168	0	3,583	22,397	5,002
Rayón	2,056	69,835	16,145	12,326	1,692	0	4,282	21,292	4,279
San Felipe del Progreso	2,304	72,113	13,53	11,911	2,415	0,028	4,393	21,194	5,906
Temoaya	2,287	63,09	21,832	13,183	1,893	0	4,235	22,17	5,018
Tenango del Valle	2,91	75,301	10,697	11,138	2,833	0,029	3,349	27,943	13,711
Toluca	2,223	65,434	20,511	12,021	2,021	0,011	4,343	20,594	5,753
Zinacantepec	2,121	71,03	15,145	12,124	1,693	0,005	3,997	19,131	5,339

FUENTE: elaboración propia.

TABLA 9. Análisis de correlación espacial

Variable		Índice de Moran	Índice esperado	Varianza	Puntuación-z	Valor-p
Promedio de precipitación diaria (mm)		-0,108	-0,058	0,014	-0,416	0,677
Índice de precipitación diaria (%)	Nivel 0	-0,031	-0,058	0,014	0,222	0,824
	Nivel 1	0,014	-0,058	0,014	0,609	0,542
	Nivel 2	-0,112	-0,058	0,013	-0,460	0,645
	Nivel 3	-0,051	-0,058	0,014	0,060	0,951
	Nivel 4	-0,131	-0,058	0,014	-0,608	0,542
Promedio de evaporación diaria (mm)		0,311	-0,058	0,014	3,098	0,001
Promedio de temperatura máxima diaria (°C)		-0,065	-0,058	0,011	-0,065	0,947
Promedio de temperatura mínima diaria (°C)		-0,150	-0,058	0,010	-0,910	0,362

FUENTE: elaboración propia.

Discusión

Los resultados muestran que se está presentando una redistribución de las intensidades de lluvia en el centro del Estado de México, con una disminución de las lluvias ligeras y moderadas. Dichos resultados concuerdan con los de Méndez et al. (2008), quienes efectuaron un análisis de las tendencias de precipitación en México de 1920 a 2004 y encontraron que la precipitación en la región centro del país está presentando una propensión a la baja.

En un análisis elaborado por López (2016) sobre la distribución temporal de las lluvias en Bogotá, se encontró que el promedio de las precipitaciones anuales se había incrementado entre 1987 y 2003, lo cual coincide con el Estado de México, donde la cantidad promedio de lluvia durante esas mismas fechas aumentó, aunque cabe mencionar que dicho incremento no fue estadísticamente significativo al analizar un periodo de tiempo más largo como el de la presente investigación.

En un estudio realizado por Olusola et al. (2022), en el cual se analizó la intensidad de precipitación en el Tibet de 1980 a 2020, se identificó que a partir del 2010 la precipitación incrementó su intensidad; dicho resultado concuerda también con el Estado de México, en donde la década del 2010 fue la que exhibió los niveles más altos de precipitación nivel 4. Por su parte, Chauhan et al. (2022) mencionan que en la India las lluvias moderadas muestran una tendencia a la baja mientras que las lluvias fuertes presentan una tendencia al alza, lo cual concuerda con los resultados de la presente investigación.

Los cambios en la intensidad de la precipitación tienen severas implicaciones ambientales, pues disminuyen la lluvia efectiva que puede ser aprovechada por el hombre y los ecosistemas (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 1978).

En el caso de la agricultura, Medina (2002) menciona que aquellas precipitaciones diarias menores a 5 mm y mayores a 75 mm no son útiles para los cultivos, por lo cual las precipitaciones que realmente favorecen el desarrollo de los cultivos agrícolas son las lluvias nivel 2 y 3. Si consideramos que las lluvias nivel 2 muestran una tendencia significativa a la baja y que la mayor parte de los terrenos agrícolas en el centro del Estado de México dependen de la lluvia como principal fuente de riego, la disminución en las precipitaciones nivel 2 representará un riesgo importante para la producción agrícola de la región en los próximos años.

En cuanto a la vegetación natural, Zheng y Pan (2022) señalan que las modificaciones en la precipitación generan cambios relativamente pequeños en los bosques de coníferas y latifoliados; sin embargo, los impactos más significativos se presentan en pastos, plantas y arbustos, por lo que estos estratos pueden verse mayormente afectados por el cambio en la intensidad de la lluvia.

Por su parte, Colotti (1999) y la FAO (2010) señalan que la intensidad de lluvia está directamente relacionada con la erosión hídrica del suelo y a mayor intensidad de lluvia la cantidad de agua que se infiltra a aguas subterráneas es menor. En este sentido, Rivera et al. (2012), en su análisis sobre los procesos de erosión en el centro del Estado de México, señalan que las lluvias menores a 15 mm (niveles 1 y 2) favorecen la infiltración del agua y promueven la recarga de mantos freáticos, mientras que las lluvias más intensas (niveles 3 y 4) producen escurrimientos y favorecen la erosión del suelo. Si consideramos que las precipitaciones nivel 1 y 2 disminuirán, tenemos que la cantidad de agua de lluvia que se filtrará en el subsuelo durante las siguientes décadas será menor. Al interior de la zona de estudio se encuentra la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, la cual es una de las principales urbes del país. Según datos de la Comisión Nacional del Agua (2023), el acuífero del Valle de Toluca actualmente tiene una disponibilidad media anual de agua subterránea de -110,343 hm^3/año, lo que significa que se trata de un acuífero sobreexplotado. Esta

situación se agravará en los próximos años debido a la disminución de las lluvias ligeras y moderadas que alimenten a dicho acuífero, lo cual pone en riesgo el abastecimiento de agua potable de la zona conurbada del centro del Estado de México.

En lo concerniente al impacto que genera la lluvia en los fenómenos de inundación, Herrera et al. (2020) señalan que el valor aproximado de precipitación diaria que puede generar problemas de inundación es de 40 mm o más (precipitaciones nivel 3 y 4); sin embargo, los resultados muestran que no hay una tendencia significativa para estos tipos de precipitaciones, por lo que el comportamiento de estos fenómenos requiere de más estudios para conocer a profundidad su comportamiento.

Por otra parte, la temperatura es una de las variables climáticas que muestra más cambios en el periodo estudiado. Los resultados exponen que la temperatura mínima diaria de la región tiene una tendencia no significativa creciente; sin embargo, la temperatura máxima diaria presenta una tendencia significativa creciente, lo que implica que la temperatura máxima diaria en la región está aumentando un promedio de 0,3 °C cada década. En un estudio hecho por Faranak et al. (2020), donde se analizaron las tendencias anuales de la temperatura en la Ciudad de México, se obtuvo un incremento promedio de 0,1 °C por década. En Zacatecas, Santillán et al. (2011) reportan un incremento promedio en la temperatura máxima de 0,068 °C por decenio, mientras que Brohan et al. (2006) establecen que el incremento de la temperatura global por década oscila entre los 0,084 ± 0,021 °C. Los resultados de la presente investigación coinciden con el aumento en la temperatura máxima reportada por los autores antes mencionados; sin embargo, el incremento es mayor al de los casos aludidos.

El aumento en la temperatura máxima diaria puede traer impactos negativos considerables en el territorio, y tal es el caso de las inundaciones. Jie et al. (2023) señalan que el incremento de la temperatura a nivel mundial en 3 °C puede aumentar la magnitud de inundaciones de un 16,4 a un 30,6% e incrementar la frecuencia de estos fenómenos meteorológicos entre un 47 y un 74%; por lo tanto, el impacto en las inundaciones no solo se acrecentaría por el aumento en la intensidad de las lluvias, sino también por el aumento en la temperatura máxima diaria.

En cuanto a las correlaciones se refiere, se obtuvo que el incremento en las temperaturas tanto máximas como mínimas diarias está relacionado con el incremento de las precipitaciones nivel 3 y nivel 4 y la disminución de las precipitaciones nivel 1 y nivel 2, lo cual coincide con la investigación de Durán et al. (2010), quienes señalan en su estudio que los incrementos en las temperaturas se asociaron con la disminución del número de precipitaciones.

Por su parte, la evaporación diaria es la variable climática que presentó la tendencia temporal significativa más pronunciada a la baja, así como los únicos valores significativos de autocorrelación espacial con un patrón agrupado; esto, según Zitouna et al. (2023), se debe a que la evaporación diaria es la variable atmosférica más susceptible a los cambios de uso de suelo debido a su relación con la vegetación, lo cual coincide con la disminución de superficie vegetal y cambios de uso de suelo que ha tenido la zona en los últimos años. Según Adame et al. (2020), la Zona Metropolitana de Toluca, entre 1984 y 2017, sufrió cambios de uso de suelo importantes, con una disminución de la superficie agrícola de 9.538,43 hectáreas y un incremento de la superficie urbana de 9.240,32 hectáreas; dicho periodo concuerda con las décadas que presentaron los valores más bajos de evaporación diaria. Esta tendencia coincide a su vez con el estudio de Jiacan et al. (2022), quienes analizaron cómo la isla de calor formada por una ciudad China favoreció el aumento de temperatura en la zona e incrementó la presión de saturación de vapor de agua, causando así una disminución en la evaporación.

Por otro lado, el Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático del Estado de México señala que la mayor parte de la zona de estudio tiene una

vulnerabilidad de baja a media (IEECC, 2020); sin embargo, sería importante considerar los cambios en la intensidad de la precipitación y el aumento en la temperatura máxima diaria para desarrollar mejores estrategias de adaptación ante el cambio climático.

Son varios los esfuerzos que los Gobiernos locales del Estado de México han realizado para adaptarse al cambio climático, entre los que se encuentran los planes de acción climática municipal; sin embargo, debido a la falta de información de los efectos del cambio climático a nivel local, no se han logrado los resultados esperados (Torres, 2019). Es por esta razón que la información de los efectos del cambio climático a nivel local es un insumo necesario para el desarrollo de políticas públicas eficientes.

Conclusiones

El cambio climático mundial está generando modificaciones climáticas locales importantes en la región centro del Estado de México. Las variables atmosféricas que muestran cambios son las precipitaciones ligeras, las precipitaciones moderadas, la evaporación diaria y la temperatura máxima diaria.

Los resultados de la varianza muestran que la variable atmosférica más estable durante el periodo analizado fue la precipitación nivel 4, ya que muestra una mayor estabilidad a través del tiempo; por el contrario, las variables climáticas más inestables fueron la precipitación nivel 0, la precipitación nivel 1 y la precipitación nivel 2. Esto, sumado al análisis de tendencias que señala que las precipitaciones nivel 1 y 2 tienen una tendencia estadísticamente significativa decreciente, da evidencia de que se está presentando una redistribución de la intensidad de lluvias en la zona centro del Estado de México, pues si bien la cantidad de lluvia no muestra cambios estadísticamente significativos, la intensidad de lluvia ligera y moderada si está presentando una tendencia a la baja, lo cual puede generar grandes impactos en el ambiente y hacer que la lluvia efectiva disponible para el hombre y los ecosistemas disminuya.

Por otro lado, se observa que la temperatura máxima diaria está presentando una tendencia al alza, con un incremento promedio por década de 0,3 °C, lo que puede generar efectos significativos en el funcionamiento de los ecosistemas locales y en la vida diaria de los habitantes de la zona.

Por su parte, la evaporación diaria es la variable atmosférica que está presentando la tendencia decreciente más pronunciada; asimismo, es la única variable que muestra una autocorrelación espacial de agrupamiento, lo cual nos indica que es la variable atmosférica más susceptible al cambio climático en la zona centro del Estado de México.

De manera general, los análisis del cambio climático a nivel local son muy importantes porque proveen información esencial para el diseño de políticas públicas efectivas de adaptación ante el cambio climático, por lo cual es necesario continuar con este tipo de estudios para obtener diagnósticos precisos que nos permitan responder mejor a los cambios ambientales que se avecinan en las próximas décadas.

Finalmente, la lluvia es un recurso vital que garantiza el acceso al agua potable en muchas regiones del centro del Estado de México, por lo que el cambio en su intensidad implica cambios ambientales, sociales y económicos que deben ser estudiados con mayor profundidad.

Conflictos de interés. Los autores no tienen conflictos de interés en la escritura o publicación de este artículo.

Financiación. Los autores no recibieron financiación para la escritura o publicación de este artículo.

Implicaciones éticas. Al tratarse de una revisión, el presente artículo no tiene implicaciones éticas.

Contribución. *Giovani González Camacho:* conceptualización, análisis formal, investigación, recursos y escritura (borrador original). *Juan Roberto Calderón Maya:* análisis formal, curaduría de datos, supervisión y escritura (borrador original). *Francisco Zepeda Mondragón:*

curaduría de datos y elaboración de mapas. *Cristina Estrada Velázquez:* curaduría de datos y escritura (revisión del borrador y revisión/corrección).

Uso de inteligencia artificial (IA). Los autores declaran que no usaron inteligencia artificial en la elaboración o escritura del presente texto.

Declaración de datos. Los autores declaran que no existen datos disponibles publicados previamente en acceso abierto o en repositorios. Para cualquier consulta o solicitud relacionada con este texto se debe contactar al autor de correspondencia.

Referencias

Adame, S., Sánchez, R. M., & Hoyos, G. C. (2020). Factores socioterritoriales de cambio de uso de suelo en el centro de México. Caso oriente de la Zona Metropolitana de Toluca, México. *Revista Universitaria de Geografía, 29*(1), 153-183.

Alencar, K. M., & Silva, R. (2017). Tendencia pluviométrica y concentración estacional de precipitación en la cuenca hidrográfica del río Moxotó-Pernamcuco-Brasil. *Revista Geográfica de América Central, 1*(58), 295-307. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15359/rgac.58-1.12

Brohan, P., Kennedy, J., Harris, I., Tett, S. F. B., & Jones, P. D. (2006). Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new data set from 1850. *Journal of Geophysical Research Atmospheres, 3*, 1-21. https://doi.org/10.1029/2005JD006548

Brown, O., Díaz, R., Gallardo, Y., & Valero, J. (2017). Caracterización de precipitaciones diarias en el municipio de Ciego de Ávila, Cuba. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 38*(2), 44-58.

Chauhan, A., Singh, S., Maurya, R., Rani, A., & Danodia, A. (2022). Spatio-temporal and trend analysis of rain days having different intensity from 1901-2020 at regional scale in Haryana, India. *Results in Geophysical Sciences, 10*, 1-20. https://doi.org/10.1016/j.ringps.2022.100041

Chenguang, T., Xu, Y., Jun, Z., Hong, L., Yang, Y., Lei, C., Xinyi, Z., Yadong, L., Hao, Z., & Yang, C. (2023). Projections of fire emissions and the consequent impacts on air quality under 1.5 °C and 2 °C global warming. *Environmental Pollution, 323*, 1-21. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121311

Colotti, E. (1999). La erosividad: cualidad de la lluvia poco conocida. *Terra. Nueva Etapa, 15*(24), 99-116.

Comisión Nacional del Agua. (2023). *Aguas subterráneas/acuíferos*. https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/sections/Edos/edomex/edomex.html

De la Mora, C., Flores, H. E., Ruíz, J. A., Chávez, Á. A., & Figueroa, A. (2014). Impacto del cambio climático en las tendencias de la evaporación en la presa La Vega, Teuchitlán, Jalisco, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas,* (10), 1993-2005.

Durán, G., Fornet, E., & Hidalgo, A. (2010). Anomalías térmicas positivas y disminución de las lluvias en la comunidad de Guaro Holguín Cuba. *Ciencias Holguín, 16*(1), 1-10.

Environmental Systems Research Institute. (2021). *Cómo funciona Autocorrelación espacial (I de Moran global)*. https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/tools/spatial-statistics-toolbox/h-how-spatial-autocorrelation-moran-s-i-spatial-st.htm

EWATER. (2023). *Trend.* University of Canberra. https://toolkit.ewater.org.au/Tools/TREND

Faranak, B., Asphota, W., Saiful, R., Jacob, T., & Patrick, R. (2020). Analysis of the climate change signal in Mexico City given disagreeing data sources and scattered projections. *Journal of Hydrology: Regional Studies, 27*, 1-17. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100662

García, O. R., Santillán, N., Quintero, M., Ojeda, S., & Velázquez, N. (2013). Extreme temperature scenarios in Mexicali, Mexico under climate change conditions. *Atmósfera, 26*(4), 509-520.

Gobierno del Estado de México. (2005). *Plan Regional de Desarrollo Urbano del Valle de Toluca*. http://seduv.edomexico.gob.mx/dgau/planes_regionales/prduvt/Doc%20PRDUVT.pdf

Gobierno del Estado de México. (2019). *Plan Estatal de Desarrollo Urbano*. https://seduo.edomex.gob.mx/sites/seduo.edomex.gob.mx/files/files/PEDU_Extenso_18Dic2019GACETA.pdf

González, G., Nava, G., Arteaga, T. T., & García, B. (2020). Análisis del programa de conservación de suelos en el área de protección de flora y fauna Nevado de Toluca. *Investigaciones Geográficas*, (102), 1-19. https://doi.org/10.14350/rig.59998

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2018). *Global Warming of 1.5 ºC.* https://www.ipcc.ch/sr15/

Herrera, E., Magaña, V., & Morett, S. (2020). Relación entre eventos extremos de precipitación con inundaciones. Estudio de caso: Tulancingo, Hidalgo. *Nova Scientia, 10*(21), 191-206. https://doi.org/10.21640/ns.v10i21.1527

Houze, R. (2014). *Cloud dynamics.* Elsevier.

Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático. (2020). *Programa Estatal de Acción Ante el Cambio Climático.* https://ieecc.edomex.gob.mx/sites/ieecc.edomex.gob.mx/files/files/Herramientas%20y%20Datos/5_PEACC/PEACC%202022.pdf

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2018). *Efectos del cambio climático.* https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/efectos-del-cambio-climatico

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2019). *Atlas nacional de vulnerabilidad al cambio climático.* https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/page/fichas/ANVCC_LibroDigital.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2006). *Conjunto de datos vectoriales escala 1:1.000.000, precipitación media anual.* https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267568

Jiacan, Y., Qiyan, L., Sisi, C., Huan, Z., Xin, X., Ziyi, C., Jintao, Z., Tiantao, C., Ming, H., & Renhe, Z. (2022). Influence of global warming and urbanization on regional climate of Megacity: A case study of Chengdu, China. *Urban Climate, 44*, 1-14. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101227

Jie, C., Xinyan, S., Lei, G., Guiyang, W., Tianhua, S., Hui-Min, W., Jong-Suk, K., Liping, Z., & Lihua, X. (2023). Impacts of climate warming on global floods and their implication to current flood defense standards. *Journal of Hydrology, 618*, 1-20. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129236

López, C. (2016). Análisis de la distribución espacial y temporal de la precipitación en la cuenca del río Chicú, Sabana de Bogotá, Colombia. *Perspectiva Geográfica, 21*(1), 63-90.

Medina, N. F. (2002). Comportamiento de las precipitaciones en la zona cítrica de Ceballos, Cuba. *Interciencia, 27*(11), 640-644.

Méndez, J., Návar, J. J., & González, V. (2008). Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México. *Investigaciones Geográficas,* (65), 38-55. https://doi.org/10.14350/rig.17973

Miranda, R. G. (2018). Desarrollo y cambio climático. Una mirada desde América Latina. *Revista del CESLA,* (21), 193-210.

Olusola, O. A., Jiahua, W., Qiong, L., Minglei, H., & Guangqian, W. (2022). Moderate rain intensity increased and contributes significantly to total rain change in recent decades over the Qinghai-Tibet Plateau. *Journal of Hydrology: Regional Studies, 39*, 1-21. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100984

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (1978). *Effective rainfall in irrigated agriculture.* https://www.fao.org/3/X5560E/X5560E00.htm

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2010). *Pluviosidad.* https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6705s/x6705s01.htm#top

Organización de las Naciones Unidas. (2021). *Cambio climático: América Latina será una de las regiones más afectadas.* https://news.un.org/es/story/2021/08/1495582

Organización de las Naciones Unidas. (2022). *¿Qué es el cambio climático?* https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change

Rivera, P., Oropeza, J. L., Martínez, M. R., Mejía, E., Tapia, L. M., & Ventura, E. J. (2012). El proceso lluvia-escurrimiento-erosión en laderas y microcuencas instrumentadas. *Tecnología y Ciencias del Agua, 3*(4), 151-166.

Santillán, L. E., Blanco, F., Magallanes, R., García, J. L., Cerano, J., Delgadillo, O., & Valdez, R. D. (2011). Tendencias de temperaturas extremas en Zacatecas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas,* (2), 207-219.

Sauquet, E., & Lang, M. (2017). Flood Regimes: Recent Development and Future Under Climate Change. En F. Vinet (ed.), *Floods* (pp. 299-309). Elsevier.

Servicio Meteorológico Nacional. (2022). *Información estadística climatológica de estaciones meteorológicas.* https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica

Torres, F. (2019). Cambio climático y gobierno local. Falsa idea: piensa global y actúa localmente. *Espacios Públicos, 22*(54), 25-45.

Zheng, Z., & Pan, Z. (2022). Numerical simulation of the effects of global warming on vegetation in Asia. *Advances in Climate Change Research, 13*(5), 688-699. https://doi.org/10.1016/j.accre.2022.08.005

Zitouna, R., Jacob, F., Prévot, L., & Voltz, M. (2023). Documenting evapotranspiration and surface energy fluxes over rainfed annual crops within a Mediterranean hilly agrosystem. *Agricultural Water Management, 277*, 1-14. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.108117