

Impacto del estrés hídrico en la producción de maíz grano (*Zea mays* L.) en el norte de Durango: Rodeo, Nazas y Mapimí.

Impact of water stress on grain maize (*Zea mays* L.) production in northern Durango: Rodeo, Nazas, and Mapimí.

Oscar Lugo-Palacios¹, Aaron David Lugo-Palacios², José Luis García-Hernández³, María Esther Rios Vega⁴, Raúl Eduardo Lugo-Palacios⁵

^{1, 3} Facultad de Agricultura y Zootecnia, Universidad Juárez del Estado de Durango. Km 35 Carretera Gómez Palacio-Tlahualilo, Ejido Venecia, Durango, México, CP 35111. ² Programa Institucional de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango. Gómez Palacio, Durango, México, CP 35111. ⁴ Universidad Juárez del Estado de Durango, Facultad de Agricultura y Zootecnia. Venecia, Gómez Palacio, Durango, México, CP 35111. ⁵ Programa Agua-Suelo, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Torreón. División de Estudios de Posgrado e Investigación. Torreón, Coahuila, México. CP 27000.

ORCID: ¹<https://orcid.org/0009-0006-5363-6688> | ²<https://orcid.org/0009-0008-0637-5379> | ³<https://orcid.org/0000-0002-9190-8190> | ⁴<https://orcid.org/0000-0002-7527-9806> | ⁵<https://orcid.org/0009-0008-3483-0973>

Autores de correspondencia: oscar21iupa@gmail.com (O.L.P.); aaronlugo@hotmail.com (A.D.L.P.); luis_garher@hotmail.com (J.L.G.H.); esther.rios@ujed.mx (M.E.R.V.); raul.eduardo.lugo@hotmail.com (R.E.L.P.).

Resumen:

En México, el maíz grano trasciende su valor alimentario para consolidarse como el eje de la estabilidad socioeconómica nacional; no obstante, esta seguridad hoy se ve comprometida por la agudización de las sequías bajo el actual escenario de cambio climático. Este trabajo examina la vulnerabilidad de la agricultura de temporal en el semidesierto de Durango, específicamente en los municipios de Rodeo, Nazas y Mapimí, cubriendo una serie histórica de 21 años (2003-2024). A través del contraste entre las categorías de severidad del Monitor de Sequía en México (MSM) del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y los registros productivos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) como superficie cultivada, siniestrada y rendimientos, se logró cuantificar el impacto real del déficit hídrico sobre el terreno. Los hallazgos revelan patrones de pérdida recurrentes y umbrales críticos de siniestralidad que dependen directamente de la cobertura espacial de la sequía. Más allá del registro estadístico, esta investigación aporta evidencia local indispensable para transitar hacia modelos predictivos y fortalecer la resiliencia de los productores en la Comarca Lagunera ante una variabilidad climática cada vez más severa.

Palabras Clave: Vulnerabilidad climática, Agricultura de temporal, Comarca Lagunera, Siniestralidad, Resiliencia agrícola.

Abstract:

In Mexico, grain maize transcends its nutritional value to establish itself as the backbone of national socioeconomic stability; however, this security is currently compromised by the intensification of droughts under the current climate change scenario. This paper examines the vulnerability of rain-fed agriculture in the semi-desert of Durango, specifically in the municipalities of Rodeo, Nazas, and Mapimí, covering a 21-year historical series (2003-2024). By contrasting the severity categories of the North American Drought Monitor—Mexico (MSM) from the National Meteorological Service (SMN) of the National Water Commission (CONAGUA) with production records from the Agri-Food and Fisheries Information Service (SIAP), such as cultivated area, crop failure area, and yields, the real impact of water deficits on the ground was quantified. The findings reveal recurrent loss patterns and critical crop failure thresholds that depend directly on the spatial coverage of the drought. Beyond statistical records, this research provides indispensable local evidence to transition toward predictive models and strengthen the resilience of producers in the Comarca Lagunera in the face of increasingly severe climate variability.

Keywords: Climate vulnerability, Rain-fed agriculture, Comarca Lagunera, Crop failure, Agricultural resilience.

Introducción

El maíz grano en México es uno de los granos básicos con mayor relevancia socioeconómica (Reyes et al., 2022). Este alimento no solo tiene una alta producción, sino que también cuenta con un consumo anual de 120.5 kg por persona en el país (Cruz-González et al., 2024). El maíz de temporal es el cultivo que depende exclusivamente de la lluvia, siendo fundamental en México con más del 80% de la producción bajo este sistema. Sin embargo, una de las mayores problemáticas en los últimos años, es el efecto del cambio climático en diversos sectores económicos, incluyendo el sector agrícola (Lugo-Palacios et al., 2024). La sequía es un fenómeno recurrente en zonas áridas y semiáridas, se presenta como el déficit hídrico en largos periodos de tiempo. A nivel mundial se cuenta con diversos registros de este fenómeno, a pesar de ello, es complejo identificar su comienzo (Orimoloye et al., 2022). México, debido a su ubicación, es propenso a este fenómeno cada vez más en el norte y centro-norte del país (Vaca-Genuit & Reyes-Hernández, 2025). La Comarca Lagunera al encontrarse en dicha parte del país, tiene mayor incidencia de sequías, lo cual afecta en su disponibilidad de recurso hídrico. Los meses junio a septiembre acumulan los mayores niveles de precipitación (con un máximo de 51.6 mm en septiembre). No obstante, el escaso aporte de lluvia durante el resto del año (generalmente por debajo de los 20 mm mensuales) limita el periodo de la actividad agrícola (Salas-Gutiérrez et al., 2025). La precipitación media en la Comarca Lagunera es de 250 mm y se cuenta con una evaporación potencial aproximada de 2,500 mm anuales (Orona-Castillo et al., 2024). En cuanto a la precipitación media de los

municipios Rodeo, Nazas y Mapimí, estos se localizan dentro de la región semiárida Nazas-Aguana-val, caracterizada por precipitaciones medias anuales entre 350 y 900 mm, dependiendo de la altitud y ubicación dentro de la cuenca (Arriaga et al., 2019).

A pesar de ser una problemática en regiones áridas y semiáridas, el estudio longitudinal del impacto que tiene la sequía en la producción agrícola es limitado (Lugo-Palacios et al., 2026). Esto impide la creación de modelos predictivos locales para municipios con alta dependencia de producción por temporal como lo son Rodeo, Nazas y Mapimí. Por este motivo y teniendo en cuenta la importancia del maíz grano, es prioridad evaluar que afectaciones ponen en riesgo su producción a largo plazo. En consecuencia, este estudio tiene como objetivo analizar el grado de sequía y la producción de maíz grano por temporal en el periodo de 2003 al 2024 en tres municipios pertenecientes a la Comarca Lagunera de Durango.

Desarrollo o metodología

La presente investigación se desarrolló en tres municipios estratégicos del estado de Durango: Rodeo, Nazas y Mapimí. Estas demarcaciones fueron seleccionadas por su representatividad climática y productiva dentro de la región semidesértica del norte de México, una zona caracterizada por una alta vulnerabilidad hidroclimatológica.

Para el análisis de la productividad agrícola, se realizó una extracción sistemática de datos provenientes del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). El periodo de estudio comprendió una serie histórica de 21 años (2003-2024), lo

que permitió capturar la variabilidad interanual y las tendencias a largo plazo de las variables críticas de producción. Específicamente, se tabularon y analizaron cuatro indicadores fundamentales:

- **Superficie sembrada:** como indicador del potencial productivo inicial.
- **Superficie siniestrada:** para cuantificar las pérdidas directas.
- **Rendimiento (t/ha):** como medida de eficiencia bajo condiciones de estrés.

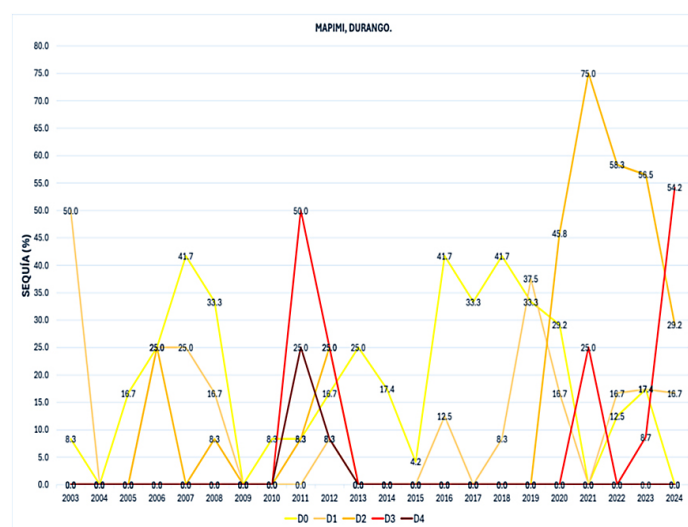
De forma complementaria, y con el fin de establecer una correlación robusta entre el clima y la agricultura, se integraron los registros históricos del Monitor de Sequía en México (MSM), coordinado por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Debido a que la sequía es un fenómeno espacialmente heterogéneo, fue necesario realizar una estandarización de la magnitud climática.

Para ello, la intensidad de la sequía no se trató únicamente como un valor cualitativo, sino que se transformó en una variable cuantitativa expresada mediante el porcentaje de tiempo afectado dentro del territorio municipal. Se desglosó el impacto para cada una de las categorías técnicas del MSM, abarcando desde condiciones de Anormalmente Seco (D0) hasta Sequía Excepcional (D4). Este procedimiento de normalización espacial permitió identificar con precisión la severidad del fenómeno y facilitó el análisis comparativo con las fluctuaciones en el rendimiento de los cultivos locales. El grado de asociación entre las variables cuantitativas estudiadas

se determinó mediante el coeficiente de correlación por rangos de Spearman (ρ), seleccionando este enfoque no paramétrico debido a la distribución de los datos. Todos los análisis estadísticos se ejecutaron utilizando el software JASP.

Resultados

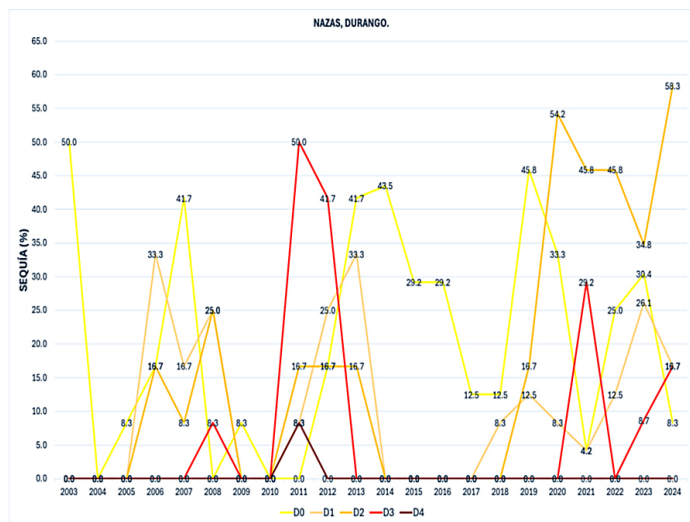
El comportamiento de la sequía en el municipio de Mapimí se muestra en la figura 1.



D0=Anormalmente seco; D1=Sequía moderada; D2=Sequía severa; D3=Sequía extrema; D4=Sequía excepcional.

Figura 1. Comportamiento de sequía en el municipio de Mapimí, Dgo., México en el periodo.

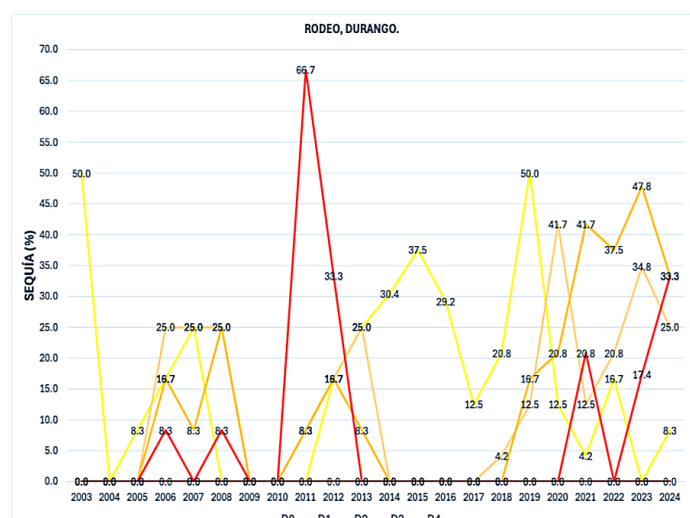
En la cual, destacan los años 2003, 2006, 2007, 2008, 2011, 2016, 2018, 2019, 2021, 2022, 2023 y 2024. La presencia de sequía D4 únicamente se muestra en los años 2011 (25%) y 2012 (8.3%), en cuanto a la sequía D3, los años 2011, 2021, 2023 y 2024 tienen este grado, oscilando entre 8.7% hasta un 54.2%. La figura 2, muestra el comportamiento de la sequía en el municipio de Nazas.



D0=Anormalmente seco; D1=Sequía moderada; D2=Sequía severa; D3=Sequía extrema; D4=Sequía excepcional.

Figura 2. Comportamiento de sequía en Nazas

En este caso, los años que tienen alta presencia de sequía son 2003, 2006, 2007, 2008, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024. La D4 solo está presente en el año 2011 con un 8.3%, para la sequía D3, se muestra en los años 2008, 2011, 2012, 2021, 2023 y 2024, oscilando entre un 8.3% hasta un 50%. En la figura 3, se muestra la sequía para el municipio de Rodeo.



D0=Anormalmente seco; D1=Sequía moderada; D2=Sequía severa; D3=Sequía extrema; D4=Sequía excepcional.

Figura 3. Comportamiento de sequía en Rodeo.

En Rodeo destacan los años 2003, 2006, 2007, 2008, 2011, 2012, 2013, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023 y 2024. En este municipio no hay presencia de sequía D4 y la sequía D3 está presente en los años 2006, 2008, 2011, 2021, 2023 y 2024, oscilando entre 8.3% y 66.7%.

En la figura 4, se muestran los valores de superficie sembrada de los tres municipios.

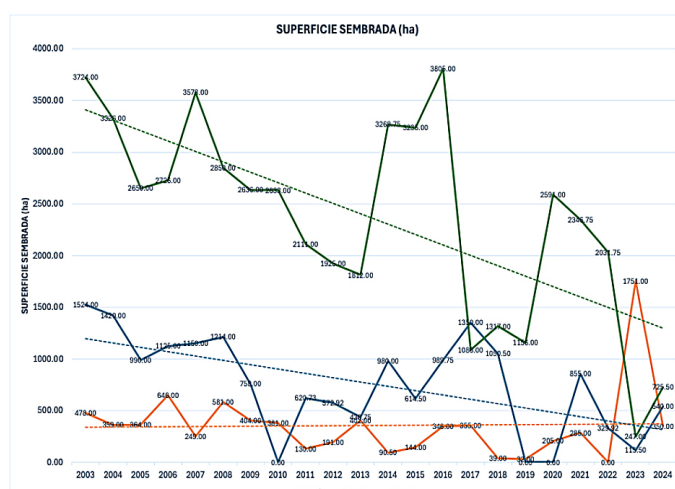


Figura 4. Comportamiento de la superficie sembrada de maíz grano en los municipios (ha).

La dinámica de la superficie sembrada en los municipios analizados refleja una estrategia de adaptación y, en años recientes, un desincentivo estructural ante el riesgo climático recurrente. Rodeo se posiciona históricamente como el principal polo productor, alcanzando un máximo de 3,806 ha en 2017, lo cual contrasta con la baja intención de siembra en Nazas y Mapimí. No obstante, el análisis de Spearman muestra que conforme transcurre el tiempo se ejerce una relación negativa sobre la planeación del cultivo, obteniendo correlaciones inversas y altamente significativas entre el año y la superficie sembrada tanto en Rodeo ($\rho = -0.675^{***}$, $p < 0.001$) como en Nazas ($\rho = -0.609^{**}$, $p = 0.003$).

Al relacionar el impacto del estrés hídrico sobre la siembra, se identificó que, en Nazas y Rodeo, D2 mostró una correlación negativa y estadísticamente significativa ($\rho=-0.479^*$, $p=0.024$ para ambos municipios). Esta relación sugiere que los productores prefieren no arriesgarse ante las sequías seguidas. La falta de lluvias seguras hace que piensen dos veces antes de invertir en la siembra de temporal. Según Lluch-Cota et al. (2022), la superficie apta para el maíz en zonas áridas de México podría reducirse drásticamente debido a que la variabilidad interanual de la precipitación vuelve económicamente inviable la inversión inicial en semillas e insumos de temporal. En cuanto a Mapimí, no se mostró una asociación significativa entre la superficie sembrada y los niveles de sequía. La figura 5, muestra el comportamiento de la superficie siniestrada.

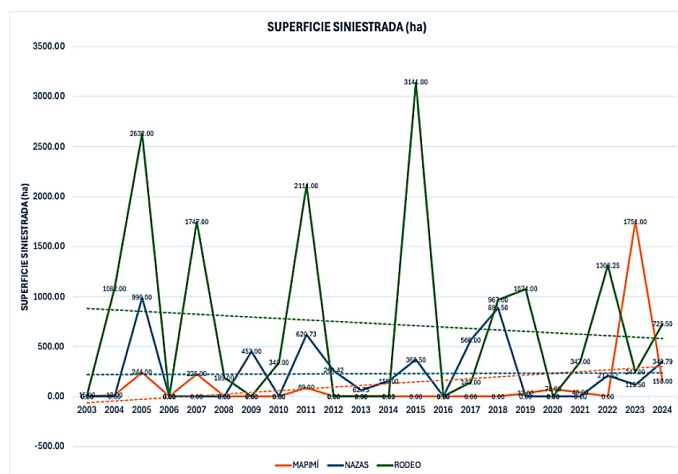


Figura 5. Comportamiento de la superficie siniestrada de maíz grano en los municipios (ha).

El análisis de la superficie siniestrada constituye el indicador más directo de la vulnerabilidad biofísica de la región. El análisis de Spearman nos indica que en el municipio de Mapimí hay una correlación positiva estadísticamente significativa entre la sequía D3 y la superficie siniestrada ($\rho=0.466^*$, $p=0.029$). Al

respecto, Sáez-Cigarrita et al (2024) señala que, la falta de humedad en etapas críticas como la floración y el llenado de grano reduce la posibilidad de cosecha, convirtiendo la siniestralidad en una constante. Caso contrario en Nazas y Rodeo, las correlaciones no alcanzaron significancia estadística. Dicho comportamiento sugiere que, al reducir el área sembrada ante la presencia de sequías, se logra amortiguar el número de hectáreas expuestas a pérdida total del cultivo.

En la figura 6, se muestra la fluctuación del rendimiento (ton/ha) del cultivo para los tres municipios.

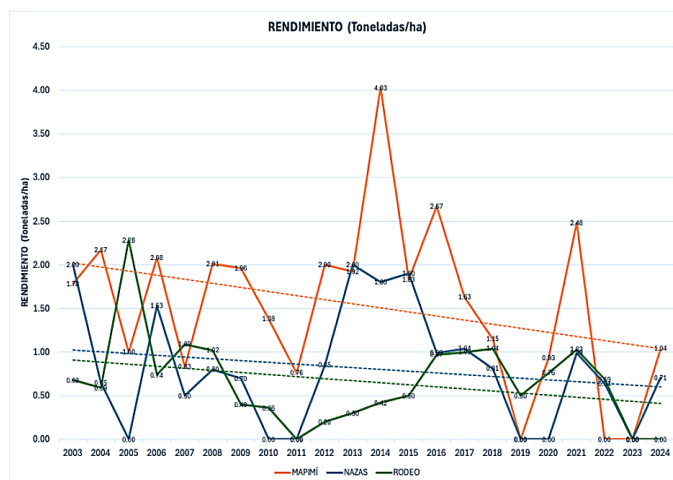


Figura 6. Rendimiento maíz grano (t/ha).

El rendimiento obtenido sintetiza el impacto final del déficit hídrico sobre la fisiología del cultivo. En la región, el rendimiento promedio fluctúa en niveles marginales de 0.4 a 1.2 t/ha, cifras que, según el CIMMYT (2017), están por debajo del umbral de rentabilidad mínima para el maíz grano.

En Mapimí, el rendimiento no se correlacionó de manera directa con los niveles de sequía, pero mostró una correlación negativa significativa con la superficie siniestrada ($\rho=-0.528^*$, $p=0.011$).

En Nazas, el rendimiento mantuvo una relación positiva con la superficie sembrada ($p=0.435^*$, $p=0.043$), lo que indica que los años climáticamente viables para expandir la siembra corresponden simultáneamente con los mayores logros en eficiencia productiva por hectárea.

En cuanto a Rodeo, se detectó una tendencia negativa la cual roza el umbral de significancia frente a la sequía D3 ($p=-0.385$, $p=0.077$). Como indican Ibarra-Sánchez et al. (2020), el retraso en la emergencia de estigmas provocado por el estrés hídrico severo genera una asincronía fenológica que resulta en mazorcas vanas, explicando por qué en años de sequía extrema la productividad se a niveles críticos a pesar de haber logrado la germinación inicial.

Hallazgos y/o conclusiones

El análisis longitudinal de 21 años (2003-2024) permite concluir que la producción de maíz grano de temporal en los municipios de Rodeo, Nazas y Mapimí se encuentra en un estado de vulnerabilidad extrema ante la variabilidad climática. El análisis de Spearman revela que los municipios operan bajo dos dinámicas de riesgo y adaptación. Mapimí por un lado se caracteriza por establecer su superficie sembrada de manera independiente a los indicadores de sequía, esto provoca que el estrés hídrico extremo tenga influencia directa sobre la fase reproductiva del cultivo, detonando una correlación positiva y significativa entre la cobertura de la sequía D3 y la superficie siniestrada ($p=0.466^*$, $p=0.029$).

En los municipios de Nazas y Rodeo se muestra una dinámica de adaptación y contención económica, la

presencia de una sequía D2 contrae la superficie sembrada ($p=-0.479^*$, $p=0.024$) por los productores. Esta reducción proactiva del área agrícola actúa como un escudo adaptativo que amortigua el volumen absoluto de hectáreas expuestas a la pérdida total, evitando que se disparen los índices de siniestralidad estadística a costa de una contracción consciente de la actividad productiva regional.

De igual manera, se observó que el avance del tiempo una relación negativa en la región, mostrando caídas en la superficie sembrada conforme avanzan los años en Rodeo ($p=-0.675^{***}$) y Nazas ($p=-0.609$). Esta investigación subraya la urgencia de transitar hacia esquemas de gestión de riesgo y modelos predictivos locales que permitan fortalecer la seguridad socioeconómica de los productores de la región frente a un escenario de cambio climático que ya no es una amenaza futura, sino una realidad.

Citas y referencias

- Arriaga, G. E., Paredes, J. C., Cohen, I. S., Valle, M. A. V., López, F. F., y Hurtado, P. B. (2019). Análisis temporal de sequías (1922-2016) en la cuenca alta del río Nazas usando el SPI y su relación con ENSO. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 10(5), 126-153. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-05-04>
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (2017). Maíz para México: *Plan estratégico 2030*. CIMMYT. <https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/20219/60937.pdf>
- Comisión Nacional del Agua. (2026). Monitor de Sequía en México. *Servicio Meteorológico Nacional*. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>

- Cruz-González, A., Arteaga-Ramírez, R., Sánchez-Cohen, I., Soria-Ruiz, J., y Monterroso-Rivas, A. I. (2024). Impactos del cambio climático en la producción de maíz en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 15(1), e3327. <https://doi.org/10.29312/remexca.v15i1.3327>
- Ibarra Sánchez, E., Castillo Gutiérrez, A., Núñez Valdéz, M. E., Suárez Rodríguez, R., Andrade Rodríguez, M., y Perdomo Roldán, F. (2020). Caracterización de la respuesta a la sequía de líneas segregantes de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(7), 1511-1524. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i7.2196>
- Lluch-Cota, S. E., Velázquez Zapata, J. A., y Nieto Delgado, C. (2022). Agricultura, agua y cambio climático en zonas áridas de México. *Recursos Naturales y Sociedad*, 8(2), 35-48. <https://doi.org/10.18846/renasoc.v8i2.1481>
- Lugo-Palacios, A. D., Rueda-Puente, E. O., Montoya-García, C. O., Orona-Castillo, I., Nava-Camberos, U., y García-Hernández, J. L. (2026). *Agro-climatic suitability of purslane*. *Phyton*, 95(1), 1-15. <http://doi.org/10.32604/phyton.2025.075449>
- Lugo-Palacios, O., Pérez-García, L. A., Álvarez-Macías, C., y Varela-Moreno, R. O. (2024). Xerophilic bioethanol: A modern alternative for biofuel production. *Journal of Environmental Sciences and Natural Resources*, 10(25), 1-8. <https://www.doi.org/10.35429/JESN.2024.10.25.3.8>
- Orimoloye, I. R., Belle, J. A., Orimoloye, Y. M., Olusola, A. O., y Ololade, O. O. (2022). Drought: A common environmental disaster. *Atmosphere*, 13(1), 111. <https://doi.org/10.3390/atmos13010111>
- Orona-Castillo, I., Vázquez-Vázquez, C., Sangerman-Jarquín, D. M., Espinoza-Arellano, J. D. J., y González-Mancilla, A. (2024). Situación de la producción algodонера en La Comarca Lagunera. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 15(7), e3482. <https://doi.org/10.29312/remexca.v15i7.3482>
- Reyes Santiago, E., Bautista Mayorga, F., y García Salazar, J. A. (2022). Análisis del mercado de maíz en México desde una perspectiva de precios. *Acta Universitaria*, 32, e3265. <https://doi.org/10.15174/au.2022.3265>
- Sáez-Cigarruista, A., Morales-Guevara, D., Gordon-Mendoza, R., Jaén-Villarreal, J., Franco-Barrera, J., y Ramos-Manzané, F. (2024). Sensibilidad del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) a diferentes períodos de déficit hídrico controlado. *Agronomía Mesoamericana*, 35(1), e53561. <https://doi.org/10.15517/ame.v35i1.53561>
- Salas-Gutiérrez, J. C., García-Salazar, J. A., Mora-Flores, J. S., Guajardo-Hernández, L. G., Omaña-Silvestre, J. M., y Garduño-García, Á. (2025). Vulnerabilidad de la producción de leche en la Comarca Lagunera ante cambios en el precio de la alfalfa. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 35(65), e251568. <https://doi.org/10.24836/es.v35i65.1568>
- Vaca-Genuit, R. A., y Reyes-Hernández, H. (2025). Análisis del peligro de sequía meteorológica y percepción social del fenómeno en las regiones Media y Huasteca Potosina, México. *Investigaciones Geográficas*, (116), e60919. <https://doi.org/10.14350/rig.60919>