

Impactos del cambio climático en la producción de maíz en México

Alejandro Cruz-González^{1,§}

Ramón Arteaga-Ramírez¹

Ignacio Sánchez-Cohen²

Jesús Soria-Ruiz³

Alejandro Ismael Monterroso-Rivas⁴

1 Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Estado de México. CP. 56230. Tel. 712 2474131. (rarteagar@taurus.chapingo.mx).

2 Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera-INIFAP. Margen derecha canal Sacramento km 6.5, Zona industrial, Gómez Palacio, Durango. CP. 35140. Tel. 871 1590105. (sanchez.ignacio@inifap.gob.mx).

3 Laboratorio de Geomática-Sitio Experimental Metepec-INIFAP. Carretera Toluca-Zitácuaro, Zinacantepec, Estado de México. CP. 52176. (soria.jesus@inifap.gob.mx).

4 Departamento de Suelos-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Chapingo, Estado de México, México. CP. 56230. Tel. 595 9521633.

Autor para correspondencia: alex-cg20@hotmail.com

Resumen

Las actividades antropogénicas han sumado lo suficiente para ocasionar alteraciones importantes en el clima a nivel global, en los últimos 20 años se ha pronunciado un fenómeno de características extremas denominado 'cambio climático', el cual ha sido encargado de causar una variabilidad climática, cuyo nivel de afectación se extiende en todas las escalas geográficas. Esta investigación se realizó en el año 2022, teniendo como objetivo conocer los impactos del cambio climático en el sistema productivo del cultivo de maíz en México, dada su gran relevancia nutricional, cultural y económica. Se describe la variabilidad climática y los eventos extremos que ocurren en México y que de alguna manera tienen una relación directa con la producción del maíz, como la precipitación, temperatura, heladas, granizadas, sequías e inundaciones. A nivel mundial, México destaca en los primeros lugares en producción y consumo de maíz, la población actual supera los 126 millones de personas y resulta una condición que manifiesta una gran demanda, teniendo que realizar una fuerte exportación del grano año con año, poniendo en manifiesto la insostenibilidad de la seguridad alimentaria del país. Esta situación se agrava cuando el cambio climático y la variabilidad climática, afectan directamente en los requerimientos de mayor importancia para el establecimiento de un cultivo y que afectan directamente con todas las etapas de crecimiento y desarrollo, presentando una disminución del rendimiento actual y futuro.

Palabras clave:

Zea mays L., eventos extremos, mitigación y adaptación, seguridad alimentaria, vulnerabilidad.

Introducción

El clima de una región geográfica es el estado más frecuente de la atmósfera en un tiempo promedio o normal durante un largo período de tiempo (>30 años), el cambio climático, por lo tanto, es una modificación a largo plazo en el clima típico o promedio de una región (Santos y Bakhshoodeh, 2021). Las alteraciones antropogénicas como la industria, la agricultura excesiva, la deforestación, el uso de combustibles fósiles, entre otras, han llevado a cambios gradualmente acelerados en el clima, incluido un aumento en la temperatura promedio de la superficie terrestre, lo que se ha definido como cambio climático (IPCC, 2021; Abbass *et al.*, 2022). Este fenómeno no solo cambia el estado medio del clima, sino también su variabilidad, que se proyecta en aumento hacia una mayor extensión geográfica (Frieler *et al.*, 2017).

La variabilidad climática se refiere a las variaciones en el estado medio y otras estadísticas del clima en todas las escalas temporales y espaciales (IPCC, 2019). Este es uno de los principales fenómenos que ocurren en todo el mundo y que ha provocado cambios importantes en variables climáticas como la precipitación, la temperatura del aire, la humedad relativa y la radiación solar (Ochieng *et al.*, 2016). La variabilidad y los extremos climáticos son considerados una de las principales causas del origen de crisis alimentarias, especialmente en las regiones con mayor marginación e inseguridad alimentaria (Richardson *et al.*, 2018).

Estudios recientes han demostrado que la variabilidad climática se percibe con una mayor intensidad en las regiones agrícolas productivas que en las menos productivas, también se presentan otros factores que influyen en el rendimiento del cultivo, como plagas, enfermedades, tipo de labranza, baja fertilidad del suelo, disponibilidad de agua y aumento de los precios de los insumos (Kang *et al.*, 2013; Frieler *et al.*, 2017; Mills *et al.*, 2018).

La ocurrencia de eventos meteorológicos como; heladas, granizadas, sequías e inundaciones, resultan en perjuicios importantes para la producción agrícola, impactando durante varios años para la recuperación económica y financiera del deterioro ocasionado, además del problema social que desencadena (González-Celada *et al.*, 2021).

La producción de maíz depende en gran medida de las condiciones climáticas y de los eventos climáticos extremos, cuando las condiciones normales experimentadas por los cultivos cambian, pueden tener un impacto importante en su rendimiento (Harkness *et al.*, 2020; Baum *et al.*, 2020). La producción del cultivo de maíz, durante sus diferentes etapas de desarrollo, como la germinación y emergencia, crecimiento vegetativo, floración y fecundación, llenado de granos y madurez, son muy sensibles a los eventos climáticos extremos, estas condiciones, pueden reducir severamente el rendimiento del cultivo y afectar su calidad (Ureta *et al.*, 2020; Noein y Soleymani, 2022).

La sensibilidad antes mencionada, provoca modificaciones en el ciclo de siembra, debido a la variabilidad de las condiciones meteorológicas, así como cambios tanto positivos y negativos en los rendimientos para distintas regiones geográficas (Ye *et al.*, 2017; Leng, 2019; Wang *et al.*, 2021). El objetivo del presente ensayo consistió en realizar una revisión sobre el estado de arte en los impactos del cambio climático, asociados al sistema productivo del cultivo de maíz en México.

Desarrollo de la investigación

Esta investigación se obtuvo de fuentes confiables, como los informes más recientes del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización de las Naciones Unidas (ONU), informes de agencias estatales como el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) y del Instituto



Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), así como en las plataformas científicas Science Direct y Redalyc, consultando artículos de investigación centrados en el cambio climático y la agricultura.

Variabilidad climática y eventos extremos en México

Precipitación

En el territorio mexicano durante el periodo 2005-2021 se presentó una precipitación media anual de 778.2 mm, con un promedio de 400.4 mm en el noroeste, 554.3 mm en la región noreste, 811.2 mm en la región este, 880.5 mm en el centro y 1 567 mm para el sur (CONAGUA, 2022). La región del sur y centro de México, históricamente son las que presentan una mayor cantidad de precipitación acumulada anual, esta situación se debe a la abundancia de ciclones tropicales, tanto en el Océano Pacífico como en el Golfo de México, la temporada de lluvias corresponde a los meses de junio, julio, agosto, septiembre y octubre (Monterroso y Conde, 2015).

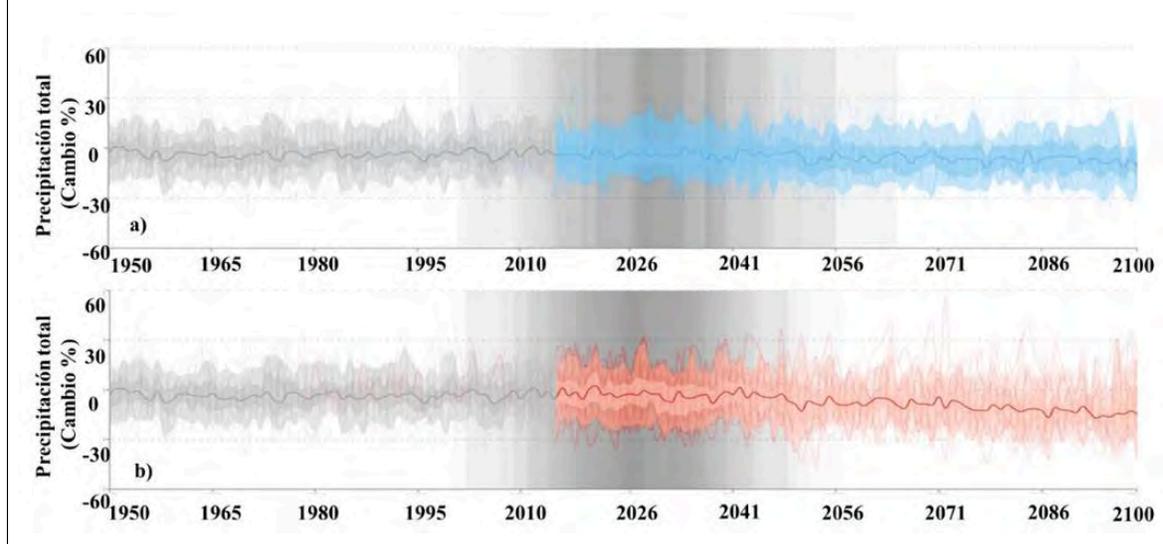
Evidencias de Cuervo-Robayo *et al.* (2020), identificaron que la región Neotropical de México (provincias de la Costa del Pacífico, Golfo de México, Depresión del Balsas, Oaxaca, Altos de Chiapas y la Península Yucatán) ha presentado una disminución más pronunciada en la precipitación durante el periodo 1980-2009. Esta situación se proyecta en el futuro, se esperan anomalías negativas en la precipitación, con una variabilidad incierta del fenómeno del niño y la niña, causando eventos hidrometeorológicos con características extremas en todo el país (Zúñiga y Magaña, 2018).

La Figura 1 muestra las proyecciones del total de precipitación anual hasta el final del año 2100, con base en observaciones del periodo 1850 a 1900, empleando los modelos de circulación general (MCG) del proyecto de intercomparación de modelos acoplados (CMIP6) de <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>. Estos escenarios están disponibles en los distintos MCG del último informe del sexto informe del plan de desarrollo (IPPC), considerando dos niveles de trayectoria socioeconómica compartida (ssp), ssp2-4.5 (medio) y ssp5-8.5 (alto) (IPCC, 2022).

Estos valores se derivan de un promedio de 32 MCG, los cuales indican que, para el escenario ssp2-4.5 a finales de 2100, se podría esperar una disminución general de la precipitación hasta de 10% en el territorio mexicano (Figura 1a), mientras que esta situación podría ser de mayor impacto en el escenario ssp5-8.5 (Figura 1b), con una disminución general de hasta 20% de la precipitación acumulada a finales del siglo XXI, lo que proyecta un grave problema para la producción de maíz en temporal y riego.



Figura 1. Escenarios de cambio climático del CMIP6 para México, variable: precipitación acumulada anual. a) forzamiento ssp2-4; y b) forzamiento ssp5-8.5 (<https://interactive-atlas.ipcc.ch/>).



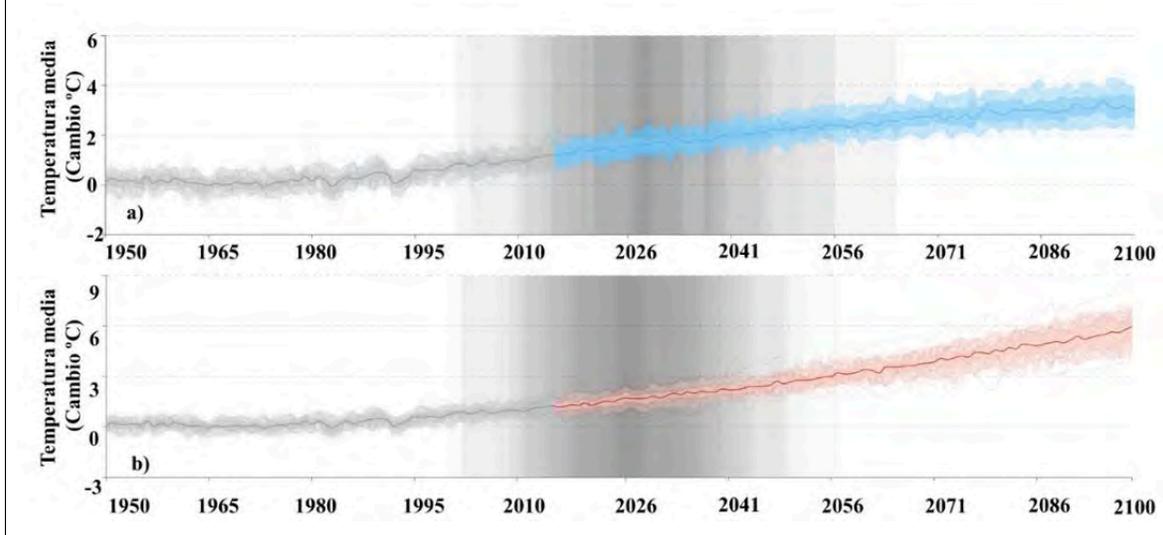
Temperatura

La CONAGUA (2022) reportó que durante el periodo 2005-2021, la temperatura media anual para México fue de 22 °C, presentándose promedios desde 25.2 °C en la región sur hasta las temperaturas más bajas con 17.6 °C en la región centro. Lobato-Sánchez *et al.* (2017) analizaron la anomalía de 112 estaciones meteorológicas distribuidas en todo el país, durante un periodo de 64 años (1950-2013), de estas, 84 corresponden a anomalías positivas (calentamiento) y 28 a negativas (enfriamiento), el mayor cambio de la temperatura, con valores entre 1 y 3 °C, se presentó en el norte y noroeste, siendo las regiones más afectadas, seguido por las regiones centro y pacífico, con rangos de incremento entre 1 y 2 °C, y con los menores cambios en la costa del Golfo de México, siendo menor a 1 °C.

El Programa de Investigación en Cambio Climático de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), ha identificado una anomalía en la temperatura media anual, en la que indica que, hasta el año 2021 se ha registrado un aumento en la temperatura promedio en el país de 1.31 °C desde el año 1910 (PINCC, 2022). De acuerdo al IPCC, las proyecciones futuras obtenidas mediante la simulación de los MCG del CMIP6 para modelar la temperatura media de México, indican que a partir de la trayectoria ssp2-4.5, (Figura 2a), se espera un incremento en la temperatura media de hasta 3 °C hacia el año 2100, mientras que el forzamiento a la trayectoria ssp5-8.5 (Figura 2b), se proyecta un incremento de hasta 6 °C al finalizar el presente siglo, poniendo en riesgo la vida de múltiples ecosistemas además de la producción agrícola (IPCC, 2022).



Figura 2. Escenarios de cambio climático del CMIP6 para México, variable= temperatura media. a) trayectoria ssp2-4.5; y b) trayectorias ssp5-8.5 (<https://interactive-atlas.ipcc.ch/>).



Eventos extremos

En México es común que se presenten eventos de tipo hidrometeorológicos; inundaciones, sequías, heladas y granizadas son los de mayor impacto sobre la producción de maíz, estos eventos se han percibido con una mayor intensidad y recurrencia en los últimos 20 años, teniendo afectaciones en diferentes regiones en donde son muy comunes y en algunas otras son considerados como fenómenos atípicos o eventos extremos (Monterroso y Conde, 2015; CENAPRED, 2020).

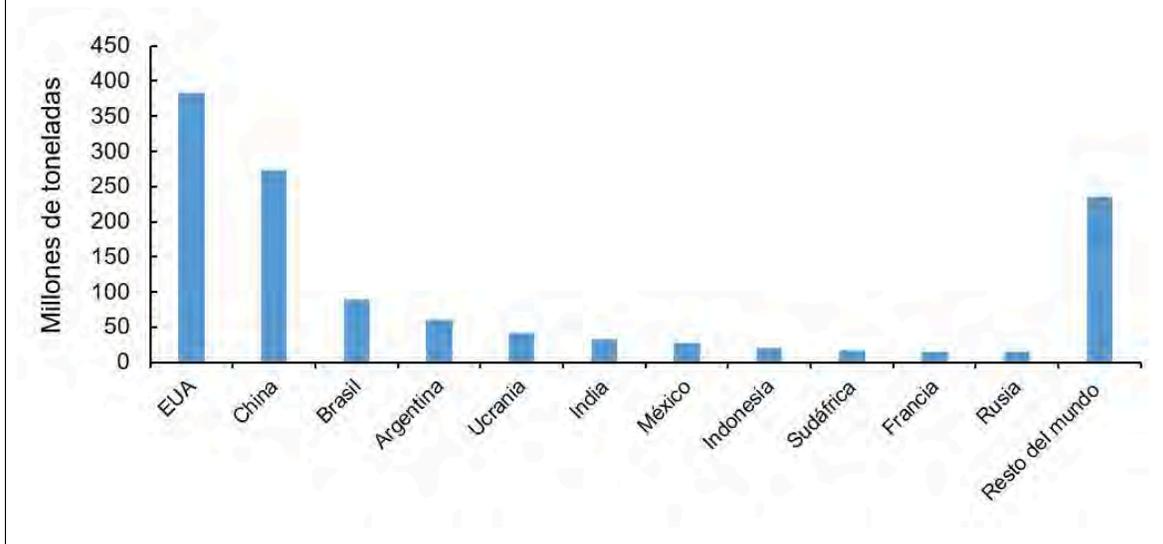
Los eventos extremos, cuando impactan sobre la producción de maíz, implican una considerable disminución en la cantidad y calidad del producto, incluso se llega a tener pérdidas totales, lo que provoca una reducción de la actividad industrial por la escasez de insumos, una elevación de precios agrícolas y un aumento de la importación de granos, además de que se condiciona la seguridad alimentaria y al bienestar socioeconómico de los productores y consumidores (CENAPRED, 2014).

Producción de maíz en el mundo y en México

El maíz es uno de los cultivos alimentarios más importantes del mundo, en el año 2021, representó el 40% de la producción mundial de cereales, es considerado como el cultivo más importante en términos de volumen de producción y consumo humano, en el mismo año, la superficie cultivada en el mundo fue mayor a 1 600 millones de hectáreas, de las cuales el 50.9% se destinó a la siembra de cereales, siendo el maíz y el trigo los dos más importantes con el 29.7% y 29.1% respectivamente, México ocupó el séptimo lugar en los mayores productores de maíz como se observa en la Figura 3 (Ureta *et al.*, 2020; FAO, 2023).



Figura 3. Producción mundial de maíz año 2021 (FAO, 2023).



Los registros estadísticos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) indican que, en el año 2020, en México se alcanzó una producción de 21 885 170 t de maíz grano, con una superficie sembrada de 7 481 137 ha, la Figura 4, muestra a los principales estados productores, Sinaloa (28.6%), Jalisco (9.7%), Guanajuato (7.1%), Michoacán (6.6%) y el Estado de México (5.6%) (SIAP, 2020). Durante el periodo 2005 a 2020, se sembró una superficie promedio de 7.3 millones de hectáreas de maíz, de las cuales el 20.4% (1.5 millones de ha) corresponden a riego, mientras que el 79.6% (5.8 millones de hectáreas) se desarrolló en condiciones de temporal (Figura 5), con un rendimiento promedio de 7.7 t ha⁻¹ y 2 t ha⁻¹ respectivamente, dando como resultado una producción promedio de 18.1 millones de toneladas (SIAP, 2020).

En este mismo periodo de tiempo, el consumo promedio de maíz blanco fue de 22 millones de toneladas y de maíz amarillo fue de 14 millones de toneladas, por lo que se identifica un déficit promedio de 17.9 millones de toneladas, las cuales se importaron anualmente para satisfacer la demanda en el país (Reyes *et al.*, 2022).



Figura 4. Principales productores de maíz en México (SIAP, 2020).

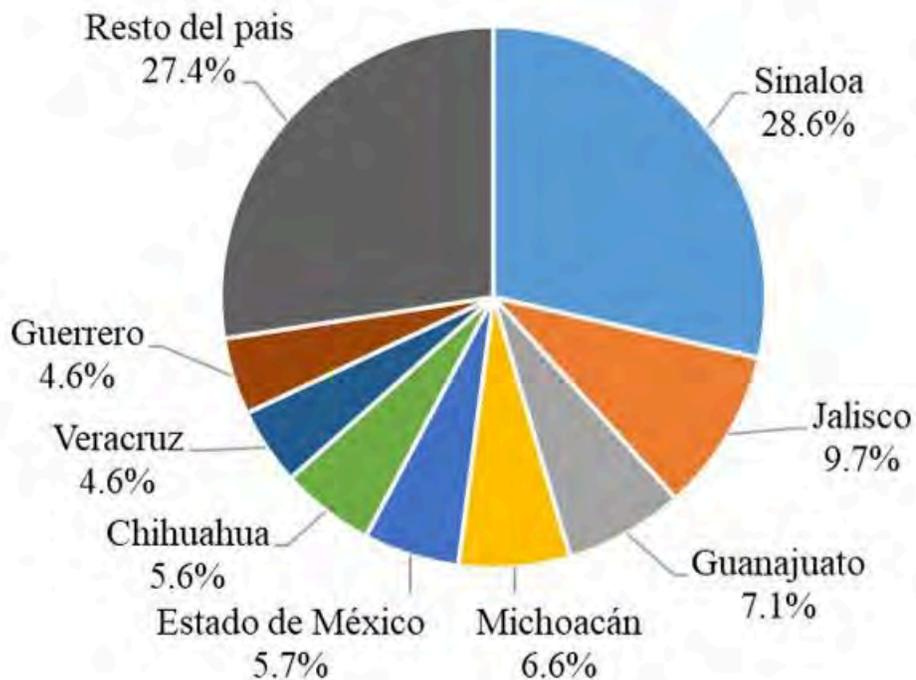
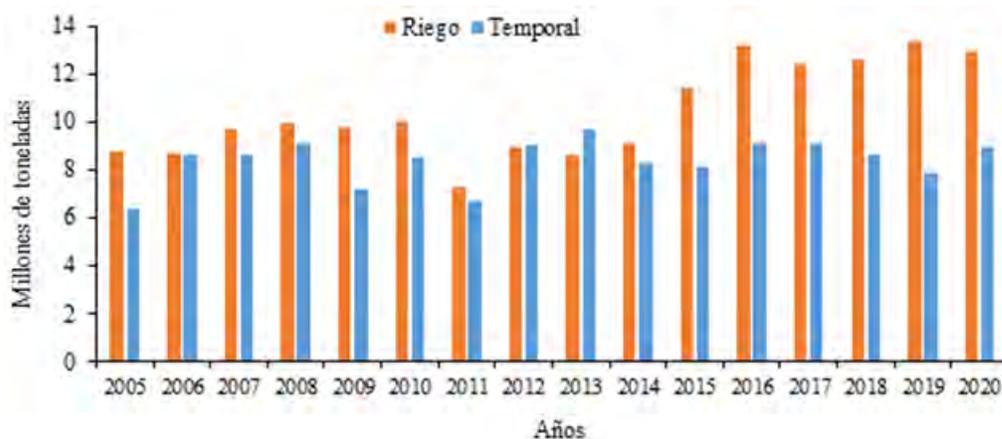


Figura 5. Producción histórica de maíz en México, comparativa entre riego y temporal (SIAP, 2020).



Efectos del cambio climático en el cultivo de maíz

A nivel global se ha identificado que el cambio climático y la variabilidad climática, influyen directamente en los requerimientos de mayor importancia para el establecimiento de un cultivo y que afectan directamente a todas las etapas fenológicas, se ha identificado que las fases de crecimiento y floración de las plantas son las de mayor vulnerabilidad ante los eventos climáticos extremos (Mastachi-Loza *et al.*, 2016).

Esta situación impacta considerablemente en la producción de maíz, ya que este cultivo es sensible a condiciones climáticas adversas como estrés hídrico, calor, heladas, granizadas y sequía, lo cual,

puede reducir potencialmente los rendimientos e incluso condicionar la producción. Los aumentos sostenidos de temperatura y la disminución de agua en el suelo pueden modificar el ciclo fenológico del maíz, impactando de manera negativa en los rendimientos del grano (Leng, 2019; Lv *et al.*, 2020; Baum *et al.*, 2020; Noein y Soleymani, 2022).

La variabilidad climática adelanta o retrasa la época de siembra del maíz, pospone el tiempo de cosecha, y generalmente acorta la fase del crecimiento vegetativo, alargando la fase de crecimiento reproductivo, además se ha identificado que el cultivo presenta cambios en los tiempos de germinación, emergencia, formación de panojas y madurez de la planta (Lizaso *et al.*, 2018; Lv *et al.*, 2020).

Se han empleado software especializados para simular el cultivo de maíz a partir de escenarios de cambio climático, en los cuales, ha sido posible demostrar, que el aumento de la temperatura y los cambios en los patrones de precipitación, son los principales factores que influyen en el ciclo fenológico del maíz, lo que impacta de acuerdo a la latitud geográfica en la que se desarrolle, pues en latitudes altas, se han observado ciclos de crecimiento más largos y beneficiosos, mientras que en latitudes bajas se presenta un ciclo de producción más corto y con menores rendimientos (Welikhe *et al.*, 2016; Nandan *et al.*, 2021; Wilson *et al.*, 2022). Los incrementos de temperatura se traducirían en incrementos de grados día de desarrollo (GDD) para el maíz, un aumento en la acumulación de GDD tiene un impacto sobre el rápido desarrollo de la fenología del maíz, reduciendo su ciclo de vida (Ruiz *et al.*, 2011).

Esta situación impacta de manera importante, ya que el cultivo de maíz reduce su tiempo para hacer uso de los recursos disponibles para el máximo crecimiento, desarrollo y rendimiento de su potencial genético (Welikhe *et al.*, 2016).

La tesis de Ruiz *et al.* (2011) refieren que un aumento de la temperatura ambiente afecta la fenología del maíz y su rendimiento, ya que, al disminuir el tiempo del ciclo de madurez, se reducen las fases de vida, disminuye el área foliar, se limita la producción de fotosintatos, la producción de biomasa y llenado de grano. Aunado a la situación anterior, en general, un aumento en los niveles de temperatura y precipitación favorece el crecimiento y la distribución de especies de plagas y malezas al propiciar un ambiente cálido y húmedo, lo cual, enriquece las condiciones necesarias para su desarrollo y adaptación (Skendžić *et al.*, 2021).

Considerando el aspecto del agua, Villalobos-González *et al.* (2017) mencionan que el déficit hídrico en el maíz provoca una reducción de la expansión del área foliar, un retraso en las etapas de anthesis y floración femenina, una reducción en el rendimiento de grano y el número de granos por mazorcas. Çakir (2004) encontró que los déficits de agua durante el período de crecimiento vegetativo pueden ocasionar pérdidas de 28% al 32% del peso final de materia seca, mientras que, durante la formación de espiga, estas afectaciones podrían ser mayores.

Impactos del rendimiento de maíz ante el cambio climático

Resultados de Ureta *et al.* (2020) identificaron que las afectaciones del cambio climático hacia el cultivo de maíz tendrán impactos negativos en el rendimiento ($t\ ha^{-1}$) en los campos de secano, mientras que en los campos de regadío permanecerá estable, siempre que la condición del agua no se vea limitada. Un impacto muy importante en la modelación futura del maíz es el aumento de los GDD a causa de los incrementos de la temperatura, así, los GDD acumulados durante mayo-octubre en la región subtropical, que actualmente alberga las áreas maiceras de temporal más productivas del país (Jalisco, Guanajuato y Michoacán), pasarán de 2061 GDD del periodo histórico 1961-2003 a 2190, 2163 y 2410 GDD promedio en las décadas de 2011-2020, 2031-2040 y 2051-2060, respectivamente (Ruiz *et al.*, 2011).

Murray-Tortarolo *et al.* (2018) modelaron la relación entre el clima y la agricultura de secano a partir de cuatro trayectorias de concentración representativas (RCP), en la cual, se proyectó que las precipitaciones en todo el país, tendrán una disminución ligera mediante los RCP 2.6 y 4.5, mientras que con los RCP 6.0 y 8.5 se prevé sea una reducción severa, como resultado, se predijo que los rendimientos del maíz en secano disminuirían en todo el país hasta en -10% mediante

el RCP 2.6, con reducciones regionales de hasta un -80% con el RCP 8.5, aunque en algunas regiones podrían mantenerse o incluso tener un aumento hasta del 1.5% hacia el año 2100.

Identificaron Ruiz *et al.* (2011) mediante una proyección futura al 2050, que de cinco zonas productoras de maíz en México, tres presentarían un impacto negativo en la producción de este cereal, en las zonas agrícolas de trópico (< 1 200 msnm) y subtropical (1 200 a 1 900 msnm) se debe al aumento en temperatura, en la zona de transición (1 900 a 2 200 msnm) a causa de un balance hídrico negativo, mientras que, se pronostican condiciones óptimas para maíz, al incrementar las variables que favorecen al cultivo (precipitación, evapotranspiración e índice de humedad) en las zonas de valles altos (2 200 a 2 600 msnm) y valles muy altos (> 2 600 msnm).

Mediante proyecciones climáticas Arce-Romero *et al.* (2018) estimaron los rendimientos de maíz para el centro de México, se identificó un mayor rendimiento hacia el horizonte cercano (2020-2039), con el escenario RCP 8.5, por lo que, el incremento de la temperatura podría beneficiar a corto plazo, se espera que para el horizonte medio (2045-2069) con los RCP 4.5 y 8.5, se presente una reducción del rendimiento de hasta -1.5 t ha^{-1} con respecto a la producción de referencia, lo que conlleva a una disminución del 46.7%, mientras que para el horizonte lejano (2075-2099), con el RCP 8.5 se prevén rendimientos de cosecha de hasta 1.6 t ha^{-1} .

Medidas de adaptación y mitigación al cambio climático

La adopción de estrategias de adaptación y mitigación al cambio climático, tienen el principal enfoque de aumentar la productividad agrícola, así como también, desarrollar la capacidad de resiliencia de los agricultores ante este fenómeno, es una tarea importante y necesaria para preservar en el futuro esta actividad, con el propósito de garantizar la sostenibilidad alimentaria de un pueblo (Bedeke *et al.*, 2019).

Estudios como los de Adeagbo *et al.* (2021) recomiendan algunas prácticas para minimizar el impacto del cambio climático en la producción de maíz; cultivos intercalados, rotación de cultivos, realizar una plantación temprana, utilizar variedades tolerantes a sequía, cambiar tipo de fertilización química a orgánica, incorporación de materia orgánica, labranza mínima o de conservación, agrosilvicultura, sistemas de irrigación y prácticas de conservación de agua y suelo. Estas estrategias son aplicadas a nivel de parcela y pueden interrelacionarse entre sí ya sea de manera simultánea o secuencialmente (Bedeke *et al.*, 2019). En México, los campesinos tienen una capacidad variable según su experiencia, para adaptarse y responder a los efectos del cambio climático mediante diferentes prácticas heredadas culturalmente (Mastachi-Loza *et al.*, 2016).

Para minimizar las pérdidas en la producción de maíz, se podrían implementar programas que mejoren la tecnología de producción actual, acondicionar las regiones con mayor impacto mediante estrategias como el manejo de germoplasma regional y exótico-adaptado, cambio de fecha de siembra, aplicación o aumento de coberturas orgánicas, migrar a nuevas zonas de oportunidad para realizar esta actividad y mantener los costos de inversión (Ruiz-Corral *et al.*, 2011; Arce-Romero *et al.*, 2018; Ureta *et al.*, 2020).

Autores como Ruiz-Corral *et al.* (2011) desarrollaron un dendrograma de 48 variedades mexicanas de maíz criollo, considerando cuatro variables agroclimáticas, en el cual se determinó que la producción de maíz ante el cambio climático, se concentrará en el futuro en ambientes con altas temperaturas y humedad deficiente, por lo cual, recomienda trabajar con la genética de las razas: Chapalote, Blando de Sonora, Tuxpeño Norteño, Onaveño, Ratón, Dulcillo del Noroeste, Dzit Bacal y Elotero de Sinaloa, las cuales, presentan una mejor respuesta y adaptación a estas condiciones naturales en cada zona productora.

Incertidumbres futuras en la seguridad alimentaria

Las pérdidas totales o parciales en cultivos de maíz, afectan severamente la economía del agricultor, pues en muchas ocasiones es su única fuente de ingreso o en su caso, su única fuente de subsistencia (FAO, 2017). Este fenómeno aumentará la brecha de lograr algunos objetivos de la Agenda de Desarrollo Sostenible, fin de la pobreza, cero hambre, salud y bienestar (ONU, 2016).

La FAO (2017) menciona que la seguridad alimentaria de una región se ve comprometida por la escasez o disminución de cultivos básicos, el INEGI (2020), reportó que la población de México fue de 126 014 024 personas, las cuales se abastecen del maíz que se cultiva y se cosecha en el país. El consumo per cápita anual de maíz es de 120.5 kg al año, se considera que el 94% de la población lo consume en tortillas, es un elemento básico en la mesa de todas las familias y pilar en la ganadería mexicana (Ortiz-Rosales y Ramírez-Abarca, 2017).

La CONAPO (2019) reporta que el crecimiento poblacional en México para el año 2050, alcanzará los 148.2 millones de habitantes, lo cual incrementará significativamente la demanda de alimentos, entre ellos, el maíz. Durante el periodo 2015-2020, en promedio anual se importaron 15 193 750 t de maíz, provenientes principalmente de Estados Unidos de América y Brasil, se proyecta que esta cifra incremente en el futuro, lo que posiblemente genere una crisis por el desabasto nacional y mundial (FAO, 2022).

Factores importantes como los costos de inversión, los bajos rendimientos ($t\ ha^{-1}$) y los precios del maíz, no garantizan un sustento al agricultor de pequeña escala, el capital de inversión está bajo riesgo latente y en caso de un siniestro, es probable que no vuelva a tener la capacidad de resiliencia para poder reinvertir, por lo cual, se decide a cambiar el uso de suelo o en su caso abandonar las actividades agrícolas (Giller *et al.*, 2021).

Conclusiones

A partir de la literatura consultada en este ensayo, se tiene que el clima es uno de los factores más importantes en la productividad agrícola, lo que puede influir directa o indirectamente, ya que está ligado a procesos fisiológicos que ocurren en la planta. El impacto del cambio climático y de la variabilidad climática hacia la producción de maíz, es una condición inevitable a nivel global, cuyas repercusiones desencadenan múltiples afectaciones en diferentes sectores, esta actividad es altamente vulnerable y con poca resiliencia, lo que indica un grave riesgo para la seguridad alimentaria en el país y la economía que sustenta.

Conocer el peligro asociado al cambio climático y la relación con el cultivo de maíz, el cual, resulta ser altamente sensible a las fluctuaciones de temperatura y precipitación, dando como resultado un bajo rendimiento (por heladas, sequías, inundaciones y otros desastres), esto permite manejar los diferentes riesgos hidrometeorológicos desde una perspectiva de la gestión integrada y la toma de decisiones agrícolas. Adoptar medidas de adaptación y mitigación, garantizarán la productividad de maíz en el país, así como, la amortiguación de los impactos en los procesos productivos y económicos inmersos, dando como resultado una mejor resiliencia para los agricultores.

Bibliografía

- 1 Abbass, K.; Qasim, M. Z.; Song, H.; Murshed, M.; Mahmood, H. and Younis, I. 2022. A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 29(28):42539-42559. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19718-6> .
- 2 Adeagbo, O. A.; Ojo, T. O. and Adetoro, A. A. 2021. Understanding the determinants of climate change adaptation strategies among smallholder maize farmers in South-west, Nigeria. *Heliyon.* 7(2):1-10. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06231>.
- 3 Arce-Romero, A. R.; Monterroso-Rivas, A. I.; Gómez-Díaz, J. D. and Palacios-Mendoza, M. A. 2018. Potential yields of maize and barley with climate change scenarios and adaptive actions in two sites in Mexico. *Advances in Intelligent Systems and Computing.* 687(1):197-208. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-70187-5-15>.
- 4 Baum, M. E.; Licht, M. A.; Huber, I. and Archontoulis, S. V. 2020. Impacts of climate change on the optimum planting date of different maize cultivars in the central US Corn Belt. *Eur. J. Agron.* 119(1):1-11. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126101>.

- 5 Bedeke, S.; Vanhove, W.; Gezahegn, M.; Natarajan, K. and Van Damme, P. 2019. Adoption of climate change adaptation strategies by maize-dependent smallholders in Ethiopia. *NJAS-Wageningen J. Life Sci.* 88(1):96-104. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2018.09.001>.
- 6 Çakir, R. 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Res.* 89(1):1-16. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.01.005>.
- 7 CENAPRED. 2014. Centro Nacional de Prevención de Desastres. Características del impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México. México, DF.
- 8 CENAPRED. 2020. Centro Nacional de Prevención de Desastres. Características del impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México. México, DF.
- 9 CONAGUA. 2022. Resúmenes mensuales de temperaturas y lluvia. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>.
- 10 CONAPO. 2019. Consejo Nacional de Población. Secretaría de Gobernación. Colección. Proyecciones de la población de México y las entidades federativas 2016-2050 República Mexicana. Ciudad de México, México.
- 11 Cuervo-Robayo, A. P.; Ureta, C.; Gómez-Albores, M. A.; Meneses-Mosquera, A. K.; Téllez-Valdés, O. and Martínez-Meyer, E. 2020. One hundred years of climate change in Mexico. *PLoS ONE.* 15(7):1-19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209808>.
- 12 FAO. 2017. Food and Agriculture Organization of the United Nations. The future of food and agriculture-Trends and challenges. Rome, Italy. ISBN: 978-92-5-109551-5. <https://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf>.
- 13 FAO. 2023. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT-Agriculture Database. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. 22/09/2023.
- 14 Frieler, K.; Schauburger, B.; Arneth, A.; Balkovic, J.; Chryssanthacopoulos, J.; Deryng, D.; Elliott, J.; Folberth, C.; Khabarov, N.; Müller, C.; Olin, S.; Pugh, A. M. T.; Schaphoff, S.; Schewe, J.; Schmid, E.; Warszawski, L. and Levermann, A. 2017. Understanding the weather signal in national crop-yield variability. *Earth's future.* 5(6):605-616. <https://doi.org/10.1002/2016EF000525>.
- 15 Giller, K. E.; Delaune, T. and Silva, J. V. 2021. The future of farming: Who will produce our food? *Food Sec.* 13(5):1073-1099. <https://doi.org/10.1007/s12571-021-01184-6>.
- 16 González-Celada, G.; Ríos, N.; Benegas-Negri, L. and Argotty-Benavides, F. 2021. Impact of the climate change and the land use/land cover change in the hydrological and water erosion response in the Qui scab river subbasin. *Tecnología y Ciencias del Agua.* 12(6):328-362. <https://doi.org/10.24850/J-TYCA-2021-06-08>.
- 17 Harkness, C.; Semenov, M. A.; Areal, F.; Senapati, N.; Trnka, M.; Balek, J. and Bishop, J. 2020. Adverse weather conditions for UK wheat production under climate change. *Agricultural and Forest Meteorology.* 282-283(1):1-13. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.107862>.
- 18 INEGI. 2020. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Censo de Población y Vivienda 2020. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>.
- 19 IPCC. 2019. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Calentamiento global de 1.5 °C. <https://www.riob.org/es/documentos/calentamiento-global-de-15-degc>.
- 20 IPCC. 2021. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Climate change 2021: The physical science basis. *In: contribution of working group i to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Ed. Masson-Delmotte, V. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>.
- 21 IPCC. 2022. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. WGI Interactive Atlas: Regional information. de

- Intergovernmental Panel on Climate Change Sitio web: <https://interactive-atlas.ipcc.ch/regionalinformation#eyJ0eXBlljoiQVRMQVMiLCJjb21tb25zljp7ImxhdCI6OTc3MiwibG5nIjoiMDA2OTIsInpv>.
- 22 Kang, Y.; Ma, X. and Khan, S. 2013. Predicting climate change impacts on maize crop productivity and water use efficiency in the loess plateau. *Irrigation and Drainage*. 63(3):394-404. <https://doi.org/10.1002/ird.1799>.
 - 23 Leng, G. 2019. Uncertainty in assessing temperature impact on U.S. maize yield under global warming: the role of compounding precipitation effect. *J. Geo. Res. Atmos*. 124(12):6238-6246. <https://doi.org/10.1029/2018JD029996>.
 - 24 Lizaso, J. I.; Ruiz-Ramos, M.; Rodríguez, L.; Gabaldon-Leal, C.; Oliveira, J. A.; Lorite, I. J.; Sánchez, D.; García, E. and Rodríguez, A. 2018. Impact of high temperatures in maize: phenology and yield components. *Field Crops Res*. 216(1):129-140. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.11.013>.
 - 25 Lobato-Sánchez, R. y Altamirano-Carmen, M. Á. 2017. Detección de la tendencia local del cambio de la temperatura en México. *Tecnología y Ciencias del Agua* . 8(6):101-116. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-06-07>.
 - 26 Lv, Z.; Li, F. and Lu, G. 2020. Adjusting sowing date and cultivar shift improve maize adaption to climate change in China. *Mitigation and adaptation strategies for global change*. 25(1):87-106. <https://doi.org/10.1007/s11027-019-09861-w>.
 - 27 Mastachi-Loza, C. A.; Becerril-Piña, R.; Gómez-Albores, M. A.; Díaz-Delgado, C.; Romero-Contreras, A. T.; Garcia-Aragon, J. A. and Vizcarra-Bordi, I. 2016. Regional analysis of climate variability at three-time scales and its effect on rainfed maize production in the upper Lerma river basin, Mexico. *Agric. Ecosyst. Environ*. 225(1):1-11. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.03.041>.
 - 28 Mills, G.; Sharps, K.; Simpson, D.; Pleijel, H.; Frei, M.; Burkey, K.; Emberson, L.; Uddling, J.; Broberg, M.; Feng, Z.; Kobayashi, K. and Agrawal, M. 2018. Closing the global ozone yield gap: quantification and benefits for multitreec tolerance. *Global Change Biology*. 24(10):4869-4893. <https://doi.org/10.1111/gcb.14381>.
 - 29 Monterroso, A. and Conde, C. 2015. Exposure to climate and climate change in Mexico. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. 6(4):272-288. <https://doi.org/10.1080/19475705.2013.847867> .
 - 30 Murray-Tortarolo, G. N.; Jaramillo, V. J. and Larsen, J. 2018. Food security and climate change: the case of rainfed maize production in Mexico. *Agricultural and Forest Meteorology* . 253-254(1):124-131. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.02.011>.
 - 31 Nandan, R.; Woo, D. K.; Kumar, P. and Adinarayana, J. 2021. Impact of irrigation scheduling methods on corn yield under climate change. *Agricultural Water Management*. 255(1):1-9. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106990>.
 - 32 Noein, B. and Soleymani, A. 2022. Corn (*Zea mays* L.) physiology and yield affected by plant growth regulators under drought stress. *Journal of Plant Growth Regulation*. 41(2):672-681. <https://doi.org/10.1007/s00344-021-10332-3>.
 - 33 Ochieng, J.; Kirimi, L. and Mathenge, M. 2016. Effects of climate variability and change on agricultural production: the case of small-scale farmers in Kenya. *NJAS Wageningen Journal of Life Sciences*. 77:71-78. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2016.03.005>
 - 34 ONU. 2016. Organización de las Naciones Unidas. Agenda 2030 y los objetivos de desarrollo sostenible. una oportunidad para américa latina y el caribe. Santiago, Chile. CEPAL. <https://www.cedhnl.org.mx/bs/vih/secciones/planes-y-programas/Agenda-2030-y-los-ODS.pdf>. 9-13 pp.
 - 35 Ortiz-Rosales, M. Á. y Ramírez-Abarca, O. 2017. Proveedores e industrias de destino de maíz en México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*. 14(1):61-82. <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci-arttextypid=S187054722017000100061yIngl=esytlng=es> .

- 36 PINCC. 2022. Programa de Investigación en Cambio Climático. Fue el cuarto año más caluroso en México del que se tenga registro. Programa de investigación en cambio climático, Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático-Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). <https://www.pincc.unam.mx/2021-fue-el-cuarto-ano-mas-caluroso-en-mexico-del-que-se-tenga-registro/> .
- 37 Reyes, S. E.; Bautista M. F. y García, S. J. A. 2022. Análisis del mercado de maíz en México desde una perspectiva de precios. *Acta Universitaria*. 32(1):1-16. Doi. <http://doi.org/10.15174.au.2022.3265>.
- 38 Richardson, K. J.; Lewis, K. H.; Krishnamurthy, P. K.; Kent, C.; Wiltshire, A. J. and Hanlon, H. M. 2018. Food security outcomes under a changing climate: impacts of mitigation and adaptation on vulnerability to food insecurity. *Climatic Change*. 147(1-2):327-341. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2137-y>
- 39 Ruiz, C. J.; Medina, G. G.; González, E. D.; Ramírez, D. J.; Flores, L. H.; Ruiz, C. J.; Manríquez, O. J.; Zarazúa, V. P.; Díaz, P. G.; Ramírez, O. G. y Mora, O. C. 2011. Cambio climático y sus implicaciones en cinco zonas productoras de maíz en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 2(1):309-323. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263121431011>.
- 40 Ruiz-Corral, J. A.; Ramírez-Díaz, J. L.; Hernández-Casillas, J. M.; Aragón-Cuevas, F.; Sánchez-González, J. de J.; Ortega-Corona, A.; Medina-García, G. y Ramírez-Ojeda, G. 2011. Razas mexicanas de maíz como fuente de germoplasma para la adaptación al cambio climático. *Rev. Mex. Cienc. Agríc*. 2(1):365-379.
- 41 Santos, R. M. and Bakhshoodeh, R. 2021. Climate change global warming climate emergency versus general climate research: comparative bibliometric trends of publications. *Heliyon* . 7(11):1-11. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08219>.
- 42 SIAP. 2020. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Avance de siembras y cosechas resumen por estado. <http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola-siap-gobmx/resumenproducto.do>.
- 43 Skendžič, S.; Zovko, M.; Živkovič, I. P.; Lešič, V. and Lemič, D. 2021. The impact of climate change on agricultural insect pests. *Insects*. 12(5):1-25. doi:10.3390/insects12050440.
- 44 Ureta, C.; González, E. J.; Espinosa, A.; Trueba, A.; Piñeyro-Nelson, A. and Álvarez-Buylla, E. R. 2020. Maize yield in Mexico under climate change. *Agricultural Systems*. 177(1):1-11. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102697>.
- 45 Villalobos-González, A.; López-Castañeda, C.; Miranda-Colín, S.; Aguilar-Rincón, V. H.; y López-Hernández, M. B. 2017. Relaciones hídricas en maíces de Valles Altos de la Mesa Central de México en condiciones de sequía y fertilización nitrogenada. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* . 7(7):1651-1665. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i7.157> .
- 46 Wang, Y.; Wang, C. and Zhang, Q. 2021. Synergistic effects of climatic factors and drought on maize yield in the east of northwest China against the background of climate change. *Theoretical and Applied Climatology*. 143(3-4):1017-1033. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03457-0>.
- 47 Welikhe, P.; Essamuah-Quansah, J.; Boote, K.; Asseng, S. and El Afandi, G. 2016. Impact of climate change on corn yields in Alabama. *Professional Agricultural Workers J*. 4(1):1-14.
- 48 Wilson, A. B.; Avila-Diaz, A.; Oliveira, L.; Zuluga, C. F. and Mark, B. 2022. Climate extremes and their impacts on agriculture across the eastern corn belt region of the U.S. *Weather and climate extremes*. 37(1):1-22. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100467>.
- 49 Ye, Q.; Lin, X.; Adey, E.; Min, D.; Assefa, M. Y.; Brien, D. and Ciampitti, I. A. 2017. Evaluation of climatic variables as yield-limiting factors for maize in Kansas. *Inter. J. Climatol*. 37(1):464-475. <https://doi.org/10.1002/joc.5015>.

Impactos del cambio climático en la producción de maíz en México

| |
|--|
| Journal Information |
| Journal ID (publisher-id): remexca |
| Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas |
| Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc |
| ISSN (print): 2007-0934 |
| Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias |

| |
|---------------------------------------|
| Article/Issue Information |
| Date received: 01 October 2023 |
| Date accepted: 01 February 2024 |
| Publication date: 11 February 2024 |
| Publication date: January 2024 |
| Volume: 15 |
| Issue: 1 |
| Electronic Location Identifier: e3327 |
| DOI: 10.29312/remexca.v15i1.3327 |

Categories

Subject: Ensayo

Palabras clave:

Palabras clave:

Zea mays L.
eventos extremos
mitigación y adaptación
seguridad alimentaria
vulnerabilidad.

Counts

Figures: 5

Tables: 0

Equations: 0

References: 50

Pages: 0



- 50 Zúñiga, E. and Magaña, V. 2018. Vulnerability and risk to intense rainfall in Mexico. the effect of land use cover change. *Investigaciones Geográficas*. 95(1):1-18. <https://doi.org/10.14350/rig.59465>.