

Evaluación ambiental y económica de la producción de maíz blanco en Guanajuato

María Teresa Maldonado-Mancera ¹

Alejandro Estrada-Baltazar ¹

Brenda Ríos-Fuentes ²

Andrés Mandujano-Bueno ³

Alfredo Josué Gámez-Vázquez ³

José Enrique Botello-Álvarez ^{1, §}

1 Departamento de Ingeniería Bioquímica-Tecnológico Nacional de México en Celaya. Av. Tecnológico y Av. García Cubas, Fovissste, Celaya, Guanajuato, México. CP. 38010.

2 Departamento de Ingeniería Agroindustrial-Ingeniería en Biotecnología-Universidad de Guanajuato. Mutualismo s/n y Río Lerma, Enrique Colunga, Celaya, Guanajuato, México. CP. 38060.

3 Campo Experimental Bajío-INIFAP. Carretera Celaya-San Miguel de Allende km 6.5, Celaya, Guanajuato, México. CP. 38110.

Autor para correspondencia: enrique.botello@itcelaya.edu.mx

Resumen

Se estudió la producción de maíz blanco en Guanajuato entre 2016-2020 en los ámbitos ambiental y económico. Se determinó los factores que contribuyen significativamente en el impacto ambiental de la producción de maíz de riego (MR) y temporal (MT-450), así como su rentabilidad y su contribución a la autosuficiencia local de este grano. El impacto ambiental se evaluó con la metodología del análisis de ciclo de vida, la unidad funcional fue una tonelada de grano, las emisiones se estimaron con Ecoinvent v 3.9 y los indicadores de impacto ambiental se estimaron con ReCiPe 2016 v 1.1. El análisis económico se estudió con un modelo de optimización que busca el máximo ingreso bruto con restricciones de autosuficiencia alimentaria, suelo y agua. El maíz bajo riego y temporal tienen cargas de 871 y 244 kg CO₂eq t⁻¹ respectivamente en el indicador de cambio climático. En riego el impacto ambiental está principalmente asociado al alto consumo de energía eléctrica para la extracción y distribución de agua. En el maíz de temporal el impacto ambiental se asocia a la desproporción en producción e insumos. En el análisis económico se estimó que la producción local de maíz satisface el 83% de la demanda total del grano. La relación monetaria costo/beneficio para maíces de temporal y riego se estimaron de 1.48 y 0.8 respectivamente. La rentabilidad agrícola está condicionada por precios y el mercado: con un cambio de 3% de la superficie irrigada de cereales se puede satisfacer un incremento del 50% de la demanda de hortalizas.

Palabras clave:

Análisis de ciclo de vida (ACV), riego y estacionalidad, sostenibilidad.

Introducción

El maíz es uno de los cereales con mayor importancia alimentaria a nivel mundial y constituye un componente fundamental de la dieta de regiones como África y América (Erenstein *et al.*, 2022; FAO, 2023). En México, el maíz blanco es el principal ingrediente de la alimentación y la tortilla es su principal producto derivado (Espejel-García *et al.*, 2016).

La producción nacional de maíz blanco se destina principalmente al consumo humano, mientras que una gran cantidad de maíz amarillo se importa desde Estados Unidos de América para uso pecuario. En 2023, se importó 17 615 000 t, 40% de la demanda nacional (FAO, 2023). La producción de maíz de temporal entre 1980 y 2022 pasó de 77% al 52% de la producción nacional, cediendo mayor importancia al cultivo de riego (SIAP, 2023).

Para analizar holísticamente la sustentabilidad de la producción de alimentos, la agricultura debe estudiarse como un sistema altamente interrelacionado con los factores sociales, económicos y ambientales.

El término de análisis de sistemas agrícolas (ASA) ha sido empleado para analizar los diferentes factores condicionantes del desempeño económico, social y ambiental de la gestión de una granja o en entornos regionales y nacionales (Macfadyen, 2019). Fenómenos como la globalización afectan los sistemas agrícolas en diferentes formas e intensidades (Lambin y Meyfroidt, 2011).

Países con sistemas agrícolas débiles y vulnerables son afectados por la globalización a través de la dependencia alimentaria asociada al comercio internacional (Lähde *et al.*, 2023), lo que resalta la necesidad de evaluar la sustentabilidad en contextos nacionales e internacionales. Los sistemas agrícolas se pueden representar; a través, de modelos donde los factores de la producción y consumo integran nodos ligados de funciones de transferencia (Walters *et al.*, 2016).

El análisis de ciclo de vida (ACV) es una metodología que atribuye los efectos ambientales al consumo de recursos naturales y energía, emisiones y residuos generados durante los procesos de producción, distribución y consumo (Ríos-Fuentes *et al.*, 2022).

Esta metodología se ha utilizado ampliamente en el análisis ambiental de la producción de maíz. En estudios regionales de Estados Unidos de América, China y Europa el indicador de cambio climático es 271, 640 y 185 kg de CO₂eq t⁻¹ respectivamente (Qi *et al.*, 2018; Holka *et al.*, 2020; Koushki *et al.*, 2023).

El impacto ambiental se relaciona directamente a los factores agroclimáticos locales. Estados Unidos de América, produce grandes cantidades de maíz con costos de producción e impactos ambientales bajos asociados a condiciones climáticas, calidad de suelo, factores tecnológicos y apoyos gubernamentales (Foley *et al.*, 2020).

México aspira alcanzar la autosuficiencia alimentaria del maíz 2024-2030 (SADER, 2025). Una etapa fundamental para lograr esta meta es analizar la sustentabilidad de la producción de maíz como parte integral del sistema agrícola nacional. Se considera que la producción de maíz en Guanajuato manifiesta una brecha de productividad asociada a relaciones productividad/insumos ineficientes que conduce a impactos ambientales y costos de producción altos.

En objetivo de este estudio fue identificar los factores agrícolas y comerciales que condicionan la sustentabilidad de la producción de maíz en Guanajuato; a través, de la metodología ACV y un modelo de optimización, los resultados de este estudio pueden contribuir a entender la problemática agrícola y establecer recomendaciones de mejora.



Materiales y métodos

Análisis ambiental

Se estudió la producción de maíz blanco en Guanajuato durante el periodo 2016-2020. Se aplicó la metodología ACV ISO 14040 y 14044 (ISO, 2006) para evaluar dos escenarios 'maíz de riego' (MR) y 'maíz de temporal (MT-450, regiones con precipitación anual de 450 mm)'. La unidad funcional (UF) es 1 t de maíz cosechado. Los insumos foreground (semillas, fertilizantes, herbicidas) se obtuvieron del INIFAP-Bajío (INIFAP, 2017), la información sobre combustibles y la electricidad utilizados para el riego se obtuvo de FIRA (2024). Los impactos ambientales se estimaron con SimaPro® v9.5 que utiliza la metodología ReCiPe 2016 v1.1 (Huijbregts et al., 2017). Los inventarios background se obtuvieron de la base ecoinvent v3.9.

Análisis económico

En el análisis económico se propuso un modelo matemático de un sistema agrícola con restricciones de autosuficiencia alimentaria, suelo y agua. El modelo considera producción local, importaciones y exportaciones, diferenciando precios locales y externos.

Las importaciones tienen como límite el abasto local. En las exportaciones se consideran dos escenarios: El escenario base representa la producción y el consumo del estado en 2023 (SIAP, 2023; FAO 2023) y extendido, donde se consideró que la demanda externa de productos agrícolas aumentaba 50%.

La función objetivo del modelo se presenta en la ecuación 1, que expresa lograr el máximo del ingreso bruto del sistema agrícola ($\text{Max } I_{\text{bruto}}$), que está integrado por las ventas locales ($V_{i, \text{local}}$) y externas ($V_{i, \text{ext}}$), los costos de producción (GP_i) y los pagos de importación ($GI_{i, \text{imp}}$).

Las variables de decisión en el caso extendido son las superficies dedicadas a cada cultivo. En ambos escenarios se satisfacen las demandas locales de productos agrícolas. El modelo de optimización se resolvió con la rutina Solver de Excel®.

(1)

$$\text{Max } I_{\text{Bruto}} = \sum_i^n V_{i, \text{local}} + \sum_i^n V_{i, \text{ext}} - \sum_i^n GP_i - \sum_i^n GI_{i, \text{imp}}$$

Resultados y discusión

Análisis ambiental

En el Cuadro 1 se presenta el inventario de insumos y rendimientos para la producción de maíz blanco bajo los escenarios MR y MT-450; mientras en el Cuadro 2 se muestran los indicadores de impacto ambiental. En el análisis de la contribución background (en producción de insumos) y foreground (en la producción de maíz) de los factores de la producción sobre el impacto ambiental, se encontró que los principales efectores son el consumo de la energía eléctrica para riego en el escenario MR y la carga ambiental background de DAP (difosfato de amonio), asociado también a la baja productividad en el maíz de temporal MT-450.



Cuadro 1. Inventarios de insumos para la evaluación del ACV.

Descripción	MR	MT-450
Rendimiento (t ha ⁻¹)	7.5	2.8
Labranza mecánica (L diésel UF)	16.67	8.21
Semilla (unidades UF)	11 666	11 410
Fertilizantes (kg UF)		
Urea 00-46-00	47.64	18.9
DAP 18-46-00	11.59	31.06
KCl 00-00-60	-	11.9
Nitrógeno (kg N/UF)	24	14.29
Fósforo (kg P ₂ O ₅ UF)	5.33	14.29
Potasio (kg K ₂ O UF)	-	7.14
Glifosato* (kg IA UF)	0.192	-
Plaguicidas (kg IA UF)	0.051	0.064
Agua (m ³ UF)	666.67	-
Electricidad (kWh UF)	868.67	-

MR= maíz de riego; MT-450= maíz de temporal; UF= unidad funcional; IA= ingrediente activo; * = glifosato (N-(fosfonometil)glicina).

Cuadro 2. Indicadores de punto medio según ReCiPe para los 2 escenarios de maíz.

Categoría de impacto	MR	MT-450
Cambio climático (kg CO ₂ eq)	871.8	244.33
Agotamiento de la capa de ozono (kg CFC-11 eq)	1.2 E-05	4.18 E-06
Radiación ionizante (kBq U ₂₃₅ eq)	25.11	1.43
Formación de partículas en suspensión (kg PM ₁₀ eq)	1.28	0.82
Formación de oxidantes fotoquímicos (kg NMVOC)	1.96	0.36
Acidificación terrestre (kg SO ₂ eq)	2.3	0.64
Eutrificación del agua dulce (kg P eq)	0.02	0.01
Eutrificación marina (kg N eq)	0.14	0.09
Ecotoxicidad terrestre (kg 1.4-DB eq)	0.06	0.06
Ecotoxicidad del agua dulce (kg 1.4-DB eq)	0.15	0.07
Ecotoxicidad marina (kg 1.4-DB eq)	0.28	0.3
Toxicidad humana (kg 1.4-DB eq)	21.67	25.52
Ocupación de tierras agrícolas (m ² a)	1 343.54	3580.15
Ocupación de tierras urbanas (m ² a)	7.15	14.29
Transformación natural de las tierras (m ³)	0.004	0.003
Agotamiento de los metales (kg Fe eq)	4.6	10.29
Agotamiento de los fósiles (kg oil eq)	226.91	36.44
Agotamiento del agua (m ³)	606.3	9.1

El indicador de cambio climático es referente en los estudios de impacto ambiental por su relevancia y asociación a daño en salud humana y los ecosistemas. Este indicador se ha estimado en las regiones más productivas de maíz de Estados Unidos de América, China y Europa con valores de 271, 640 y 185 kg de CO₂eq t⁻¹ respectivamente (Qi *et al.*, 2018; Holka *et al.*, 2020; Koushki *et al.*, 2023).

En estas regiones el efector más importante del impacto ambiental es la fertilización química, donde resalta el DAP que se produce con una carga ambiental grande generada durante su producción por altos consumos de energía y manejos inadecuados de los restos de roca fosfórica agotada, se produce principalmente en China (Zhang *et al.*, 2017).

En México, la dosificación de nitrógeno recomendado es de 250 a 300 kg de N para productividades esperadas de 13 t ha⁻¹ (Sánchez-de Jesús *et al.*, 2024). Sin embargo, el promedio nacional de la producción de maíz para el cultivo irrigado es de 6.74 t ha⁻¹ mientras Sinaloa, Sonora, Baja California, Guanajuato y Chihuahua, el promedio es de 11.14 t ha⁻¹, indicando una brecha de productividad amplia.

En Guanajuato el indicador de cambio climático está asociada principalmente al consumo de energía para la extracción y distribución de agua de pozo. La profundidad promedio de pozos es de 170 m con un rango entre 30-400 m. En México el gasto específico de consumo eléctrico por bombeo de agua subterránea es 1-1.3 kWh m⁻³ (FIRA, 2024).

En esta región de México para agua superficial y riego rodado se hace una asignación de 11 000 m³ ha⁻¹; para agua subterránea se considera una demanda de 5 000 m³ ha⁻¹. En sistemas irrigados de Estados Unidos de América, productividades de hasta 14 t ha⁻¹ se alcanzan con 6 000 m³ ha⁻¹ (Koushki *et al.*, 2023). El consumo de agua y la fertilización química en esta región de México es ineficiente por la baja relación entre producción e insumos generando una de las brechas de productividad de maíz más altas del mundo (GYGA, 2024).

En el caso de maíz de riego, el uso de energía eléctrica para la extracción de agua es el factor dominante. En el cultivo de temporal lo son las cargas ambientales generadas durante la producción de DAP (background).

En el caso de MT-450, la aplicación de DAP se considera el factor dominante en el impacto ambiental. La alta carga ambiental del DAP se asocia a procesos de producción y lixiviación de metales pesados (Zhang *et al.*, 2017). Aunque MT-450 presentó menores impactos en 12 de los 18 indicadores evaluados, registró mayores valores de toxicidad humana, ecotoxicidad marina y terrestre, agotamiento de metales y ocupación de tierras. La ocupación de tierras agrícolas fue 2.66 veces superior a la de MR debido a sus menores rendimientos por unidad funcional.

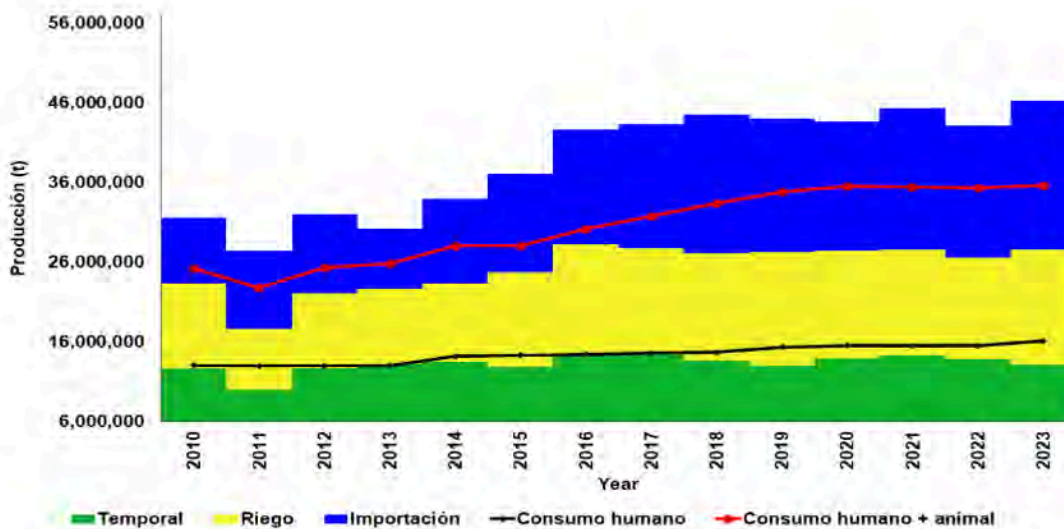
Los resultados muestran que la producción de maíz bajo temporal tiene menores impactos ambientales; sin embargo, sus rendimientos y la superficie sembrada han disminuido 3 923 ha año⁻¹ desde inicios de siglo (SIAP, 2023), principalmente por baja rentabilidad y siniestralidad. El ACV permitió identificar los principales hotspots ambientales en la producción de maíz: energía eléctrica en MR y la relación fertilización-rendimiento en MT-450.

Análisis económico

En la Figura 1 se presenta la evolución del abasto nacional de maíz, integrado por la producción bajo riego y temporal e importaciones, así como el consumo humano y pecuario que representan la demanda total. México importa grandes volúmenes de maíz amarillo a precios internacionales inferiores a los nacionales, lo que ejerce presión sobre el mercado interno (USDA, 2024). La integración comercial ha incrementado la exposición del sistema agrícola mexicano a la volatilidad de precios internacionales y a la competencia externa, limitando la rentabilidad de los granos básicos (OECD, 2023).



Figura 1. Dinámica de la producción y el consumo de maíz en México.



En el Cuadro 3 se presenta el escenario base, que corresponde a las superficies agrícolas sembradas en 2023. Los resultados muestran que la producción local de hortalizas cubre ampliamente la demanda estatal, mientras que los granos básicos no satisfacen completamente los requerimientos de consumo. En particular, el maíz de riego y temporal cubren 61.65 y 23.26% de la demanda local, respectivamente. Por su parte, la producción de brócoli supera ampliamente la demanda interna, lo que confirma su orientación hacia mercados externos (SIAP, 2023; FAO, 2023).

Cuadro 3. Satisfacción de granos básicos con escenarios de sustitución de suelo agrícola.

Cultivo	Base (ha)	Satisfacción (%)	Extendido (ha)	Satisfacción (%)
Maíz riego	157 145	61.65	154 645	60.67
Maíz temporal	213 587	23.26	213 587	23.26
Otros cereales	152 238		144 755	
Frijol	12 353	76.74	9 853	67.97
Brócoli	20 033	4 315.45	24 433	5 263.28
Otras hortalizas	66 353		74 436	
Superficie total (ha)		621 709		621 709
Ingreso bruto		\$6 880 201 655.00		\$11 087 148 608.00

La relación monetaria costo/beneficio para maíces de temporal y riego se estimaron de 1.48 y 0.8 respectivamente, indicando que el maíz de temporal se produce con pérdidas monetarias significativas para los productores. La permanencia de este último sistema se asocia al autoconsumo, la tradición productiva, los apoyos externos y las limitadas alternativas económicas disponibles para los productores rurales (Eakin *et al.*, 2014).

En el escenario extendido, pequeñas reducciones en la superficie destinada a maíz de riego, frijol y otros cereales permiten aumentar la producción de brócoli y otras hortalizas de exportación. El ingreso bruto del sistema aumenta de \$6 880 millones a \$11 087 millones. La solución óptima identificada por el modelo sugiere que la rentabilidad económica favorece la expansión de cultivos hortícolas; sin embargo, su implementación dependería de factores no considerados explícitamente en el análisis, como la infraestructura y capacidad de absorción de los mercados.

Conclusiones

El maíz de temporal presentó menores impactos ambientales que el maíz de riego en la mayoría de las categorías evaluadas; sin embargo, mostró mayores valores de toxicidad humana, ecotoxicidad y ocupación de tierras agrícolas debido a sus menores rendimientos. Los principales hotspots ambientales identificados fueron el consumo de energía eléctrica para la extracción de agua en el maíz de riego y la producción de difosfato de amonio (DAP) en el maíz de temporal.

El maíz de riego mostró una mayor contribución al abastecimiento local y una rentabilidad superior a la del maíz de temporal. Por otra parte, el modelo de optimización indicó que la expansión de cultivos hortícolas incrementa los ingresos del sistema agrícola, aunque puede reducir la superficie destinada a granos básicos.

En conjunto, los resultados evidencian compromisos entre rentabilidad económica, seguridad alimentaria e impacto ambiental, por lo que la sustentabilidad del sistema agrícola requiere mejorar simultáneamente la eficiencia en el uso de agua, energía y fertilizantes, sin comprometer la producción de alimentos básicos.

Bibliografía

- 1 Eakin, H.; Perales, H.; Appendini, K. and Sweeney, S. 2014. Selling maize in Mexico: the persistence of peasant farming in an era of global markets. United Kingdom. Development and Change. 45(1):133-155. Doi:10.1111/dech.12074.
- 2 Erenstein, O.; Jaleta, M.; Sonder, K.; Mottaleb, K. A. and Prasanna, B. M. 2022. Global maize production, consumption and trade: trends and R&D implications. Switzerland. Food Security. 14(5):1295-1319. <https://doi.org/10.1007/s12571-022-01288-7>.
- 3 Espejel-García, M. V.; Mora-Flores, J. S.; García-Salazar, J. A.; Pérez-Elizalde, S. y García-Mata, R. 2016. Caracterización del consumidor de tortilla en el Estado de México. Agricultura, Sociedad y Desarrollo. 13(3):371-384. <https://doi.org/10.22231/asyd.v13i3.401>.
- 4 FAO. 2022. Food and Agriculture Organization of the United Nations. The state of food and agriculture 2022: leveraging automation in agriculture for transforming agrifood systems. Italia.
- 5 FAO. 2023. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT: food balance sheets. Italia.
- 6 FIRA 2024. Fideicomisos Institucionales de Relación con la Agricultura. Panorama agroalimentario 2024: maíz. México.
- 7 Foley, D. J.; Thenkabail, P. S.; Aneece, I. P.; Teluguntla, P. G. and Oliphant J. 2020. A meta-analysis of global crop water productivity of three leading world crops (wheat, corn and rice) in the irrigated areas over three decades. International Journal of Digital Earth. 13(8): 939-975. <https://doi.org/10.1080/17538947.2019.1651912>.
- 8 GYGA. 2024. Global Yield Gap Atlas. Yield gap Atlas. <https://yieldgap.com/atlas/>.
- 9 Holka, M. and Biełkowski, J. 2020. Carbon footprint and life-cycle costs of maize production in conventional and non-inversion tillage systems. Agronomy. 10(12):1877. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121877>.
- 10 Huijbregts, M. A. J.; Steinmann, Z. J. N.; Elshout, P. M. F.; Stam, G.; Verones, F.; Vieira, M. D. M.; Hollander, A.; Zijp, M. and Van Zelm, R. 2017. ReCiPe 2016 v1.1: A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. The International Journal of Life Cycle Assessment. 22(2):138-147. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1246-y>.

- 11 INIFAP. 2017. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Agenda técnica agrícola de Guanajuato. Gobierno de México. 324 p. <https://vun.inifap.gob.mx/VUN-MEDIA/BibliotecaWeb/-media/agendas/4129-4826-Agenda-Técnica-Guanajuato-2017.pdf?utm-source=chatgpt.com>.
- 12 ISO. 2006. International Organization for Standardization. ISO 14040-14044:2006 Environmental Management-Life cycle assessment-Principles and framework; ISO 14044:2006 Environmental Management-Life cycle assessment-Requirements and guidelines. First edition. Geneva, Switzerland.
- 13 Koushki, R.; Sharma, S.; Warren, J. and Foltz, M. E. 2023. Life cycle greenhouse gas emissions for irrigated corn production in the US. Great Plains. Países Bajos. Environmental Challenges. 13:100750. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100750>.
- 14 Lähde, V.; Vadén, T.; Toivanen, T.; Järvensivu, P. and Eronen, J. T. 2023. The crises inherent in the success of the global food system. Canada. Ecology and Society. 28(4):16. <https://doi.org/10.5751/ES-14624-280416>.
- 15 Lambin, E. F. and Meyfroidt, P. 2011. Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. PNAS. 108(9):3465-3472. <https://doi.org/10.1073/pnas.1100480108>.
- 16 Macfadyen, S. 2019. Farming systems analysis in relation to ACIAR objectives and projects. Australian Centre for international agricultural research (ACIAR). 42 p. <https://www.aciar.gov.au/publication/farming-systems-analysis-aciar-objectives-and-projects>.
- 17 OECD. 2023. Organisation for Economic Co-operation and Development y Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). OECD-FAO Agricultural Outlook 2023-2032. Francia. OECD Publishing.
- 18 Qi, J. Y.; Yang, S. T.; Xue, J. F.; Liu, C. X.; Du, T. Q.; Hao, J. P. and Cui, F. Z. 2018. Response of carbon footprint of spring maize production to cultivation patterns in the Loess Plateau, China. Journal of Cleaner Production. 187:525-536. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.184>.
- 19 Qiao, L.; Silva, J. V.; Fan, M.; Mehmood, I.; Fan, J.; Li, R. and Van Ittersum, M. K. 2021. Assessing the contribution of nitrogen fertilizer and soil quality to yield gaps in maize. Países Bajos. Field Crops Research. 273:108304. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108304>.
- 20 Ríos-Fuentes, B.; Rivas-García, P.; Estrada-Baltazar, A.; Rico-Martínez, R.; Miranda-López, R. y Botello-Álvarez, J. E. 2022. Life cycle assessment of frozen broccoli processing: environmental mitigation scenarios. Netherlands. Sustainable Production and Consumption. 32:27-34. Doi:10.1016/j.spc.2022.04.001.
- 21 SADER. 2025. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Programa Sectorial de Agricultura y Desarrollo Rural 2025-2030. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México, México. 120 p.
- 22 Sánchez-de Jesús, M. A.; Volke-Haller, V. H.; Cortés-Flores, J. I.; María-Ramírez, A. y San Martín-Hernández, C. 2024. Aporte de nitrógeno por el suelo y eficiencia de aprovechamiento del nitrógeno aplicado en maíz de temporal. México. Revista Fitotecnia Mexicana. 47(2):99-110. <https://doi.org/10.35196/rfm.2024.2.99>.
- 23 SIAP. 2023. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Cierre agrícola. México, DF.
- 24 SIAP. 2024. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Cierre agrícola. México, DF.
- 25 USDA. 2024. United States Department of Agriculture. Grain: world markets and trade. foreign agricultural service. Washington, DC, USA. 62 p.
- 26 Walters, J. P.; Archer, D. W.; Sassenrath, G. F.; Hendrickson, J. R.; Hanson, J. D.; Halloran, J. M.; Peter Vadas, P.; Alarcon, V. J. 2016. Exploring agricultural production systems and their fundamental components with system dynamics modelling. Ecological Modelling. 333:51-65.
- 27 Zhang, F.; Wang, Q.; Hong, J.; Chen, W.; Qi, C. and Ye, L. 2017. Life cycle assessment of diammonium and monoammonium-phosphate fertilizer production in China. Países Bajos. Journal of Cleaner Production. 141:1087-1094. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.107>.

Evaluación ambiental y económica de la producción de maíz blanco en Guanajuato

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
ISSN (electronic): 2007-9230
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (México)

Article/Issue Information
Date received: 01 June 2026
Date accepted: 01 August 2026
Publication date: 01 September 2026
Volume: 17
Issue: 6
Electronic Location Identifier: e4189
DOI: 10.29312/remexca.v17i6.4189

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

Análisis de ciclo de vida (ACV)
riego y estacionalidad
sostenibilidad

Counts

Figures: 1
Tables: 3
Equations: 1
References: 27