



Vulnerabilidad del Maíz (*Zea mays L.*) de Temporal a la Variabilidad Climática en los Municipios de Atlzayanca y Huamantla del Estado de Tlaxcala

Vulnerability of Rainfed Maize (*Zea mays L.*) to Climate Variability in the Municipalities of Atlzayanca and Huamantla, State of Tlaxcala

Jorge Luis Carmona-Martínez^{1‡}, Andrés María-Ramírez¹ y
Maricela Hernández-Vázquez²

¹ El Colegio de Tlaxcala A.C. Av. Melchor Ocampo No.28, Séptima Sección. 90600 San Pablo Apetatitlán, Tlaxcala, México; (J.L.C.M.), (A.M.R.).

[‡] Autor para correspondencia: jorgelcm@coltlax.edu.mx

² Universidad Autónoma de Tlaxcala. Av. Universidad Núm. 1 Col. La Loma Xicohténcatl Tlaxcala, Tlax. C.P. 90070 (M.H.V.).

RESUMEN

La agricultura de temporal enfrenta, año con año, diversas amenazas que afectan su productividad. La humedad y la temperatura son factores indispensables para una adecuada germinación, crecimiento y desarrollo del maíz, los eventos climáticos como las bajas precipitaciones y heladas, resultado de la variabilidad climática representan los principales riesgos, ya que ocasionan daños directos y vuelven al sistema agrícola vulnerable, afectando de manera significativa la producción y con ello la economía de los productores locales. El estado de Tlaxcala cuenta con tres regiones productoras de maíz de temporal, la principal es la región Oriente-Huamantla, conformada por 13 municipios destacan Atlzayanca y Huamantla por su mayor producción. Debido a ello, el objetivo del presente trabajo es determinar el grado de vulnerabilidad del cultivo de maíz de temporal frente a eventos climáticos extremos en los municipios de Atlzayanca y Huamantla. Se empleó una metodología mixta, con enfoques cuantitativos y cualitativos. Se analizaron las variables de precipitación y temperatura mínima del periodo 1980 a 2021, así como los datos de rendimiento del maíz de temporal, calculando promedios y desviaciones estándar con el fin de establecer correlaciones para determinar el grado de vulnerabilidad. Además, se aplicaron 182 cuestionarios y se realizaron entrevistas grupales en los municipios seleccionados. El estudio identificó diferentes grados de vulnerabilidad, siendo Huamantla vulnerable a la sequía con un 20% de probabilidad de obtener rendimientos bajos con este evento, así como otros problemas relevantes que también afectan al cultivo como, las plagas, y el uso de agroquímicos. Esto sugiere la necesidad de futuras investigaciones con un enfoque holístico, que integren otros factores de riesgo como las condiciones edáficas, situación económica, capacitación, tipo de semilla utilizada y la creciente desterritorialización provocada por la agroindustria.



Cita recomendada:

Carmona-Martínez, J. L., María-Ramírez, A., & Hernández-Vázquez, M. (2025). Vulnerabilidad del Maíz (*Zea mays L.*) de Temporal a la Variabilidad Climática en los Municipios de Atlzayanca y Huamantla del Estado de Tlaxcala. *Terra Latinoamericana*, 43, 1-13. e2351. <https://doi.org/10.28940/terralatinoamericana.v43i.2351>

Recibido: 2 de julio de 2025.

Aceptado: 17 de septiembre de 2025.

Artículo. Volumen 43.

Diciembre de 2025.

Editor de Sección:

Dr. Fernando Ayala Niño

Editor Técnico:

Dr. Fermín Pascual Ramírez



Copyright: © 2025 by the authors.

Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC ND) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Palabras clave: agroquímicos, cambio climático, plagas, productores locales.

SUMMARY

Rainfed agriculture faces recurring threats that affect its productivity year after year. Soil moisture and temperature are essential factors for the proper germination, growth, and development of maize. Climatic events such as droughts and frosts, resulting from climate variability, represent the main risks, as they cause direct damage, increase the vulnerability of the agricultural system, and significantly affect production and, consequently, the economic stability of local producers. The state of Tlaxcala has three rainfed maize-producing regions, with the Oriente Huamantla region being the most important. This region comprises 13 municipalities, among which Atlzayanca and Huamantla stand out due to their higher production levels.

Therefore, the objective of this study was to determine the degree of vulnerability of rainfed maize cultivation to extreme climatic events in the municipalities of Atltzayanca and Huamantla. A mixed methodology was employed, integrating quantitative and qualitative approaches. Precipitation and minimum temperature variables for the period 1980-2021 were analyzed together with rainfed maize yield data by calculating means and standard deviations in order to establish correlations and determine the degree of vulnerability. Additionally, 182 questionnaires were administered, and group interviews were conducted in the selected municipalities. The results identified different degrees of vulnerability, with Huamantla being vulnerable to drought, exhibiting a 20% probability of obtaining low yields under this climatic event, as well as other relevant factors that also affect crop performance, such as pest incidence and the use of agrochemicals. These findings highlight the need for future research adopting a holistic approach that integrates additional risk factors, including soil conditions, economic context, farmer training, seed type, and the increasing deterritorialization associated with agribusiness.

Index words: *agrochemicals, climate change, pests, local producers.*

INTRODUCCIÓN

Los efectos del cambio climático han provocado variaciones climáticas a nivel mundial que afectan a todas las regiones geográficas. Desde los años 60s el cambio climático, es una constante permanente en el planeta, las actividades antropogénicas, como la contaminación del suelo, agua y atmósfera, han acelerado este proceso. Esto ha provocado variaciones climáticas a nivel mundial, generando una creciente variabilidad que afecta todas las regiones geográficas (Cruz-González, Arteaga, Sánchez, Soria y Monterroso, 2024). Al respecto, Tinoco-Rueda (2011) señala que las zonas productoras de maíz para grano son vulnerables a la variabilidad climática de la región en donde se encuentren, por lo que los cambios en las condiciones climáticas repercuten directamente en la calidad y cantidad de la cosecha. Cuando se habla de la variabilidad climática se manifiesta en cambios en los patrones de ocurrencia de la lluvia, que provocan períodos de precipitaciones bajas y altas; de manera similar, en la temperatura se observan ondas de calor con mayor frecuencia, así como heladas y granizadas (Moreno-Sánchez y Urbina, 2008). Los efectos heterogéneos del cambio climático, incluyendo eventos extremos, afectan negativamente la productividad y el rendimiento de los cultivos de temporal, lo que pone en riesgo la seguridad alimentaria y los ingresos económicos (López-Feldman y Hernández, 2016).

Hernández-Vázquez et al. (2019) después de analizar la agricultura de temporal en el estado de Tlaxcala en relación con el cambio climático, encontraron que los principales eventos climáticos extremos que impactan en la agricultura de Tlaxcala son las heladas y las bajas precipitaciones. De acuerdo con WMO (1992) y Barriendos-Vallvé (2005), las heladas son fenómenos meteorológicos cercanos a la superficie del terreno, que ocurren cuando la temperatura del aire desciende a un valor igual o inferior a 0 °C durante un lapso mayor a ocho horas. Matías-Ramírez, Fuentes y García (2021) describen que las heladas suelen aparecer, por las noches de invierno y causan severo daño al sector agrícola de temporal. Por otro lado, Walker, Parkin, Gowing y Tamiru (2019) definen las bajas precipitaciones como períodos en los que la cantidad de lluvia es inferior al promedio histórico, lo que genera un déficit hídrico que reduce la recarga de acuíferos y la disponibilidad de agua superficial, afectando la producción agrícola y las demandas de los ecosistemas.

Dentro de la agricultura de temporal en México se encuentran varios cultivos, pero el maíz es el más importante, este cultivo es tradicional y fundamental para la alimentación debido a su valor nutricional de calorías, carbohidratos, proteínas, fibra, potasio, ácido fólico, magnesio, zinc, y vitaminas del grupo B, especialmente B1 y B3, aparte de contar con dos antioxidantes, la zeaxantina y la luteína crucial en la salud ocular y cutánea (González-Cortés, Silos, Estrada, Chávez y Tejero, 2016; Urango, 2018).

De acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), en el año 2023 el estado de Tlaxcala registró una producción de 260 512.41 Mg de maíz. De sus tres regiones, el distrito 3, conocido como Oriente-Huamantla, es la principal productora con 110 508.23 Mg que representó el 49.7% del total estatal. Los municipios representativos del distrito son Huamantla y Atltzayanca; el primero es el principal productor con 39 788.0 Mg y el segundo alcanza 16 136.0 Mg.

Con la información climática y la relevancia del maíz, existe una comprensión insuficiente sobre cómo la variabilidad climática, especialmente las bajas precipitaciones y la alta frecuencia de heladas, afecta el rendimiento. Por ello, este estudio busca llenar este vacío con el objetivo de evaluar el grado de vulnerabilidad del cultivo de maíz de temporal frente a estos eventos climáticos extremos en Huamantla y Atlitzayanca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área del Estudio

La investigación se llevó a cabo en los municipios de Atlitzayanca y Huamantla, en el estado de Tlaxcala, México. El municipio de Atlitzayanca se localiza entre los 19° 29' N, y entre los 97° 43' O, con una elevación media de 2600 m de altitud (INEGI, 1994). Por su parte, el municipio de Huamantla se encuentra en las coordenadas 19° 19' N y 97° 55' O, con una elevación media de 2500 m de altitud (INEGI, 2005) Figura 1.

Diseño y Análisis de Datos

Se utilizó la técnica de investigación mixta para lograr una combinación donde los datos obtenidos cuantitativamente se complementen con la información obtenida cualitativamente en campo para llegar a un entendimiento del problema y validar la hipótesis (Hernández-Sampieri, Fernández y Baptista, 2014). Se utilizaron los enfoques descriptivo, correlacional y explicativo. El diseño es no experimental, transversal y retrospectivo. Se considera no experimental porque no se manipulan las variables, sino que se observan y analizan en su contexto natural, tal como se presentan en la realidad. Los cuestionarios aluden a un momento transversal, ya que la recolección de datos se realizó en un momento específico, lo que permitió capturar una fotografía de la situación actual. Es retrospectivo porque se analizaron datos climáticos y de rendimiento históricos (Hernández-Sampieri *et al.*, 2014).

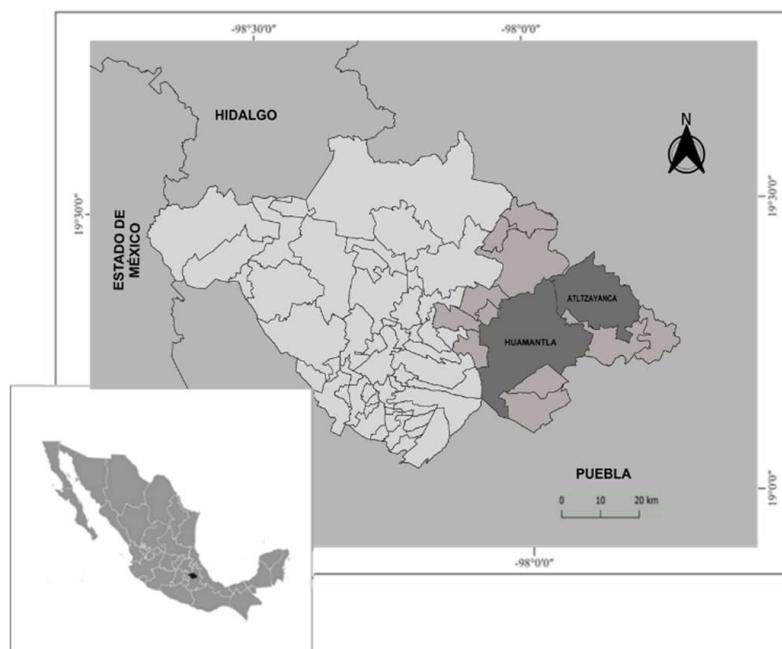


Figura 1. Ubicación de los municipios de Atlitzayanca y Huamantla en la región Oriente-Huamantla., donde se llevó a cabo el estudio para definir Vulnerabilidad del Maíz de Temporal Frente a la Variabilidad Climática.

Figure 1. Location of the municipalities of Atlitzayanca and Huamantla in the Oriente-Huamantla region., where the study to define the Rainfed Maize Vulnerability to Climate Variability was conducted.

Análisis Agrícola

Para la obtención de datos de producción agrícola se utilizó la base de datos del Sistema de Información Agropecuaria de Consulta (SIACON-NG) (SIAP, 2023). El cultivo seleccionado fue maíz de grano cada año agrícola. La variable con la que se trabajó fue rendimiento de grano en toneladas por hectárea ($Mg\ ha^{-1}$) del periodo 1992 a 2022 en ambos municipios. A partir de los datos obtenidos, se elaboraron tablas descriptivas para organizar y visualizar la información por año. Posteriormente, se elaboraron gráficos para visualizar los patrones de rendimiento e identificar los años con rendimientos altos, normales y bajos. Para esta clasificación, se calculó el promedio (\bar{x}) histórico de rendimiento y su desviación estándar (s); se establecieron tres rangos: rendimientos altos ($\bar{x} + s$), rendimientos normales dentro del rango del ($\bar{x} \pm s$) y rendimientos bajos ($\bar{x} - s$).

Análisis Climático

Las variables seleccionadas fueron la precipitación total anual, medida en milímetros (mm), y la temperatura mínima anual promedio, expresada en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$), durante el periodo de 1980 a 2021, ya que las bases de datos a partir de 2022 se omitieron debido a vacíos de información que comprometen la precisión y confiabilidad de los resultados. Por ello, el análisis se extendió hasta 2021 para garantizar la homogeneidad de la información (CONAGUA, 2024).

Para los años incompletos que presenta el municipio de Atlitzayanca, correspondientes a 1980 a 1984 y 2020, se aplicó el método de estimación de datos faltantes con base en el cuadrado inverso de la distancia, también conocido como el método de U.S. National Weather Service (WS) que según Gallegos-Cedillo, Arteaga, Vázquez y Juárez (2015), es el más utilizado en investigaciones hidrológicas y geográficas. Los datos faltantes correspondieron a algunos meses específicos y el porcentaje de datos interpolados representó el 5.4% del total del periodo estudiado, una cifra considerada aceptable para mantener la precisión del análisis climático (WMO, 1992), representado en la ecuación 1.

$$P_x = \frac{\sum(P_i W_i)}{\sum W_i} \quad (1)$$

Donde: P_x = dato perdido en la estación x , P_i = dato existente en la estación auxiliar i , para lo cual $i = 1, 2, \dots, n$ para el mismo día, w = peso asignado a cada estación auxiliar y se calcula con la ecuación 2.

$$w_i = \frac{1}{D_i^2} \quad (2)$$

Donde D_i = distancia entre cada estación circundante auxiliar y la estación x en la que se presenta el dato perdido.

Se recomienda utilizar cuatro estaciones auxiliares, de preferencia las más cercanas, de modo que cada una quede localizada en uno de los cuadrantes que definen los ejes coordenados que pasan por la estación incompleta, generalmente norte-sur y oriente-poniente.

Para el municipio de Atlitzayanca la estación meteorológica seleccionada tiene la clave 29 151 ($19.428056^{\circ}\text{N}$ y $-97.798889^{\circ}\text{O}$). Los años faltantes se obtuvieron de la estimación de los datos de las estaciones ubicadas en los municipios de Terrenate con las claves de estaciones 29 053 y 29 051, El Carmen Tequexquitla con la clave 29 007, Cuapiaxtla con clave 29 005 y Huamantla con clave 29 011. Para el municipio de Huamantla la estación meteorológica seleccionada tiene la clave 29 011 ($19.315833^{\circ}\text{N}$ y $-97.911111^{\circ}\text{O}$).

Con los datos climáticos se procedió a la construcción de gráficos que permitieron identificar patrones anuales de precipitación y temperatura mínima. En el caso de la temperatura mínima, se observaron días en los que se registraron 0°C o menos, considerando estos eventos como heladas. Posteriormente, se calculó el número total de heladas por año, y se clasificaron los años en tres categorías: alta frecuencia de heladas ($\bar{x} + s$), frecuencia normal (dentro del rango del ($\bar{x} \pm s$)) y baja frecuencia ($\bar{x} - s$). En cuanto a la precipitación, se analizó la suma total anual para su clasificación en alta, media y baja. Esto permitió establecer una tipología de años según su comportamiento climático, útil para el análisis de sus posibles efectos sobre el rendimiento.

Evaluación de riesgo

Con la obtención de los datos de rendimiento y de clima, se realizó la evaluación de riesgo mediante la metodología de Wilks (1995), que desarrolla una matriz que describe la relación entre impacto y amenaza. La vulnerabilidad se estableció en función de la relación entre el impacto expresado en niveles de rendimiento $Mg\ ha^{-1}$ (bajo, medio o alto) y la amenaza, entendida como la ocurrencia de eventos climáticos extremos, tanto en términos de precipitación (lluvias intensas, normales y sequías) como de heladas (alta, expresado en niveles de rendimiento $Mg\ ha^{-1}$ (bajo, medio o alto), y la amenaza, entendida como la ocurrencia de eventos climáticos extremos, tanto en términos de precipitación (lluvias intensas, normales y sequías) como de heladas (de alta, media o baja frecuencia).

El riesgo se estimó en términos de probabilidad condicional, definida como la probabilidad de que un evento E_1 ocurra cuando sabemos que un evento E_2 ocurrió u ocurrirá y lo denotamos por $Pr(E_1|E_2)$. Formalmente, la probabilidad condicional es definida en términos de la intersección del evento de interés (E_1) y el evento condicional (E_1).

$$Pr(E_2) = \frac{Pr(E_1 \cap E_2)}{P(E_2)} \quad (3)$$

Se considera que, dada la situación de que se presente un peligro o condición de amenaza ($[A_1]$, $[A_2]$ ó $[A_3]$) los impactos que pueden corresponder a la vulnerabilidad son obtener rendimientos bajos, medios o altos ($[B_1]$, $[B_2]$ ó $[B_3]$). Por lo tanto, los elementos $R(A, B)$ representan los valores de la probabilidad de riesgo de obtener rendimientos bajos, medios o altos cuando se presenta una condición climática extrema como se presenta en el Cuadro 1.

Encuesta

Se utilizó como instrumento un cuestionario semiabierto; la estructura se elaboró con base en la operacionalización de las variables centrales del estudio: maíz de temporal y variabilidad climática. La variable maíz de temporal se desglosó en dos dimensiones principales: cultivo y problemas asociados. Por otro lado, la variabilidad climática se dividió en dos dimensiones: heladas y bajas precipitaciones. El principal indicador utilizado para esta última variable fue el nivel de daño reportado en los cultivos como consecuencia directa de dichos eventos. Para la aplicación del cuestionario se optó por el muestreo dirigido o intencional, una técnica que permite a los investigadores seleccionar casos muy específicos, eligiendo a los participantes en función de su conocimiento y experiencia, con el fin de proporcionar datos relevantes para el estudio. Se eligieron participantes inmersos en contextos relevantes y capaces de ofrecer experiencias personales. No existe un número exacto de participantes, y la cantidad puede ser flexible (Teddlie y Yu, 2007; Denzin y Lincoln, 2011; Creswell, 2014; Patton, 2015 y Flick, 2018). Se aplicaron 126 cuestionarios en el municipio de Atlitzayanca y 56 en Huamantla a campesinos que cultivan maíz de temporal.

El número de encuestas aplicadas no siguió la proporción del volumen de producción municipal, debido a que la estrategia de muestreo fue intencional, priorizando la disponibilidad y accesibilidad de productores con experiencia directa en eventos climáticos extremos. En Atlitzayanca se encontró una mayor concentración de productores dispuestos a participar, lo que permitió aplicar más cuestionarios sin comprometer la calidad de la información. En Huamantla, la dispersión geográfica y menor disponibilidad inmediata de productores condicionó un número menor de encuestas.

Cuadro 1. Matriz de riesgo para obtener el grado de vulnerabilidad del maíz de temporal.
Table 1. Risk matrix to determine the degree of vulnerability of rainfed maize.

Amenaza/Impacto	B1	B2	B3
A1	R (A_1, B_1)	R (A_1, B_2)	R (A_1, B_3)
A2	R (A_2, B_1)	R (A_2, B_2)	R (A_2, B_3)
A3	R (A_3, B_1)	R (A_3, B_2)	R (A_3, B_3)

Amenazas climáticas: A1 = sequías; A2 = normal; A3 = lluvias intensas; Rendimiento agrícola: B1 = bajo; B2 = medio; B3 = alto. R (A_1, B_1) representa la correlación entre la amenaza (A) e impacto (B). Climate threats: A1 = droughts; A2 = normal; A3 = heavy rains; Agricultural yield: B1 = low; B2 = medium; B3 = high. R (A_1, B_1) represents the correlation between the threat (A) and impact (B).

Entrevista

Las entrevistas se llevaron a cabo en ambos municipios y fueron grupales. Para ello, se contactó a los comisariados ejidales, a quienes se les explicó el objetivo del estudio, lo cual permitió un primer acercamiento para identificar los problemas más recurrentes en la producción de temporal. A partir de esta interacción, se elaboró una guía semi estructurada con la cual se profundizó en el conocimiento de los principales retos climáticos que enfrentan los campesinos al cultivar maíz de temporal. Cabe destacar que se dio libertad a los participantes para expresar otras problemáticas no necesariamente relacionadas con la variabilidad climática, pero que también inciden en el desarrollo del cultivo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis del Rendimiento

La Figura 2a, b ilustran los rendimientos altos, medios y bajos de maíz en el periodo de análisis. El 2005 fue un año crítico al presentar el rendimiento más bajo en Huamantla y Atlitzayanca con 0.60 Mg ha^{-1} y 0.40 Mg ha^{-1} , respectivamente. Los bajos rendimientos se atribuyen a las condiciones climáticas extremas, pues de acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2006), en su declaración sobre el estado del clima en 2005, este año fue uno de los más cálidos jamás registrados desde 1850, con una temperatura media global superficial que superó la media anual de 14 grados centígrados.

El año 2005 estuvo marcado por eventos meteorológicos extremos que tuvieron consecuencias devastadoras a nivel mundial. La temporada de huracanes de 2005 fue particularmente intensa, destaca la formación de algunos de los ciclones tropicales más destructivos jamás documentados, como el huracán Stan, cuyas lluvias torrenciales provocaron inundaciones y deslizamientos de tierra en México, Nicaragua, Honduras y El Salvador.

En un estudio desarrollado por Corte-Cruz y Carrillo (2018) se identificó que, a nivel nacional, la producción de maíz registró una tasa de crecimiento negativa cercana al -8%. Este decrecimiento en la producción nacional de maíz refuerza la evidencia de que el año 2005 fue un periodo especialmente desfavorable para el maíz de temporal.

Análisis del Clima

Precipitación

El análisis del comportamiento de la precipitación en la Figura 3a, b muestran los años clasificados en tres categorías, con exceso de lluvia, normales y bajos. Ambos municipios registraron ocho años con condiciones de baja precipitación durante el periodo analizado; sin embargo, en Atlitzayanca todos los años con sequía son más drásticos con lluvias menores a 424 mm, en cambio, en Huamantla todos los años con precipitación baja tienen lluvias mayores a 435 mm.

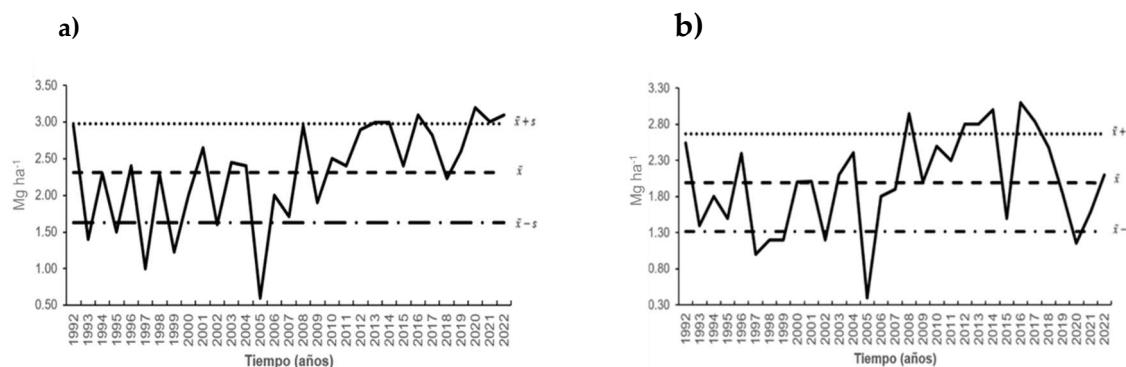


Figura 2. Comportamiento de los rendimientos del periodo 1992-2022. a) Caracterización del rendimiento de maíz en Huamantla. b) Caracterización del rendimiento de maíz en Atlitzayanca.

Figure 2. Yield trends during the 1992-2022 period. a) Characterization of maize yield in Huamantla. b) Characterization of maize yield in Atlitzayanca.

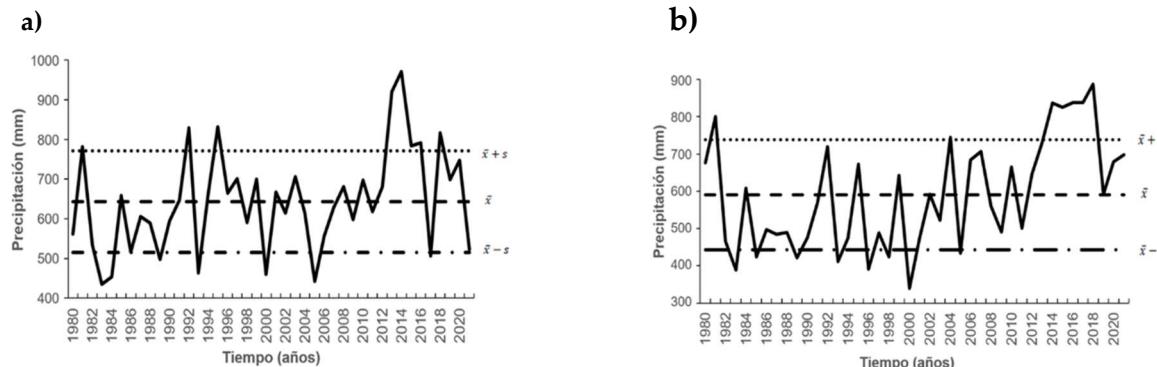


Figura 3. Precipitación del periodo 1980-2021. a) Caracterización de los años secos y húmedos en Huamantla. b) Caracterización de los años secos y húmedos en Atlitzayanca.

Figure 3. Precipitation during the period 1980-2021. a) Characterization of dry and wet years in Huamantla. b) Characterization of dry and wet years in Atlitzayanca.

Los resultados mostraron una relación entre las sequías y los bajos rendimientos de maíz en los años 1993 en Huamantla y 1998 en Atlitzayanca; sin embargo, ninguno tuvo un impacto tan pronunciado en sus rendimientos como el de 2005, año que fue clasificado como el segundo más cálido registrado por la (OMM, 2006).

Estudios como el de Rincón-Tuexi et al. (2006) señalan que las altas temperaturas especialmente cuando coinciden con períodos de baja precipitación pueden elevar las pérdidas en la biomasa del maíz, reduciendo hasta en un 66% el desarrollo de la mazorca, especialmente cuando el calor coincide con etapas críticas del ciclo fenológico como la floración y el llenado de grano.

Aunque 2005 registró una elevada actividad de huracanes a nivel nacional, los datos climáticos locales indican que, en la región de estudio, las lluvias fueron insuficientes durante las fases críticas del cultivo, lo que generó condiciones de estrés hídrico. Paralelamente, se observaron temperaturas más altas de lo habitual, que afectaron procesos fisiológicos relevantes como la fotosíntesis, la polinización y el llenado del grano. La coincidencia de baja disponibilidad de humedad y temperaturas elevadas produjo un efecto combinado que derivó en una disminución notable del rendimiento del maíz en ambos municipios.

Heladas

La Figura 4a, b presentan la frecuencia alta media y baja de los eventos de heladas. En Huamantla, se observa que en todo el periodo analizado hay presencia de heladas, con nueve años donde hubo entre 91-135 días. En contraste Atlitzayanca muestra dos años sin heladas, y en los años donde se presenta este evento el número de días va de los 58-103.

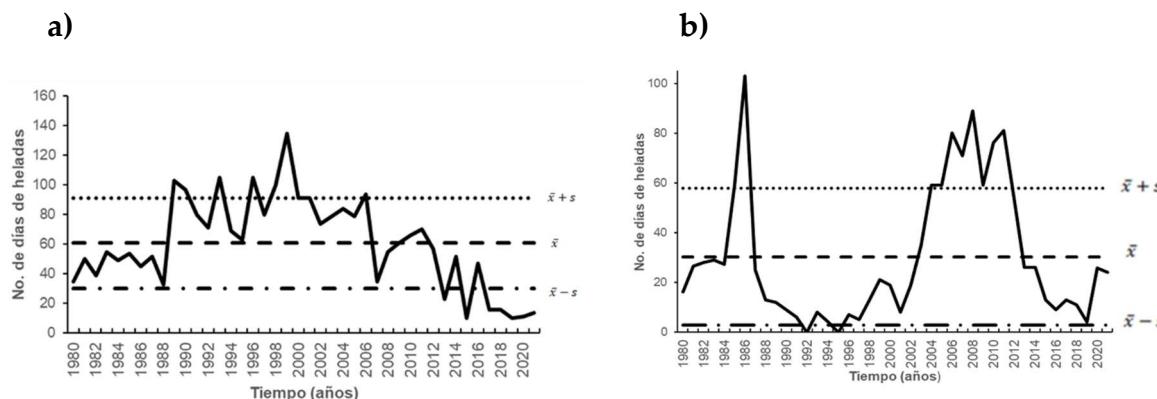


Figura 4. Heladas del periodo 1980-2021. a) Caracterización del número de heladas en Huamantla. b) Caracterización del número de heladas en Atlitzayanca.

Figure 4. Frost events during the 1980-2021 period. a) Characterization of the number of frost events in Huamantla. b) Characterization of the number of frost events in Atlitzayanca.

Al comparar estos resultados con los rendimientos, se observa una relación en ciertos años. En Huamantla, en los años 1993 y 1999 coincide la alta frecuencia de heladas con los bajos rendimientos de maíz. Además, el año 1993 también se clasificó como seco, lo que indica un efecto acumulado de ambos factores climáticos.

En Atlitzayanca los años con alta frecuencia de heladas no coinciden con los de bajos rendimientos. Un caso particular es el año 2011, en el que según Lazos-Chavero (2014) una helada severa provocó la pérdida del 50% de la superficie cultivada con maíz en el estado de Tlaxcala, lo que redujo la producción estatal a solo 130 000 toneladas. No obstante, aunque en ese año no se registraron rendimientos bajos en ninguno de los dos municipios analizados, Atlitzayanca sí registró una alta incidencia de heladas.

Evaluación de Riesgo

El Cuadro 2 muestra los resultados de la evaluación de riesgo, se observa que Huamantla presenta mayor vulnerabilidad, con una probabilidad del 20% de obtener rendimientos medios ante la baja precipitación, mientras que Atlitzayanca no presenta vulnerabilidad, mediante el trabajo aquí desarrollado, pues tiene un 75% de probabilidad de obtener rendimientos altos frente a las heladas.

En cuanto a la baja precipitación, Huamantla muestra una mayor vulnerabilidad, mientras que en Atlitzayanca, donde la cantidad de lluvia es menor, el cultivo de maíz mostró una mayor capacidad de adaptación.

La selección natural y artificial ha favorecido genes y combinaciones epistáticas que le permiten al maíz prosperar en entornos desafiantes. En este sentido, Ruiz-Corral *et al.* (2013) señalan que una de las formas más prometedoras para fortalecer la adaptación de los cultivos es la identificación de regiones específicas del genoma que contienen genes o segmentos de ADN responsables de dichas respuestas adaptativas. Los autores proponen estrategias adicionales, como la creación de nuevas poblaciones y patrones heteróticos a partir de germoplasma nativo, empleando criterios de selección específicos.

Estos criterios incluyen la incorporación de genes asociados a la tolerancia de estos eventos climáticos, así como la mejora de características agronómicas clave, entre ellas la resistencia, la eficiencia fotosintética bajo temperaturas diurnas elevadas y la reducción de la respiración nocturna. En conjunto, estos factores pueden influir de manera decisiva en la capacidad de las distintas regiones para sostener o mejorar los rendimientos del maíz en escenarios climáticos cada vez más inciertos.

Análisis de las Encuestas

Las principales variables obtenidas del análisis se agruparon según el tipo de impacto que generan, al cultivo, al ambiente y al campesino, como señala la Figura 5a, b. Se identificaron diversos factores que hacen vulnerable la agricultura del maíz, entre ellos la sequía, principal problema climático.

Cuadro 2. Grado de vulnerabilidad del maíz de temporal a sequías y heladas, calculado con base en la matriz de riesgo, en los municipios de Huamantla y Atlitzayanca, Tlaxcala.

Table 2. Degree of vulnerability of rainfed maize to droughts and frosts, calculated based on the risk matrix, in the municipalities of Huamantla and Atlitzayanca, Tlaxcala.

Evento/Rendimiento	Huamantla			Atlitzayanca		
	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto
----- % -----						
Precipitación Baja	40.00	20.00	40.00	40.00	60.00	0.00
Precipitación Normal	21.05	15.78	63.15	21.05	63.15	15.78
Precipitación Excesiva	16.66	33.33	50.00	0.00	50.00	50.00
Frecuencia Baja	0.00	57.14	42.85	0.00	0.00	100.00
Frecuencia Media	29.41	58.82	11.76	26.31	26.31	31.03
Frecuencia Alta	33.33	66.66	0.00	12.50	12.50	75.00

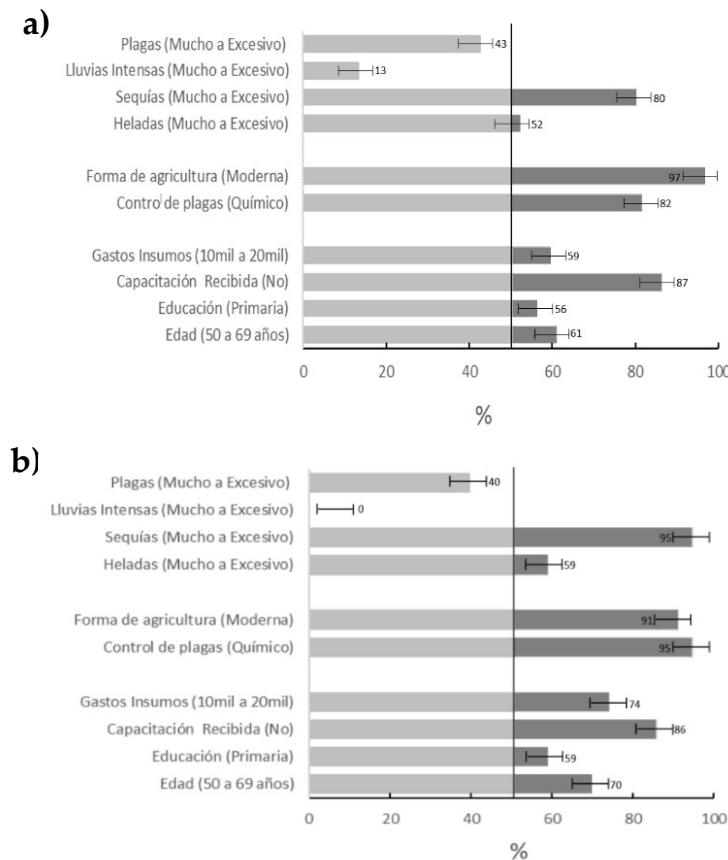


Figura 5. Factores con mayor impacto en la producción agrícola de temporal. a) Datos obtenidos en Huamantla. b) Datos obtenidos en Atlitzayanca.

Figure 5. Factors with the greatest impact on rainfed agricultural production. a) Data collected in Huamantla. b) Data collected in Atlitzayanca.

De acuerdo con Orozco-Bolaños, Hernández, García y Suárez (2019), los productores del estado enfrentan diversos desafíos que coinciden con los hallazgos de este estudio, como el envejecimiento de la población rural, pues un gran porcentaje de los productores es adulto mayor. Esta situación refleja un problema estructural vinculado a la falta de transición generacional, que pone en peligro la continuidad de la producción agrícola.

La migración de las nuevas generaciones hacia entornos urbanos y actividades ajenas al campo contribuye a interrumpir la transmisión intergeneracional del conocimiento campesino. Además, se encontró que la sequía es el principal desafío climático, por lo que tiene un impacto devastador en la producción. De igual forma, el bajo nivel educativo y la falta de capacitación técnica impiden la implementación de prácticas agrícolas.

Lazos-Chavero (2014) menciona la fuerte dependencia de productos químicos para el control de plagas sugiriendo una agricultura moderna inducida por el agronegocio, lo cual, también se refleja en la información recabada en este trabajo. Este proceso ha generado una desterritorialización que vuelve a los campesinos codependientes de los agroquímicos y la maquinaria pesada. Esta dependencia deteriora el ambiente y representa una carga económica considerable para los campesinos, quienes enfrentan costos elevados de insumos, renta de maquinaria y mantenimiento de sus cultivos.

Running (2012), señala que el uso de fertilizantes sintéticos ha aumentado en un 500% en los últimos cincuenta años como respuesta a la degradación del suelo. Este incremento ha contribuido a la pérdida de fertilidad de la tierra y ha contaminado los cuerpos de agua, provocando la proliferación de algas y la muerte de peces. Además, el uso intensivo de agroquímicos ha afectado a los polinizadores esenciales para el equilibrio ecológico. Por su parte, la maquinaria agrícola ha favorecido la compactación del suelo y el deterioro de su estructura.

Otros aspectos clave para comprender el contexto en el que se desarrolla la agricultura de temporal en la región de estudio, se observan en la Figura 6. Se encontró que los campesinos han sembrado maíz, principalmente, durante un periodo de entre 30 y 59 años en ambos municipios. En Atlitzayanca hay una tendencia a sembrar también otros cultivos como calabaza y frijol, lo que coincide con una mayor proporción de chapulín como plaga con respecto a Huamantla.

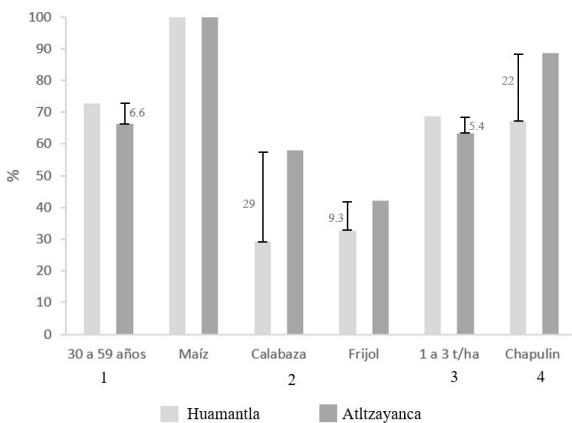


Figura 6. Panorama agrícola de los productores de maíz de temporal en Huamantla y Atlitzayanca, Tlaxcala. 1) rango de edad predominante, 2) principales cultivos asociados, 3) rendimiento promedio ($Mg\ ha^{-1}$) y 4) principal plaga reportada. Datos obtenidos mediante encuesta aplicada en 2025.

Figure 6. Agricultural overview of rainfed maize producers in Huamantla and Atlitzayanca, Tlaxcala. 1) Predominant age range, 2) Main associated crops, 3) Average yield ($Mg\ ha^{-1}$), and 4) Main reported pest. Data obtained through a survey conducted in 2025.

Entrevista

En los municipios de Huamantla y Atlitzayanca, los campesinos que cultivan maíz de temporal enfrentan una serie de problemáticas que han afectado la productividad agrícola. El problema más recurrente en los dos municipios es la baja precipitación, que en los últimos años ha intensificado su impacto, alterando el calendario de lluvias y la fecha de siembra. Hasta hace 20 años, la siembra se iniciaba entre marzo y abril, pero ahora se ha desplazado a junio o incluso a julio. Ante este desplazamiento de las fechas de siembra, se requieren variedades de ciclo corto, que completen su ciclo productivo antes de las primeras heladas y dentro de la humedad disponible por el temporal de lluvias.

Aunque el uso de variedades de ciclo corto es una solución, constituye una contradicción debido a su menor potencial productivo. De igual manera, se ha observado un aumento en las temperaturas, lo que afecta a la producción de maíz por la mayor demanda evapotranspirativa del ambiente. Además, los productores señalaron que esta drástica caída en los rendimientos ocurrió en los últimos cuatro a cinco años, coincidiendo con la disminución de la precipitación, el aumento de las temperaturas y la mayor presencia de plagas, condiciones que limitaron el desarrollo del cultivo. Esta pérdida ha sido atribuida tanto a los factores climáticos como a las plagas y la baja fertilidad del suelo.

Los cambios climáticos han incrementado la incidencia y la severidad de las plagas más comunes como el chapulín, el gusano cogollero, el picudo, el fraile, la gallina ciega, las tusas y el gorgojo. Los campesinos reportan que los altos costos de los insumos representan una de sus principales problemáticas, ya que estos aumentan constantemente mientras que la rentabilidad de la agricultura disminuye.

En la comunidad de Ignacio Zaragoza del municipio de Huamantla, se ha detectado un problema reciente de pudrición del maíz ya almacenado; los entrevistados lo relacionan con el aumento de la temperatura o con algún hongo, aunque no se cuenta con pruebas de laboratorio al respecto. Este problema no fue reportado en Atlitzayanca. Otro elemento común es la falta de apoyo técnico e institucional. En ambos municipios, los campesinos afirman no haber recibido asistencia técnica para enfrentar los efectos del cambio climático. A pesar de todos estos retos, la siembra de maíz continúa.

Con base en los datos obtenidos mediante cuestionarios y entrevistas, se presentan algunas similitudes y diferencias en la información. Tanto el cuestionario como las entrevistas coinciden en que las bajas precipitaciones son el principal desafío climático; aunque también reviste importancia para la producción, la inexistente capacitación técnica y los altos costos de los insumos.

Hay diferencias importantes en otros temas, por ejemplo, en el rendimiento del maíz de temporal, los cuestionarios indican que la mayoría de los productores obtienen rendimientos moderados, con un promedio general de 2.25 Mg ha^{-1} , mientras que en las entrevistas se mencionó una producción mucho más baja de 400 a 600 kg ha^{-1} lo cual coincide con lo reportado por Orozco-Bolaños *et al.* (2019), quienes mencionan rendimientos excepcionalmente bajos incluyendo valores mínimos como 93 kg ha^{-1} , hasta un máximo de 660 kg ha^{-1} , registrados únicamente bajo condiciones de eventos climáticos extremos mencionando que, de 39 municipios, 56% de ellos son los más vulnerables a las variaciones climáticas.

De manera similar a los resultados de este estudio, Orozco-Hernández y López (2007) encontraron que los campesinos enfrentan problemas que afectan su agricultura, como la variabilidad climática, el ataque de plagas, el deterioro del suelo, la limitada capacitación y los altos precios de los insumos. Estas condiciones han afectado directamente la producción y, por ende, sus condiciones de vida, lo que los ha convertido en un sector muy vulnerable y sujeto a políticas externas. Las condiciones que viven los campesinos los han llevado a adoptar múltiples estrategias, como negociar con la tierra, cambiar de cultivo, adoptar nuevas tecnologías, entre otras. Todas y cada una de estas son apoyadas por un proceso racional de decisiones cuyo objetivo es y será la supervivencia.

CONCLUSIONES

El cultivo de maíz de temporal enfrenta múltiples desafíos para la producción en la zona de estudio, pero las bajas precipitaciones y las heladas son los principales problemas. La presente investigación identificó el grado de vulnerabilidad de 20% ante baja precipitación del maíz de temporal, así como los factores que contribuyen a intensificarla.

El estudio mostró diferencias entre la información de los cuestionarios y la de las entrevistas. Mientras los cuestionarios reportan rendimientos moderados, las entrevistas señalan pérdidas severas y condiciones de subsistencia. Esta variación evidencia una estrategia de supervivencia frente a la incertidumbre productiva y confirma la alta vulnerabilidad del sector agrícola ante los factores climáticos analizados y otros factores externos.

Aunque esta investigación se centró en identificar los efectos de la variabilidad climática en el rendimiento del maíz de temporal, la aplicación de encuestas y entrevistas permitió identificar otros desafíos para la producción agrícola, como las limitaciones económicas para la adquisición de insumos, la presencia de plagas y el avance de los agronegocios. Si bien estos factores no constituyen el eje central del estudio, su reconocimiento contribuye a comprender de manera más amplia el contexto productivo de la región. Estos elementos, en conjunto con la información obtenida en este trabajo, dan un panorama complejo que exige un enfoque holístico para comprender los riesgos que enfrentan la producción y sustentabilidad del maíz de temporal.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Todos los datos analizados durante este estudio se incluyen en este artículo.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FINANCIACIÓN

Este proyecto y el primer autor de investigación fue financiado por la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI), con número de CVU 1309541

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: J.L.C.M., A.M.R. y M.H.V. Metodología: J.L.C.M. y A.M.R. Software: J.L.C.M. Validación: A.M.R. y M.H.V. Análisis formal: J.L.C.M. Investigación: J.L.C.M. y A.M.R. Recursos: J.L.C.M. Curación de datos: J.L.C.M. Escritura, preparación del borrador original: J.L.C.M., A.M.R. y M.H.V. Escritura, revisión y edición: J.L.C.M., A.M.R. y M.H.V. Visualización: J.L.C.M. Supervisión: J.L.C.M., A.M.R. y M.H.V. Administración del proyecto: J.L.C.M. y A.M.R. Adquisición de fondos: J.L.C.M.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto y el primer autor agradecen a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el financiamiento brindado mediante la beca de posgrado. Se reconoce el valioso apoyo de los campesinos que colaboraron generosamente proporcionando la información necesaria para esta investigación. Asimismo, se agradece a El Colegio de Tlaxcala A.C., compañeros y docentes que contribuyeron y asesoraron durante el desarrollo de este trabajo.

LITERATURA CITADA

- Barriendos-Vallvé, M. (2005). Variabilidad climática y riesgos climáticos en perspectiva histórica; el caso de Catalunya en los siglos XVIII y XIX. *Revista de historia moderna*, 23, 11-13.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (2024). *Información Meteorológica del estado de Tlaxcala*. Consultado el 20 de marzo, 2024, desde <https://smn.conagua.gob.mx/es/>
- Corte-Cruz, P. S., & Carrillo-Huerta, M. M. (2018). Impactos del Programa Procampo en la producción de maíz y frijol en México, 2000-2010. *EconoQuantum*, 15(2), 95-112. <https://doi.org/10.18381/eq.v15i2.7130>
- Creswell, J. W. (2014). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (4th ed.). Thousand Oaks, CA, USA: SAGE Publications.
- Cruz-González, A., Arteaga-Ramírez, R., Sánchez-Cohen, I., Soria-Ruiz, J., & Monterroso-Rivas, A. I. (2024). Impactos del cambio climático en la producción de maíz en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 15(1), 1-15. <https://doi.org/10.29312/remexca.v15i1.3327>
- Denzin, N. K., & Lincoln, Y. S. (2011). *The SAGE Handbook of Qualitative Research* (5th ed.). Thousand Oaks, CA, USA: SAGE Publications.
- Flick, U. (2018). *An Introduction to Qualitative Research* (5th ed.). Thousand Oaks, CA, USA: SAGE Publications.
- Gallegos-Cedillo, J., Arteaga-Ramírez, R., Vázquez-Peña, M. A., & Juárez-Méndez, J. (2015). Estimation of missing daily precipitation and maximum and minimum temperature records in San Luis Potosí. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 8(1), 3-16. <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2015.11.008>
- González-Cortés, N., Silos-Espino, H., Estrada-Cabral, J. C., Chávez-Muñoz, J. A., & Tejero-Jiménez, L. (2016). Characteristics and properties of maize (*Zea mays* L.) grown in native Aguascalientes, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(3), 669-680.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6^a ed.). Distrito Federal, México: McGraw-Hill Interamericana. ISBN 978-1-4562-2396-0
- Hernández-Vázquez, M., Orozco-Bolaños, H., García-Juárez, G., Jiménez-López, J., Herrera-Cortés, S., Suárez-González, G., & Morales-Acoltz, T. (2019). Análisis de la agricultura de temporal en Tlaxcala y su relación con el cambio climático: Caso maíz de temporal. En M. Hernández-Vázquez, G. García Juárez, & H. Orozco-Bolaños (Eds.). *Cambio climático y seguridad alimentaria: Maíz de temporal, percepción y aflatoxinas en el estado de Tlaxcala* (pp. 37-64). Tlaxcala: Universidad Autónoma de Tlaxcala.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). (1994). *Estado de Tlaxcala Cuaderno Estadístico Municipal*. Consultado el 24 de febrero, 2024, desde https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/1334/702825923525/702825923525_1.pdf
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). (2005). *Síntesis sociodemográfica municipal de Huamantla*. Consultado el 24 de febrero, 2024, desde https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/censos/poblacion/sint_sociodem/Sint_Huamantla.pdf
- Lazos-Chavero, E. (2014). Consideraciones socioeconómicas y culturales en la controvertida introducción del maíz transgénico: el caso de Tlaxcala. *Sociología*, 29(83), 201-240.
- López-Feldman, A. J., & Hernández-Cortés, D. (2016). Cambio climático y agricultura: una revisión de la literatura con énfasis en América Latina. *El Trimestre Económico*, 83(332), 1-15. <https://doi.org/10.20430/ete.v83i332.231>
- Matías-Ramírez, L. G., Fuentes-Mariles, O. A., & García-Jiménez, F. (2021). *Heladas*. Ciudad de México, México: Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- Moreno-Sánchez, A. R., & Urbina-Soria, J. (2008). *Impactos sociales del cambio climático en México*. Ciudad de México, México: Instituto Nacional de Ecología. ISBN 978-968-817-883-6
- OMM (Organización Meteorológica Mundial). (2006). *Declaración de la OMM sobre el estado del clima mundial en 2005*. Ginebra, Suiza: Organización Meteorológica Mundial. ISBN: 92-63-30998-1
- Orozco-Bolaños, H., Hernández-Vázquez, M., García-Juárez, G., & Suárez-González, G. (2019). Cambio climático: Una percepción de los productores de maíz de temporal en el estado de Tlaxcala, México. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 10(19), 1-26. <https://doi.org/10.23913/ciba.v8i16.89>
- Orozco-Hernández, M. E., & López-Andrés, D. (2007). Estrategia de supervivencia familiar en una comunidad campesina del Estado de México. *Ciencia Ergo Sum*, 14(3), 246-254.
- Patton, M. Q. (2015). *Qualitative Research & Evaluation Methods* (4th ed.). Thousand Oaks, CA, USA: SAGE Publications.
- Rincón-Tuxxi, J. A., Castro-Nava, S., López-Santillán, J. A., Huerta, A. J., Trejo-López, C., & Briones-Encinia, F. (2006). Temperatura alta y estrés hídrico durante la floración en poblaciones de maíz tropical. *Revista Internacional de Botánica Experimental*, 75, 31-40.

- Ruiz-Corral, J. A., Hernández-Casillas, J. M., Sánchez-González, J. J., Ortega-Corona, A., Ramírez-Ojeda, G., Guerrero-Herrera, M. J., ... & de la-Cruz-Larios, L. (2013). *Ecología, adaptación y distribución actual y potencial de las razas mexicanas de maíz* (Libro Técnico No. 5). Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México: INIFAP-CIRPAC. ISBN 978-607-37-0187-7
- Running, S. W. (2012). A measurable planetary boundary for the biosphere. *Science*, 337(6101), 1458-1459.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2023). Rendimientos de granos por Estados y años. Consultado el 24 de febrero, 2024, desde <http://nube.siap.gob.mx/>
- Teddlie, C., & Yu, F. (2007). Mixed Methods Sampling: A Typology With Examples. *Journal of Mixed Methods Research*, 1(1), 77-100. <https://doi.org/10.1177/2345678906292430>
- Tinoco-Rueda, J. A. (2011). Efectos del cambio climático en la distribución potencial del maíz en el estado de Jalisco, México. *Terra Latinoamericana*, 29(2), 161-168.
- Urango, L. A. (2018). Componentes del maíz en la nutrición humana. En G. M. Hoyos (Ed.). *Algunos componentes generales, particulares y singulares del maíz en Colombia y México* (pp. 185-209). Colombia: Fondo Editorial Biogénesis, Universidad de Antioquia.
- Walker, D., Parkin, G., Gowing, J., & Haile, A. T. (2019). Development of a Hydrogeological Conceptual Model for Shallow Aquifers in the Data Scarce Upper Blue Nile Basin. *Hidrología*, 6(2), 3-24. <https://doi.org/10.3390/hydrology6020043>
- Wilks, D. S. (1995). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. Cambridge, Massachusetts, USA: Academic Press.
- WMO (World Meteorological Organization). (1992). *International Meteorological Vocabulary* (WMO/OMM/BMO). Ginebra, Suiza: World Meteorological Organization.