

LA SEQUÍA: ¿UN FENÓMENO NATURAL O PRODUCTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO?

Gustavo Mercado-Mancera^{1*}, Luis Fernando Jurado-Badillo², Angel Adonai Camacho-Acosta², Manuel Alejandro Morón-Rangel² y David Pacheco-Guadarrama²

¹Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. Cuautitlán Izcalli, México.

²Licenciatura de Ingeniería Agrícola. FES-C, UNAM.

*gmercado@unam.mx

Resumen

La sequía que se identifica por una disminución de la precipitación respecto a su valor normal tiene implicaciones de índole climático, social, económico, político, técnico y sobre todo en la viabilidad de los sistemas agrícolas. El objetivo de este trabajo fue comparar el comportamiento de la temperatura, precipitación y evapotranspiración del 2019 al 2024, con respecto a sus valores normales, para detectar la presencia de las sequías en Cuautitlán Izcalli, Estado de México. Se utilizaron los datos de precipitación y temperatura media mensual registrados en la estación meteorológica de la FES Cuautitlán, del periodo de 2019 a 2024, y el promedio mensual normal de 1987 a 2024. Durante el periodo de 2019-2024 se observó la presencia de anomalías positivas en la temperatura durante todo el año, que oscilaron entre 0.8 a 1.8 °C para septiembre y diciembre, y marzo, respectivamente; por lo que respecta a la precipitación se registraron en promedio 599.5 mm y 1,212.2 mm de precipitación y evapotranspiración, respectivamente, que refleja un desbalance de humedad muy importante; mientras que los valores normales son 644.7 mm y 1,132.1 mm de precipitación y evapotranspiración, respectivamente. Por lo tanto, se presentó una disminución importante de la precipitación y un incremento en la evapotranspiración; además, durante el año 2024 se registraron los valores más altos de la temperatura ambiental, con una máxima extrema de 35.6 °C, 1.6 °C más que la registrada en 1998. Estos resultados permiten concluir que, si bien la sequía es un fenómeno recurrente, el cambio climático ha exacerbado el impacto de esta en las condiciones ambientales

en el área de estudio y que se deben tomar medidas para mitigar sus efectos a la sociedad en su conjunto.

Palabras clave: Sequía, precipitación, temperatura ambiental.

Introducción

En la última década, el mundo ha visto cómo los eventos meteorológicos extremos se han presentado con mayor regularidad y la comunidad científica los atribuye a los efectos del cambio climático global, el cual se refiere a los cambios a largo plazo de las temperaturas y los patrones climáticos.

Estos cambios pueden ser naturales, debido a variaciones en la actividad solar o erupciones volcánicas grandes. Pero desde el siglo XIX, las actividades humanas han sido el principal motor del cambio climático, debido principalmente a la quema de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas (UN, 2024).

Desde hace 40 años, cada nueva década ha sido más cálida que la anterior. 2023 fue el año más cálido jamás registrado, con una temperatura media mundial en torno a 1.45 °C por encima del promedio del período 1850-1900. Ello se debió, en gran medida, a la conjunción del cambio climático provocado por las actividades humanas y un episodio de El Niño, un fenómeno natural. El aumento de las temperaturas viene acompañado de olas de calor, crecidas, sequías, incendios forestales y ciclones tropicales que se intensifican rápidamente (OMM, 2024). Asimismo, a medida que el mundo se calienta a un ritmo más rápido que en ningún otro momento desde que hay registros, la salud humana está en primera línea, especialmente en las comunidades más vulnerables (OMM, 2023).

Las consecuencias del cambio climático incluyen, entre otras, sequías intensas, escasez de agua, incendios graves, aumento del nivel del mar, inundaciones, deshielo de los polos, tormentas catastróficas y disminución de la biodiversidad (UN, 2024).

Se ha documentado que el ritmo del cambio climático aumentó de forma alarmante entre 2011 y 2020, que fue la década más cálida registrada. Las concentraciones cada vez mayores de gases de efecto invernadero impulsaron temperaturas récord

en la tierra y los océanos y aceleraron drásticamente el derretimiento del hielo y el aumento del nivel del mar. El informe se basa en análisis de datos físicos y evaluaciones de impacto de decenas de expertos de los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales, los Centros Climáticos Regionales, las Oficinas Nacionales de Estadística y los asociados de las Naciones Unidas, y ofrece una perspectiva a más largo plazo y trasciende la variabilidad anual del clima (OMM, 2023a).

Así, desde comienzos del verano de 2023, una de las sequías más severas a las que México se ha enfrentado en más de una década comenzó a afectar al país. Durante el siguiente año, la sequía se intensificó y se extendió ampliamente. Una sequía clasificada como “extrema” y “excepcional”, según el Monitor de Sequía de América del Norte, afectó a los estados de Sonora, Chihuahua, Sinaloa y Durango, en el norte de México, así como Tamaulipas, San Luis Potosí, Guanajuato, Querétaro e Hidalgo (NASA, 2024).

Con este breve contexto de la variabilidad emitida por la OMM, las sequías, tema de esta investigación, son una parte normal del clima y pueden darse en todos los regímenes climáticos del mundo, incluso en desiertos y bosques lluviosos, las cuales se caracterizan por su gravedad, localización, duración y desarrollo cronológico. Pueden ser ocasionadas por varios procesos hidrometeorológicos que suprimen la precipitación o limitan la disponibilidad de agua superficial o subterránea, de manera que aparecen condiciones mucho más secas de lo normal o se limita de otra manera la humedad disponible hasta un punto potencialmente perjudicial (OMM, 2016).

Por lo tanto, la sequía no debe verse como un problema, sino, como una condición natural de muchas regiones del mundo entero, y se deben a una disminución o ausencia de precipitación e incremento de la evaporación.

Una definición específica no es precisa debido a los múltiples factores que la originan, sin embargo, los datos climáticos que se emplean para su cálculo son la precipitación, temperatura y humedad del aire, evaporación y evapotranspiración, velocidad del viento, entre otros (Bravo *et al.*, 2006).

Campos (2020) señaló que las sequías son eventos climáticos extremos recurrentes que acontecen en todas las localidades del mundo, caracterizados por una

precipitación menor que la normal y cuya duración abarca varios meses o algunos años. Son una de las principales causas naturales de daños en la agricultura, en las actividades económicas y en el medio ambiente. Es una condición temporal, que se asocia con alteraciones en los sistemas meteorológicos que controlan el clima a nivel macro, meso o microescala.

Con base a los efectos que genera se ha clasificado la sequía en: meteorológica, agrícola, hidrológica, económica, social; en todas ellas el déficit de agua es el factor que define la magnitud del impacto de orden antropocéntrico (Bravo *et al.*, 2006).

En el caso de las sequías meteorológicas de una zona, es el lapso de meses o años durante el cual la precipitación que ocurre es inferior a la que comúnmente acontece. Por su evolución lenta, es difícil precisar su inicio y final, así como estimar sus características de severidad y extensión territorial (Campos, 2020), y es preciso diferenciarla de la aridez, que es una condición permanente de déficit de agua, por lo que las sequías vuelven más vulnerables a las zonas semiáridas y áridas del país y del mundo entero (Bravo *et al.*, 2006).

Ahora bien, la sequía se presenta de forma temporal, al inicio de la primavera y termina regularmente a principios de junio, es recurrente, ocurre cada año por el comportamiento climático, a esta sequía se le denomina *sequía estacional* (OpEPA, 2023).

Mientras que, *sequía intraestival o veranillo*, es un caso particular de sequía que ocurre en una amplia región de Mesoamérica y el Caribe. Se trata de un fenómeno climático que constituye una amenaza regional, pues sus impactos pueden ser tan grandes que históricamente han provocado el desplazamiento de miles de personas, muerte de ganado y pérdidas de cultivos a gran escala. Llamada así porque hace muchos años el fenómeno coincidía con la aparición de la constelación *Canis Major* en el firmamento, la *canícula* se origina regularmente en medio del verano porque es cuando las condiciones climáticas en la región propician la aparición de algunos anticiclones. Si los ciclones ocasionan lluvias torrenciales, los anticiclones hacen lo contrario, y es por eso que, en los llamados 40 días más calurosos del año, se

observan cielos muy despejados y disminuye drásticamente la precipitación a mitad del verano (Morales, 2022).

Pero estos dos tipos de sequía por su temporalidad de ocurrencia, su presencia está relacionada con los parámetros climáticos regionales, entre los más impactantes están la precipitación media anual (PMA) y la evapotranspiración potencial media anual (ETP) (Campos, 2020); de ahí, que la regularidad de los registros meteorológicos son clave para realizar un análisis preciso de la ocurrencia de este fenómeno climático.

Objetivo

Comparar el comportamiento de la temperatura, precipitación y evapotranspiración del 2019 al 2024, con respecto a sus valores normales, para detectar la presencia de las sequías en Cuautitlán Izcalli, Estado de México.

Materiales y métodos

Se utilizaron los datos capturados en la estación meteorológica Almaraz de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM (FES-C), del periodo de enero de 2019 a agosto de 2024, y el promedio mensual normal de julio de 1987 a agosto de 2024; se consideraron los datos promedio mensual de precipitación (Pp), temperatura, evaporación (Ev), y se calculó la evapotranspiración (ETP) por el método del tanque ($ETP = Ev * 0.5$), con un valor del coeficiente C de 0.75, de acuerdo con Aguilera y Martínez (1996).

Resultados

En la Figura 1 se presentan los datos normales de la temperatura ambiental registrada desde julio de 1987 hasta agosto de 2024 (Figura 1A), asimismo, las anomalías presentes en la temperatura media mensual en el periodo 2019-2024 vs los datos normales (Figura 1B). Se observa que las mayores temperaturas máximas mensuales corresponden de febrero a mayo, periodo del año en que se presenta la sequía estival.

Mientras que la temperatura mínima promedio mensual aumenta en el periodo de verano.

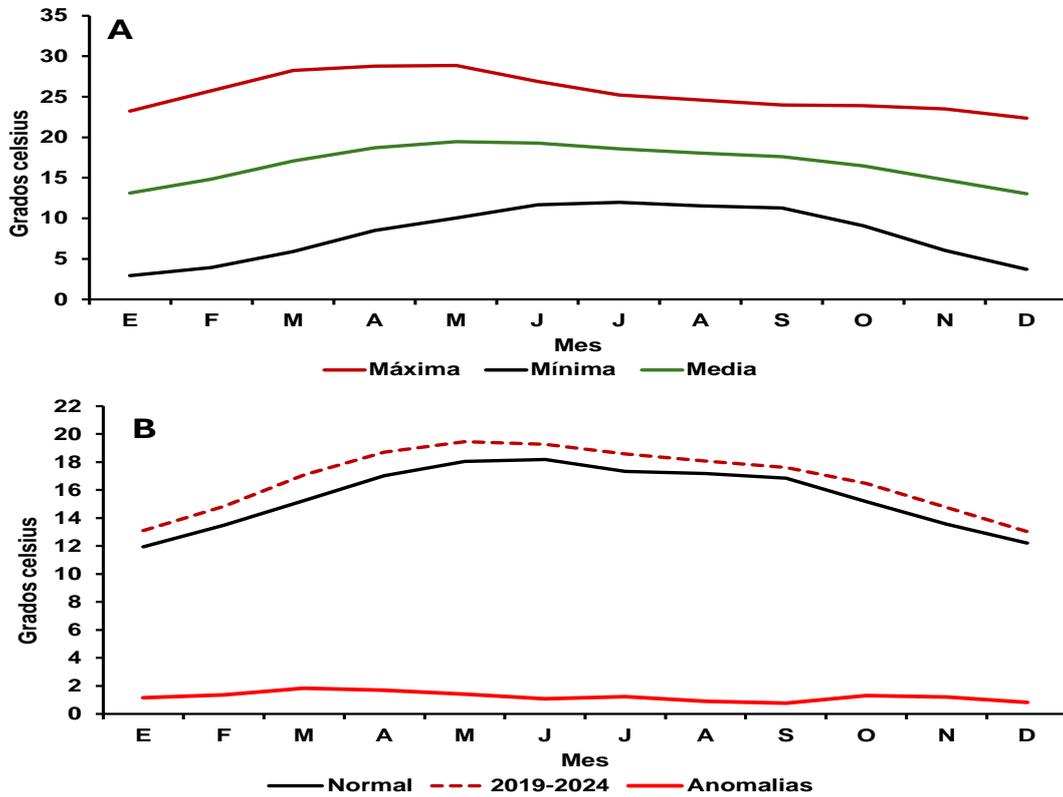


Figura 1. Temperatura ambiental. Estación meteorológica Almaraz. Cuautitlán Izcalli, Méx.

A) temperatura máxima, media y mínima promedio mensual 1987-2024.

B) anomalía de la temperatura media mensual normal vs media mensual 2019-2024.

Durante el periodo de 2019-2024 se observó la presencia de anomalías positivas en la temperatura durante todo el año, que oscilaron entre 0.8 a 1.8 °C para septiembre y diciembre, y marzo, respectivamente.

Con respecto a la ocurrencia de la precipitación, se presenta en la Figura 2 los datos promedio mensual del periodo de 2019-2024 respecto a sus valores normales, y la anomalía de precipitación presente durante este último periodo. El inicio del temporal de lluvias se ha retrasado en los últimos años, como se observa en la Figura 2.

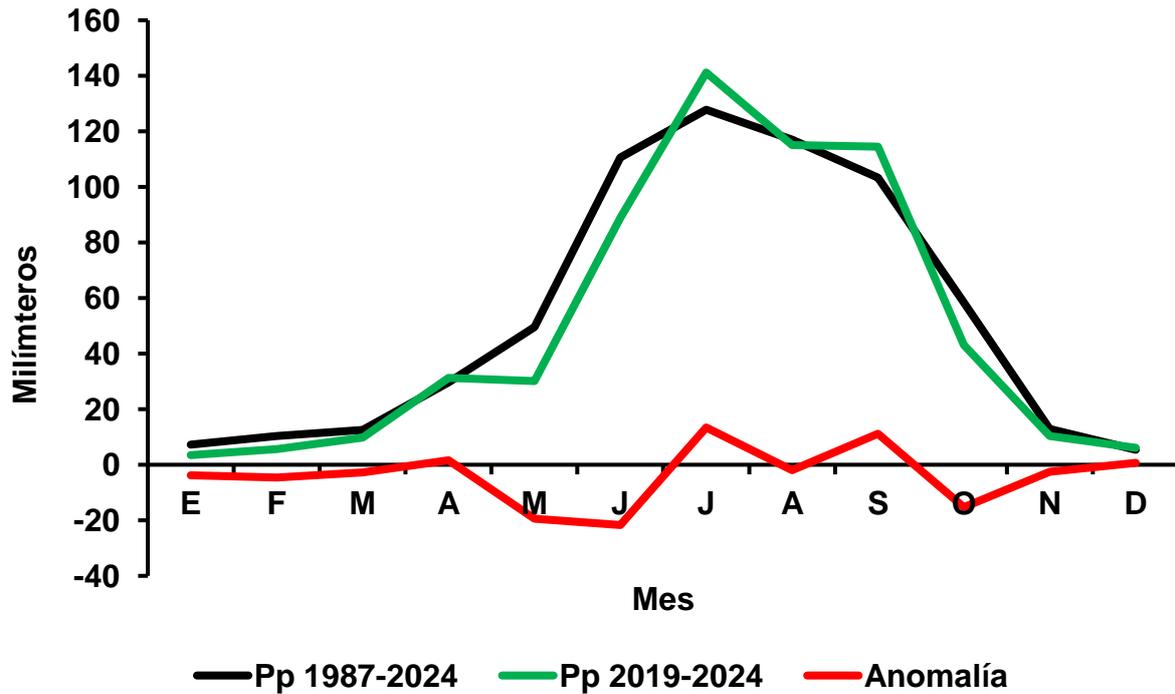


Figura 2. Precipitación promedio mensual de 1987-2024 y 2019-2024, estación meteorológica Almaraz. Cuautitlán Izcalli, Méx.

En la Figura 3 se presentan los valores de precipitación y evapotranspiración promedio mensual ocurridos en este periodo de 2019-2024, y donde se observa que a la época de lluvias le antecede un periodo de sequía que abarca del mes de febrero a mayo; se nota que la precipitación sobrepasa el valor de evapotranspiración en el mes de julio y enseguida la precipitación disminuye, lo que indica la presencia de sequía intraestival, aunque la mayoría de los años esta presenta es casi imperceptible, sin embargo, en estos últimos años ha sido muy evidente su presencia y consecuencias en el sector agrícola, por ejemplo.

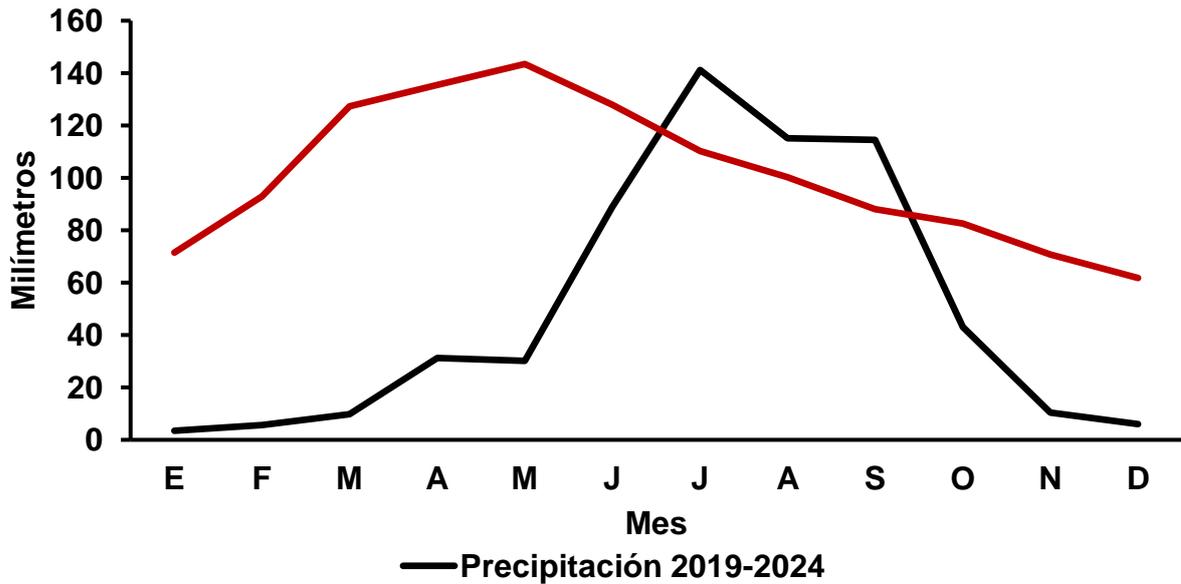


Figura 3. Precipitación y evapotranspiración promedio mensual de enero de 2019 a agosto de 2024, estación meteorológica Almaraz. Cuautitlán Izcalli, Méx.

En la Tabla 1 se sintetizan los datos obtenidos para las variables climáticas que se analizan en esta investigación. En resumen, se observan valores mayores de temperatura en los últimos años que su valor normal, lo que deja evidencia de este calentamiento que la OMM ha venido advirtiendo a la comunidad en general. Asimismo, la precipitación disminuyó afectando la producción agropecuaria en la zona de estudio.

**Tabla 1. Datos de precipitación (Pp), temperatura media y evapotranspiración (ETP).
Estación meteorológica Almaraz. Cuautitlán Izcalli, Méx**

Mes	Pp normal (mm)	Pp 2019-2024 (mm)	Anomalía de la pp (mm)	ETP (mm)	Temperatura media normal (°C)	Temperatura media 2019-2024 (°C)	Anomalía de la temperatura (°C)
Enero	7.3	3.5	-3.8	71.49	11.9	13.1	1.2
Febrero	10.3	5.7	-4.6	92.87	13.5	14.8	1.4
Marzo	12.5	9.8	-2.7	127.33	15.3	17.1	1.8
Abril	29.6	31.2	1.6	135.51	17.0	18.7	1.7
Mayo	49.6	30.1	-19.5	143.47	18.1	19.5	1.4
Junio	110.6	88.9	-21.7	127.87	18.2	19.3	1.1
Julio	127.8	141.2	13.4	110.21	17.3	18.6	1.2
Agosto	117.0	115.1	-1.9	100.20	17.2	18.1	0.9
Septiembre	103.4	114.5	11.1	88.09	16.8	17.6	0.8
Octubre	58.4	43.1	-15.3	82.60	15.2	16.5	1.3
Noviembre	12.9	10.4	-2.5	70.76	13.6	14.8	1.2
Diciembre	5.4	6.1	0.7	61.78	12.2	13.0	0.8

Discusión

Con base a los datos anteriormente expuestos, se observa que la ocurrencia de las sequías es un tema recurrente en la zona de estudio, que obedece, por un lado, a los patrones meteorológicos globales que les dan carácter natural y, por lo tanto, la sociedad en su conjunto vive año con año. No es una anomalía climática, sino parte del sistema climático global (Hernández *et al.*, 2007).

El incremento de la temperatura ambiental ha sido más frecuente en estos últimos años, ya la OMM (2023) consignaba que el año 2019 fue el más caliente a nivel global, 2023 vino con valores mayores de temperatura ambiental; sin embargo, con datos de la estación meteorológica de la FESC, en 2024 se presentaron 4 días por arriba de la máxima extrema que se tenía registrada, que era de 34.0 °C presente el 8 de mayo de 1998, y fue el 25 de mayo de 2024 que se tuvo un valor de 35.6 °C, después de cuatro días donde también se había superado aquella temperatura de mayo de 1998. El efecto de la sequía estival presente en la parte central del país se exacerbó por esas altas temperaturas, lo que afectó sensiblemente a la población en general.

Los sistemas de producción agrícola dependen de que las condiciones ambientales sean propicias para su buen desarrollo, esto es, dichas condiciones determinan la existencia del ciclo otoño-invierno, donde el abastecimiento de agua a los cultivos se

realiza por medio de aplicación de riegos a lo largo del ciclo del cultivo, y las épocas de siembra y cosecha dependen de la disponibilidad y ausencia de humedad, respectivamente. Y, por otro lado, el ciclo primavera-verano, donde la siembra de los cultivos depende de la disponibilidad de agua para la siembra (si se cuenta con riego de auxilio para la siembra estas se pueden adelantar), pero el desarrollo de los cultivos dependerá exclusivamente de la precipitación que ocurra durante todo su ciclo de crecimiento y desarrollo (Figura 4).

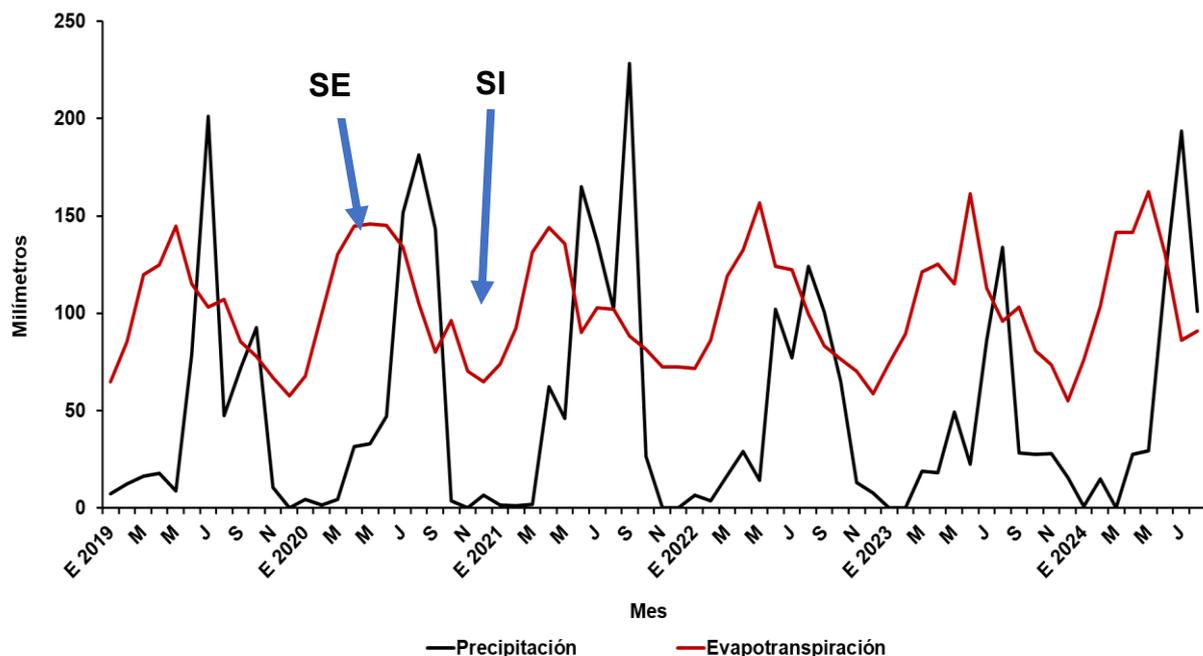


Figura 4. Ubicación de la sequía estival (SE) e intraestival (SI), de enero de 2019 a agosto de 2024, estación meteorológica Almaraz. Cuautitlán Izcalli, Méx.

En este sentido, las sequías son fenómenos naturales como se señaló anteriormente y donde el efecto de la temperatura está presente, y en conjunto con la precipitación, determinan la existencia de determinados cultivos para cada ciclo agrícola.

Ahora bien, el análisis de los datos normales muestra la ausencia gráfica de la sequía intraestival (Figura 5) lo que permite establecer que el temporal en el área de estudio es excelente, tanto en cantidad y distribución, sin embargo, en el análisis de los últimos cinco años se observa la presencia de esta sequía, la cual ha generado importantes pérdidas de cultivos, lo que permite considerar que el efecto del cambio

climático está presente, como vienen advirtiéndolo los reportes de la OMM (2023) y la NASA (2024).

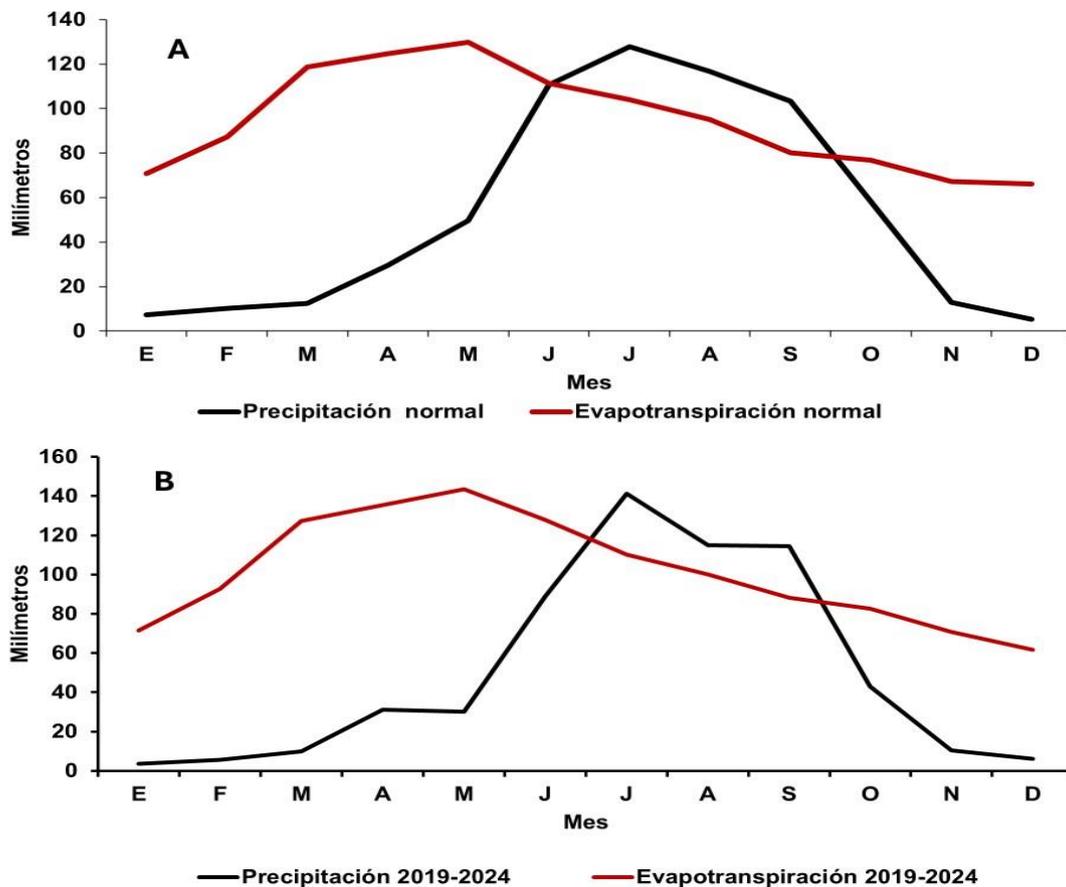


Figura 5. Ubicación de la sequía intraestival, A) datos normales; B) datos de 2019-2024, estación meteorológica Almaraz. Cuautitlán Izcalli, Méx.

La precipitación normal es de 644.7 mm, pero en los últimos años este valor ha disminuido a un valor promedio de 599.5 mm, y es durante el año de 2023 cuando se tuvieron sólo 429.2 mm; asimismo, la ETP del periodo de 2019-2024 ha tenido un valor promedio mayor que el valor normal, esto es, 1,212.2 mm y 1,132.13 mm respectivamente, lo que representa mayor pérdida de agua para los cultivos y menor recarga para los acuíferos, en general. Por ello, deberá considerarse medidas para mejorar la captación, almacenamiento y conducción del agua, porque la seguridad hídrica es vital para la sociedad y la economía de los pueblos en general.

Conclusión

1. Se tiene presencia de sequía estival a principios del año, y esta se ha prolongado hasta mediados o finales del mes de junio, atrasando el inicio del temporal y las del ciclo P-V.
2. La presencia de la sequía intraestival ha limitado la productividad de los campos agrícolas, con lo cual las pérdidas económicas se incrementan con este fenómeno climático.
3. Las sequías son fenómenos naturales, asociadas con la disminución de las precipitaciones y el incremento de la evapotranspiración, y el incremento de la temperatura exacerba el efecto de estas en el ambiente en general.
4. Deben tomarse medidas para mitigar el efecto que el cambio climático genera en la presencia de las sequías, puesto que se presentan con mayor longitud en el tiempo y en el espacio, como se ha venido observando en los últimos años en la zona de influencia de la estación meteorológica de la FESC.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo al personal técnico de la estación meteorológica de la FES Cuautitlán, por los datos proporcionados para el desarrollo de este trabajo.

Referencias

- Aguilera, C.M., Martínez, E.R. (1996). *Relaciones agua, suelo, planta, atmósfera*. 4^a edición. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Méx.
- Bravo, L.A.G., Salinas, G.H., Rumayor, R.A. (2006). *Sequia: Vulnerabilidad, impacto y tecnología para afrontarla en el Norte Centro de México*. Libro Técnico No. 4. 2^a edición. Centro de Investigación Regional Norte-Centro. Campo Experimental Zacatecas. INIFAP. México. 310 pp.
- Campo, A.D.F. (2020). Evolución de los índices comunes de detección y seguimiento de sequías meteorológicas. *Tecnología y ciencias del agua*, 11(1): 375-409.
- Hernández, C.M.E., Carrasco, A.G., Alfaro, S.G. (2007). *Mitos y realidades de la sequía en México*. I.6.3. Temas Selectos de Geografía de México. Instituto de Geografía, UNAM, México.

Morales, G.F. (2022). *Canícula: qué es y cómo se pueden minimizar sus efectos*. En: <https://www.cimmyt.org/es/noticias/canacula-que-es-y-como-se-pueden-minimizar-sus-efectos/>. Consultado el 23 de agosto de 2024.

NASA (National Aeronautics and Space Administration). (2024). *La sequía deja sediento a México*. En: <https://ciencia.nasa.gov/cambio-climatico/la-sequia-deja-sediento-a-mexico/>. Consultado el 22 de agosto de 2024.

OMM (Organización Meteorológica Mundial). (2016). *Manual de indicadores e índices de sequía* (M. Svoboda y B.A. Fuchs). Programa de gestión integrada de sequías, Serie 2 de herramientas y directrices para la gestión integrada de sequías. Ginebra, Suiza. 54 pp.

OMM (Organización Meteorológica Mundial). (2023). *El cambio climático es perjudicial para la salud, pero los servicios climáticos salvan vidas*. En: <https://wmo.int/es/news/media-centre/el-cambio-climatico-es-perjudicial-para-la-salud-pero-los-servicios-climaticos-salvan-vidas>. Consultado el 20 de agosto de 2024.

OMM (Organización Meteorológica Mundial). (2023a). *The Global Climate 2011-2020: A decade of acceleration*. En: <https://wmo.int/publication-series/global-climate-2011-2020-decade-of-acceleration>. Consultado el 20 de agosto de 2024.

OMM (Organización Meteorológica Mundial). (2024). *Estado del clima*. En: <https://wmo.int/es/site/frontline-of-climate-action/state-of-climate>. Consultado el 21 de agosto de 2024.

OpEPA (Organización para la Educación y Protección Ambiental). (2023). *ABC de las sequías: qué son y cómo afectan nuestra vida*. En: <https://opepa.org/camino-hacia-carbono-neutral/noticias/abc-de-las-sequias-que-son-y-como-afectan-nuestra-vida/>. Consultado el 18 de agosto de 2024.

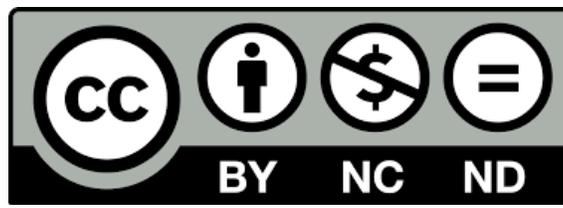
UN (Naciones Unidas). (s/f). *Acción por el clima*. En: <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change>. Consultado el 15 de agosto de 2024.



D. R. © UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

Excepto donde se indique lo contrario esta obra está bajo una licencia Creative Commons Atribución No comercial, No derivada, 4.0 Internacional (CC BY NC ND 4.0 INTERNACIONAL). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

Fecha de asignación de la licencia 2024-10-28, para un uso diferente consultar al responsable jurídico del repositorio por medio del correo electrónico unidadjuridicafesc@cuautitlan.unam.mx



ENTIDAD EDITORA

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.

Av. Universidad 3000, Universidad Nacional Autónoma de México, C.U., Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México.

FORMA SUGERIDA DE CITAR:

Mercado-Mancera, G., Jurado-Badillo, L. F., Camacho-Acosta, A. A., Morón-Rangel, M. A., y Pacheco-Guadarrama D. (2024). **LA SEQUÍA: ¿UN FENÓMENO NATURAL O PRODUCTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO?**. MEMORIAS DEL CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGÍA (CONATEC), Año 7, No. 7, septiembre 2024 - agosto 2025. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM.

https://tecnicosacademicos.cuautitlan.unam.mx/CongresoTA/memorias2024/Mem2024_Paper13.html