

Pérdida de suelo agrícola del periodo 2009-2024 en Celaya, Guanajuato

Andrés Mandujano-Bueno¹

Juan Francisco Buenrostro-Rodríguez²

Micaela de la O-Olán³

Víctor Montero-Tavera^{1,5}

1 Campo Experimental Bajío-INIFAP. Carretera Celaya-San Miguel de Allende km 6.5, Celaya, Guanajuato, México. CP. 38110. (mandujano.andrés@inifap.gob.mx).

2 CIMMYT. Carretera México-Veracruz km 45, El Batán, Texcoco, Estado de México, México. CP. 56237. (j.buenrostro@cgiar.org).

3 Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera Los Reyes-Texcoco km 13.5, Coatlinchán, Texcoco de Mora, Estado de México, México. CP. 56250. (delao.micaela@inifap.gob.mx).

Autor para correspondencia: montero.victor@inifap.gob.mx.

Resumen

El crecimiento urbano, industrial y el abandono de tierras agrícolas reducen la superficie para producir alimentos, lo que compromete la seguridad alimentaria de la población. Establecer la dinámica del cambio de uso de suelo, permite aplicar acciones para mitigar su impacto negativo. El objetivo de la investigación fue determinar el cambio de uso de suelo para establecer la magnitud de la reducción de la superficie de uso agrícola en el municipio de Celaya, Guanajuato. Para ello se actualizaron los trazos del área agrícola municipal del año 2009 sobre imágenes de alta resolución del Sistema de Información Geográfica Google Earth del año 2024, de los polígonos resultantes se determinó su condición de uso de agua y en base a ello se calculó el impacto potencial en la producción de maíz y frijol. Los resultados demuestran que en 15 años Celaya ha perdido 4 647 ha agrícolas; 41% se destinó a uso urbano, 20% a industria, 7% a vialidades y 32% se encuentra en desuso. La pérdida de uso de suelo agrícola se confirmó por la disminución del Índice de resistencia atmosférica visible de 0.05 a -0.02. La mayor parte del cambio de uso de suelo agrícola a urbano e industrial se da a partir de riego de pozo, mientras que el cambio a desuso se da a partir de tierras de temporal. El impacto en la producción agrícola es la pérdida de casi 8 000 t de frijol. Sin embargo, el maíz ha incrementado su superficie sembrada en casi 4 000 ha, a expensas de la reducción en otros cultivos.

Palabras clave:

Phaseolus vulgaris L., *Zea mays* L., desuso de suelo agrícola, VARI.



Introducción

El sector agrícola contribuye al desarrollo económico de un país. Representa entre 4 y 25% del PIB dependiendo del nivel de desarrollo. El crecimiento de la agricultura es entre dos y cuatro veces más efectivo que el de otros sectores para reducir las carencias económicas de los más pobres, con lo que se reduce la pobreza al mismo tiempo que se incrementa la capacidad para solventar las necesidades básicas en nutrición y alimentos de la población las necesidades básicas de alimentación y nutrición de un país (Bautista *et al.*, 2021; Banco Mundial, 2024).

Sin embargo, todos estos beneficios están en riesgo a causa de los cambios de uso de suelo agrícola a otros usos. El crecimiento industrial y urbano, el abandono de tierras a causa de la migración, el envejecimiento de los productores, la sequía, las altas temperaturas y la pérdida de fertilidad son factores que reducen la superficie de las tierras de cultivo y la producción de alimentos (Espinosa *et al.*, 2018; FAO, 2021; Maxwell, 2025).

El sector industrial próspero es crucial para el desarrollo de una economía moderna, pero en ocasiones se desarrolla a expensas del sector agrario, del cual demanda espacio para sus instalaciones y zonas para la construcción de viviendas (Chuncho *et al.*, 2021), impulsando así el crecimiento de la zona urbana y de la demanda de servicios como agua, energía eléctrica, alimentos, áreas de recreación, escuelas y vialidades, entre otros satisfactores de las necesidades de subsistencia y protección. Sin embargo, esta expansión se realiza en mayor medida sobre terrenos agrícolas (Oropeza y Picazo, 2020).

Por otra parte el desarrollo de los sistemas de teledetección y sensado remoto, como las imágenes satelitales LandSat de uso gratuito, permite estimar el verdor de las áreas de interés mediante índices de vegetación tales como el vegetation atmospherically resistant index (VARI) (Gitelson *et al.*, 2022). El valor del índice de vegetación se modifica en proporción directa con los cambios de las masas verdes en la región, principalmente las áreas dedicadas a la producción agrícola, los pastizales y las áreas forestales, cuya dinámica de modificación a través de los años se pueden estudiar mediante sistemas remotos que estiman estimas su reflectancia en las longitudes de onda rojo, verde y azul (RGB).

En el municipio de Celaya y los otros 45 municipios del estado de Guanajuato, Paredes *et al.* (2011) realizaron un estudio en el periodo comprendido entre los años 2006 y 2009, para actualizar la carta de uso de suelo agrícola en el periodo comprendido entre los años 2006 y 2009; concluyeron En ese estudio se determinó que en 2009 en el municipio de Celaya existían 26 932.45 ha agrícolas, de las cuales 10 565.22 ha eran de temporal y 16 367.23 ha de riego en sus diferentes modalidades. Tomando este estudio como punto de inicio, en el presente trabajo se analizó el cambio de uso de suelo agrícola agrícola a otros usos que tuvo lugar en el territorio municipal de Celaya, Guanajuato en el periodo de 2009 a 2024 y su impacto en la producción de dos de los principales cultivos, maíz y frijol.

Materiales y métodos

Área de estudio

Se incluyeron las 55 460 ha (554.6 km²) del territorio de Celaya, Guanajuato, que se ubica entre las coordenadas geográficas decimales 20.37978-20.68586 y 100.91039-100.64537 a altitud de 1 767 m (Municipio de Celaya, 2021). La clasificación climática de Köppen-Geiger modificada por García (2004) lo describe como un 'el clima es cálido y templado con temperatura promedio de 18.3 °C. En comparación con el invierno, los veranos tienen mucha más lluvia con precipitaciones de 689 mm'. Este patrón se identifica La clasificación climática de Köppen-Geiger identifica este patrón de clima como perteneciente a la categoría Cwa. El trabajo de gabinete se realizó en el Campo Experimental Bajío del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), de noviembre de 2023 a abril de 2024.

Preparación y análisis de imágenes

Para el estudio se utilizó como base la capa de información del uso del suelo agrícola de Paredes *et al.* (2011) con escala de 1:10 000 que tuvo como base para su construcción ortofotos digitales con a misma escala y el mapa base del INEGI con escala de 1:50 000. Esta capa, la cual fue transformada del formato shape file al formato KML, por medio de la aplicación shp2kml, para visualizarla y manipularla en el Sistema de Información Geográfica (SIG) Google Earth Pro, versión 7.3.6.9796.

Los trazos del área agrícola se actualizaron digitalizando directamente en pantalla sobre las imágenes de satélite de alta resolución que cuentan con una temporalidad hasta el año 2024. La escala utilizada en los polígonos de cambio de uso de suelo del presente estudio es de 1:10 000. La escala visual de digitalización (altura ojo en Google Earth) fue de 2.6 km, con resolución de 0.3 a 0.6 m por pixel.

Los polígonos de cambio de uso de suelo se crearon mediante la herramienta 'agregar polígono', se actualizaron, se clasificaron, se guardaron en formato KML y se transformaron a formato shape file con el programa SIG ArcMap 10.0, en el que las coberturas fueron trasladadas del sistema de coordenadas geográficas a la proyección UTM, Datum WGS84 en la zona 14 norte, se calcularon las superficies en hectáreas y se generaron los mapas finales con el fin de crear una capa, la que se intersectó con la cartografía de uso del suelo de 2009 para determinar a qué condición de humedad pertenecía cada uno de los polígonos que cambió de uso, para finalmente contabilizar la superficie por fuente de humedad.

El crecimiento del área urbana de la ciudad de Celaya se estimó empleando los límites oficiales contenidos en los marcos geoestadísticos municipales (MGM) del INEGI 2009 V3 y el de diciembre de 2023.

Clasificación del cambio de suelo

Los polígonos de cambio de suelo se clasificaron en cuatro categorías de acuerdo con el cambio de cada una de las zonas agrícolas: a) a zonas urbanas, se refiere a lugares donde se asientan construcciones destinadas para la vivienda; b) a desuso, que corresponden a áreas agrícolas que cuentan con evidente estado de abandono, es decir aquellas con vegetación secundaria y sin evidencia de surcos o labores de cultivo o que las imágenes históricas demuestran que no se han cultivado por más de cinco años consecutivos; c) a industria, zonas que fueron destinadas a la creación de naves o parques industriales; y d) a vialidades, se refiere a áreas actualmente ocupadas por calles, caminos y carreteras.

Índice de vegetación

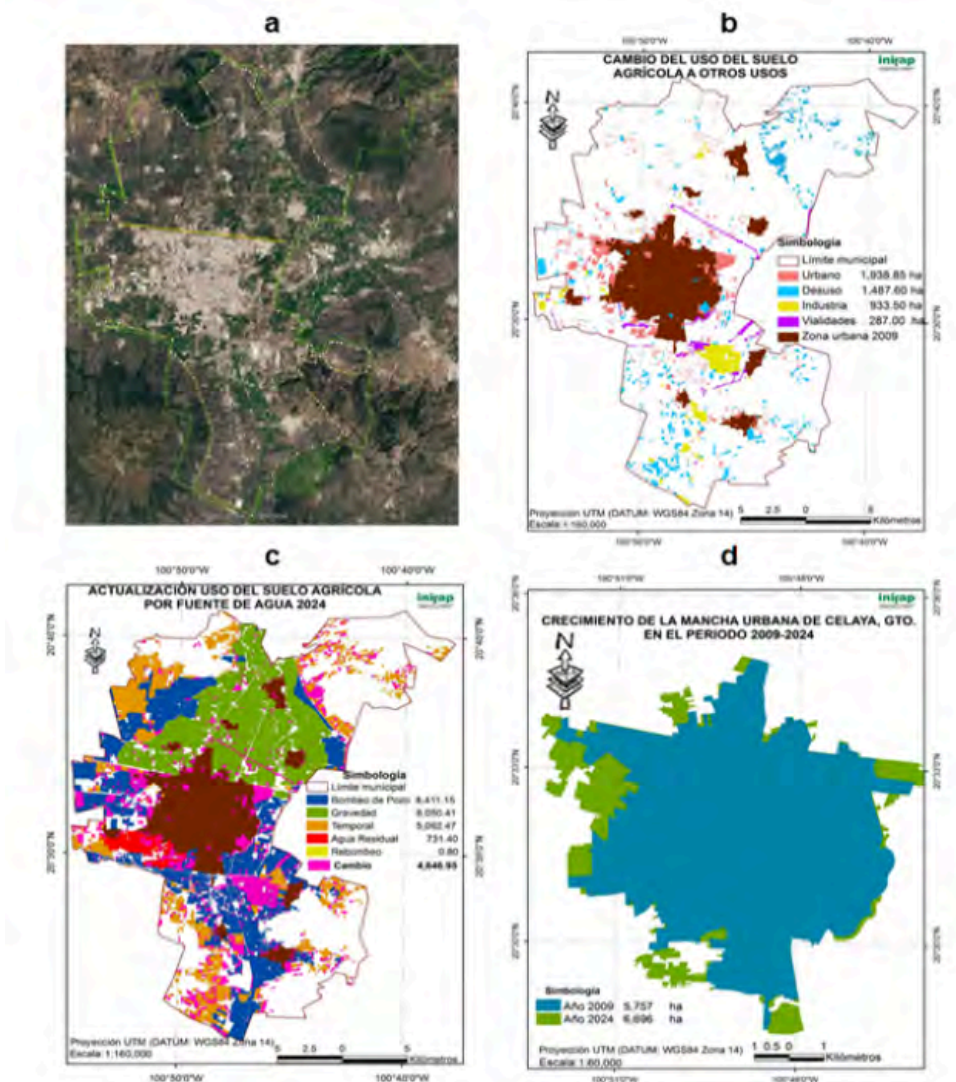
La pérdida de uso de suelo agrícola se confirmó mediante la estimación del verdor de fotografías satelitales trianuales del municipio de Celaya de 2009 a 2021 disponibles en la base de datos de Google Earth. La fecha de cada fotografía fue 31 de diciembre del año correspondiente (excepto la de 2024 que fue del 26 de mayo), en esta fecha ya se habían establecido los cultivos de invierno (trigo, avena, cebada y garbanzo, principalmente). Se empleó el índice de resistencia atmosférica de la vegetación (VARI) por sus siglas en inglés (Gitelson *et al.*, 2022). Su fórmula es:

$$VARI = \frac{G - R}{G + R - B}$$

Donde: G, R y B representan la reflectancia en las longitudes de onda rojo, verde y azul, la cual se estandarizó sobre un área boscosa sin cambios de cobertura visibles (Figura 1a).



Figura 1. a) áreas para el estudio del índice de vegetación. El contorno verde indica los límites municipales, la línea amarilla delimita las zonas norte y sur, el contorno amarillo es la zona donde se calculó el VARI, el área sombreada de verde en la parte suroriental se usó como control; b) cambio de uso de suelo donde se indica con diferentes colores el destino del cambio. Reducción de la superficie agrícola; c) se muestran las diferentes proporciones de cambio de uso de suelo cuando se considera la fuente de agua disponible para cada predio. Uso de suelo agrícola por fuente de humedad, en color rosa se muestra el cambio a usos no agrícolas; y d) se muestran los principales polos de crecimiento de la ciudad de Celaya. Destaca el desarrollo urbano en su parte occidental y crecimiento de la ciudad de Celaya (color verde).



Los valores de reflectancia RGB de esta área delimitada El VARI de esta área en la imagen con mayor luminosidad, la del año 2015 se usaron como referencia para estandarizar la reflectancia de las áreas agrícolas municipales en todas las imágenes de las áreas agrícolas municipales. Para determinar si existió una diferencia en la dinámica de cambio de uso de suelo entre las zonas sur y norte del municipio se tomó como límite la carretera federal No. 45D, que divide el municipio en dirección Oriente-Poniente (Figura 1a).

En cada zona se calculó el VARI delimitando un polígono que incluyó las zonas agrícolas y excluyó la cabecera municipal, que es la mayor concentración urbana. Las reflectancias RGB de cada imagen se calcularon con el script 'RGB measure' del programa de edición de fotografía científica ImageJ© (Schneider et al., 2012).

Resultados y discusión

Tanto la cartografía como las imágenes satelitales indicaron que las áreas forestales se mantuvieron sin cambios apreciables durante el periodo de estudio; en cambio, la superficie agrícola se redujo de 26 933.18 ha a 22 286.23 ha; es decir, 4 646.95 ha en los últimos 15 años (Figura 1b). Esta pérdida es a causa del crecimiento de zonas urbanas e industriales, la creación de nuevas vialidades y el abandono de zonas agrícolas, principalmente de temporal. Por lo tanto, la reducción anual promedio tasa de pérdida de áreas de uso agrícola es de 309.8 ha.

La pérdida de la superficie agrícola fue principalmente por cambio a uso urbano (Cuadro 1), lo anterior se explicó por el incremento poblacional 52 700 habitantes; (INEGI, 2024) y la necesidad de vivienda y servicios. Un resultado similar se encontró al medir el cambio de uso de suelo en Zaachila, Oaxaca, donde los autores encontraron que los asentamientos humanos ganaron 11.4% de superficie de 1987 a 2020 (Pérez-Hernández *et al.*, 2021).

Cuadro 1. Superficie agrícola en hectáreas que cambió de uso por condición de humedad en el periodo 2009-20024 a la que pertenecía en 2009.

Cambio	Agua residual	Bombeo de pozo	Gravedad	Temporal	Total
Industrial	3.1	579.9	60.6	283.4	927.1
Urbano	153.1	959.2	526.3	267.7	1 906.3
Vialidad	41	215	43.7	20.6	320.2
Desuso	10.6	399.9	66.5	1 016.4	1 493.3
Subtotal	207.7	2 154.1	697.1	1 588.1	4 646.9

El cambio de uso agrícola a industrial se debe a que Celaya forma parte del corredor industrial del Bajío que va de San Juan del Río (Querétaro) a Aguascalientes. Esta zona es muy atractiva para establecer parques industriales que ocupan tierra de vocación agrícola. Más preocupante es la cantidad de suelo agrícola que cayó en desuso (1 493 ha). El régimen de humedad al que pertenecen las áreas que cambiaron de uso (Figura 1c), se desglosa en el Cuadro 1, de donde se concluyó que 46.4% son de riego por bombeo de pozo, las cuales están localizadas cerca de los centros urbanos del municipio; 34.2% son de zonas de temporal, que están situadas en mayor medida en zonas rurales; 15% de riego por gravedad y 4.5% de zonas regadas con agua residual.

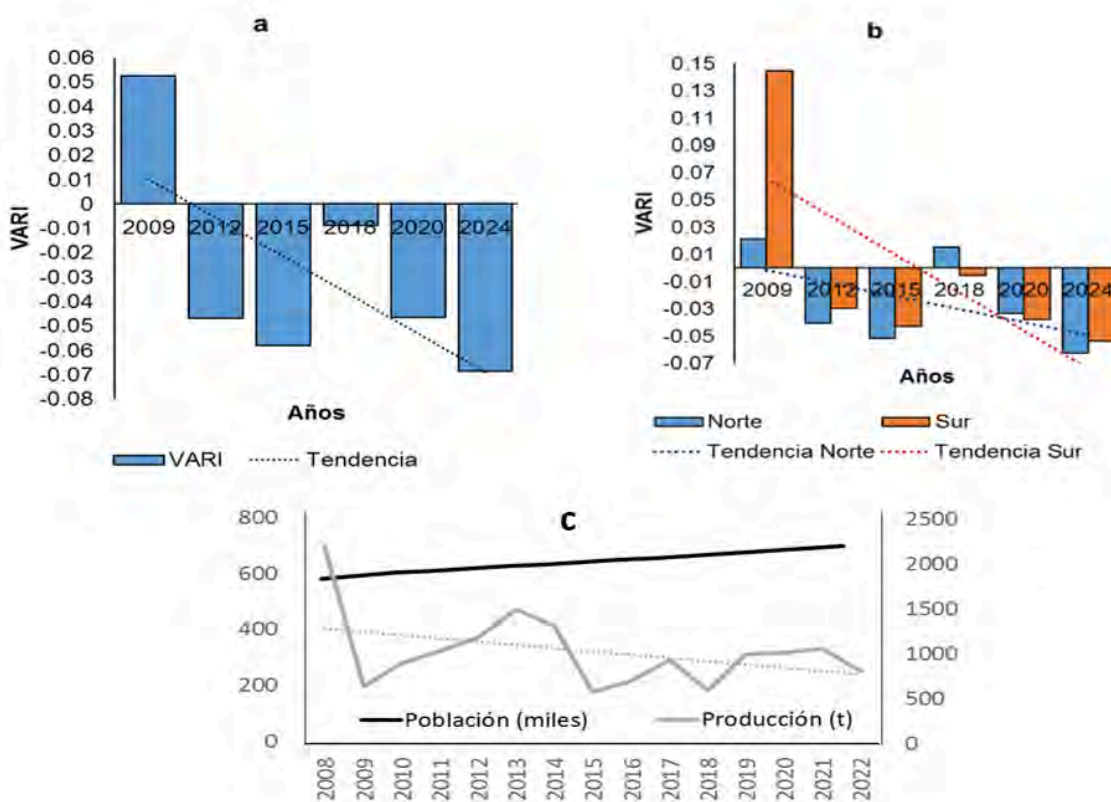
Además, el régimen de bombeo de pozo contribuyó con 62.5% del cambio de suelo a industrial, 50% a uso urbano y 67.1% a vialidades (Cuadro 1). En contraste, la mayor proporción del cambio de uso de suelo a desuso provino del régimen de temporal (68.1%). Estos cambios impactan la producción de alimentos ya que las tierras más productivas, por ser las más cercanas a los núcleos poblacionales y tener una fuente constante de agua, se emplean en la creación de servicios y satisfactores no relacionados con los cultivos agrícolas, mientras que las tierras menos productivas, que no tienen una fuente de agua segura, se quedan en desuso por la falta de rentabilidad.

Esto concuerda con Torres y Rojas (2018), quienes indican que la soberanía alimentaria de un país se pone en riesgo por la pérdida de suelo para producir alimentos. Otro factor de alto impacto en la pérdida de suelo agrícola es el crecimiento urbano de la ciudad de Celaya, que en este trabajo se determinó de 950 ha (Figura 1d).

De Alba *et al.* (2020) sistematizaron la información desde 1980 a 2020 en cuanto a cambio de uso de suelo en México y concluyeron que el mayor número de investigaciones se enfocan en la reducción del área de los ecosistemas forestales para uso agrícola, pero encontraron muy poca información del cambio de uso de suelo agrícola a otros usos, lo que se demostró el mayor interés en los servicios ecosistémicos forestales que en la producción de alimentos. Además, demostraron la falta de estudios dedicados a la dinámica del cambio de uso de suelo en regiones como el Bajío, que son principalmente de vocación agrícola (Bonilla, 2024).

Hernández-Pérez *et al.* (2022); Hernández-Cavazos *et al.* (2024) estudiaron el cambio de uso de suelo del Centro de Veracruz y Linares, Nuevo León, respectivamente, y confirmaron que el suelo forestal cambia rápidamente a suelo de uso agrícola. En un estudio más puntual Adame *et al.* (2020) encontraron que de 1980 a 2017 la parte oriente de la zona metropolitana urbana de Toluca, Estado de México, se expandió a costa del suelo agrícola, lo que disminuyó este uso de suelo en 35.74%, resultados que concuerdan con el presente trabajo, ya que se encontró también una significativa reducción de suelo agrícola debida al crecimiento de la mancha urbana (Figura 2), pero también se identificaron mayormente pérdidas de área agrícola debidas al desuso.

Figura 2. a) reducción de la vegetación, debida principalmente al cambio de uso de suelo agrícola, estimada mediante el índice VARI; b) propensión del incremento poblacional en el municipio de Celaya a partir de 2008; y c) tendencia en la reducción de la producción de frijol a partir del año 2008 en el mismo periodo (con datos de Macrotrends, 2024).



También Sandoval-García *et al.* (2021) reportaron disminuciones de suelo de uso agrícola hasta del 8.4% en la Mixteca Alta de Oaxaca debido al desuso, principalmente por migración y falta de redituabilidad. Hasta la fecha ningún trabajo en México ha descrito el cambio de uso de suelo considerando la fuente de agua disponible. Esta información coadyuva a establecer de manera más precisa la dinámica en la pérdida de suelo agrícola en una región con vocación predominantemente agrícola.

Evolución del índice de vegetación del municipio de Celaya

Los resultados cartográficos se confirmaron mediante la estimación del índice VARI. En la Figura 2a se observó que el valor VARI de todo el municipio disminuyó abruptamente de 2009

(0.04536) a 2015 (-0.05801), posteriormente hubo una pequeña recuperación en 2018 (-0.00876), posiblemente debida los incentivos estatales otorgados al área agrícola a partir de 2015; sin embargo, para 2020 y 2024 alcanzó su valor mínimo (-0.06843). Jiménez Muñoz *et al.* (2009) compararon el VARI con otros procedimientos para obtener fracciones de cobertura vegetal y obtuvieron variaciones similares al presente trabajo, con error estándar apenas de 8%, lo que lo convierte en el mejor índice para este tipo de estudios.

Un resultado similar se obtuvo al estimar el índice VARI en las zonas norte y sur de Celaya (Figura 2b), aunque la tendencia en la disminución del índice, representada por la línea punteada, demostró una caída más abrupta en la zona sur. Esta caída del VARI demuestra un menor verdor ocasionado por las tierras que dejaron de cultivarse, particularmente por aquellas que no establecieron los cultivos de invierno.

En la zona sur la pendiente más pronunciada del VARI se debe al crecimiento del área urbana de la cabecera municipal y, principalmente, al establecimiento de la planta armadora de autos Honda, que ocupó una superficie mayor a 500 ha e impulsó gran demanda de nuevas viviendas para sus empleados. Tanto la planta como las viviendas en las nuevas urbanizaciones se hicieron a expensas de la reducción del área agrícola destinada originalmente a la producción de alimentos. Por otra parte, la zona norte solo ha sufrido el crecimiento de los núcleos urbanos, principalmente en la cabecera municipal.

Impacto del cambio de uso de suelo en la producción de alimentos

En conjunto 3 059 ha (65.8%) de las áreas agrícolas que cambiaron de uso son de riego y 1 588 ha (34.2%) de temporal. Si se considera la producción promedio de frijol y maíz de los últimos 10 años en Guanajuato (9.22 y 2.24 t ha⁻¹ en riego y temporal para maíz y 1.71 y 0.55 t ha⁻¹ para frijol) (SIAP, 2014-2024), anualmente se dejarían de producir 31 000 t de maíz y 8 000 t de frijol (Cuadro 2). En contraste, de acuerdo con los Censos de Población y Vivienda de 2010 y 2020 el número de habitantes se incrementó de 468 469 a 521 169 personas (INEGI, 2024).

Cuadro 2. Disminución anual de la producción de alimentos en el área agrícola que cambió de uso en el municipio de Celaya entre 2009 y 2024.

Condición de humedad	Superficie perdida (ha)	Maíz (t)	Frijol (t)
Riego	3 059	28 214.8	6 836.5
Temporal	1 588	2 717.2	879.8
Total	4 647	30 932.07	7 716.34

La situación municipal es compleja ya que tiene más población, pero menos tierras para la producción de alimentos. Dado que el consumo anual de frijol *per capita* es de 9.9 kg (SAGARPA, 2017a), la reducción de la superficie agrícola impactaría potencialmente en la dieta de 779 428 personas; es decir, que el impacto trascendería trasciende al municipio, ya que su población actual es de 542 000 habitantes. La Figura 2c mostró la tendencia de incremento poblacional en el periodo de estudio con una reducción simultánea de la producción de frijol, principalmente de temporal (Macrotrends, 2024).

Si se considera que el consumo de maíz blanco *per capita* al año es de 196.4 kg (SAGARPA, 2017b), se produciría un efecto negativo en la dieta de 157 495 personas. Sin embargo, la superficie dedicada al maíz se incrementó poco más de 4 000 ha durante el periodo de estudio y la producción aumentó 10 000 t (SIAP, 2014-2024). Esto significa que, en un marco de reducción de superficie agrícola por cambio de uso de suelo, se ha incrementado la superficie dedicada al maíz, posiblemente por los apoyos gubernamentales a la producción de cultivos básicos, a expensas de la reducción de la superficie dedicada a otros cultivos, como las hortalizas.

Conclusiones

Los Sistemas de Información Geográfica de base gratuita junto con el índice de vegetación de luz visible VARI, son eficientes para analizar la dinámica de cambio de uso de suelo agrícola en regiones específicas. En el municipio de Celaya, Guanajuato el cambio de uso de suelo agrícola a urbano y a desuso son los principales reductores de la superficie destinada a la producción agrícola.

El análisis del cambio de uso que considera la fuente de agua disponible demuestra que las tierras más productivas, por tener agua de pozo y que son cercanas a los núcleos urbanos, son fuente mayor de pérdida de suelo agrícola. De las tierras que cambian de uso 66% corresponden a zonas agrícolas de riego donde la producción de alimentos es mayor, lo que generó un riesgo importante lo que ocasionó una mayor afectación a la seguridad alimentaria del municipio. La información difundida en este trabajo contribuyó a actualizar y a promover la aplicación de los planes de ordenamiento territorial y estatal.

Bibliografía

- 1 Adame-Martínez, S.; Sánchez-Nájera, R. M. y Hoyos-Castillo, G. D. C. 2020. Factores socioterritoriales de cambio de uso de suelo en el centro de México: caso oriente de la Zona Metropolitana de Toluca, México. *Revista Universitaria de Geografía*. 29(1):153-183. <http://dx.doi.org/10.52292/j.rug.2020.29.1.0006>.
- 2 Banco Mundial. 2024. Agricultura y alimentos. Obtenido de panorama general. <https://www.bancomundial.org/es/topic/agriculture/overview>.
- 3 Bautista-Robles, V.; Ken-Rodríguez, C. A. y Kaita, H. 2021. El papel de la agricultura en la seguridad alimentaria de las comunidades rurales de Quintana Roo: un ciclo autosostenido. *Estud. Soc. Rev. Aliment. Contemp. Desarro. Reg.* 30(56):1-31. <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?>
- 4 Bonilla, C. Y. 2024. El desarrollo agrario del Bajío, una visión regional de largo plazo: tendencias y transiciones. *Oficio. Revista de Historia e Interdisciplina*. 19:207-227. <https://doi.org/10.15174/orhi.vi19.11>.
- 5 Chuncho-Juca, L.; Uriguen-Aguirre, P. y Apolo-Vivanco, N. 2021. Ecuador: análisis económico del desarrollo del sector agropecuario e industrial en el periodo 2000-2018. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*. 8(1):8-17. <https://doi.org/10.26423/rctu.v8i1.547>.
- 6 De Alba-Rosano, C. F.; Ceccon, E.; Romero-Calcerrada, R. y Rosete-Vergés, F. 2020. Revisión sistemática de cuarenta años de análisis de cambio de uso del suelo en México mediante sistemas de información geográfica. *Revista de Geografía Espacios*. 10(20):139-162. <https://doi.org/10.25074/07197209.20.1740>.
- 7 Espinosa-Espinosa, J. L.; Palacios-Vélez, E.; Tijerina-Chávez, L.; Ortiz-Solorio, C. A.; Exebio-García, A. y Landeros-Sánchez, C. 2018. Factores que afectan la producción agrícola bajo riego: cómo medirlos y estudiar su efecto. *Tecnología y Ciencias del Agua*. 9(2):175-191.
- 8 FAO. 2021. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura Sistemas al límite. Informe de síntesis 2021. Rome, Italia. 39 p. <https://doi.org/10.4060/cb7654es>.
- 9 García, M. E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía-Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Serie libros núm. 6. 90 p.
- 10 Gitelson, A. A.; Stark, R.; Grits, U.; Rundquist, D.; Kaufman, Y. and Derry, D. 2002. Vegetation and soil lines invisible spectral space: a concept and technique for remote estimation of vegetation fraction. *International Journal of Remote Sensing*. 23(13):2537-2562. <https://doi.org/10.1080/01431160110107806>.

- 11 Hernández-Cavazos, M. C.; Alanís-Rodríguez, E.; García, R. S.; Molina-Guerra, V. M.; Jiménez-Pérez, J.; Aguirre-Calderón, O. A. y Rodríguez, L. G. C. 2024. Análisis del cambio de uso de suelo en los bosques de galería de Linares, Nuevo León. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 15(83):155-167. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v15i83.1442>.
- 12 Hernández-Pérez, E.; García-Franco, J. G.; Vázquez, G. y Cantellano-Rosas, E. 2022. Cambio de uso de suelo y fragmentación del paisaje en el centro de Veracruz, México (1989-2015). *Madera y Bosques*. 28(1):1-22. <https://doi.org/10.21829/myb.2022.2812294>.
- 13 INEGI. 2024. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Censos de población y vivienda 2010 y 2020. Tabulados interactivos. <https://www.inegi.org.mx/sistemas/Olap/Proyectos/bd/censos/cpv2020/pt.asp>.
- 14 Jiménez-Muñoz, J. C.; Sobrino, J. A.; Plaza, A.; Guanter, L.; Moreno, J. and Martínez, P. 2009. Comparison between fractional vegetation cover retrievals from vegetation indices and spectral mixture analysis: case study of proba/chris data over an agricultural area. *Sensors*. 9(02):768-793. <https://doi.org/10.3390/s90200768>.
- 15 Macrotrends. 2024. Celaya, México Metro Area Population 1950-2024. <https://www.macrotrends.net/global-metrics/cities/21827/celaya/population>.
- 16 Maxwell, S. 2025. Farmland abandonment worldwide: the detrimental factor of agricultural crisis. *Science Insights*. 46(2):1741-1748. <https://doi.org/10.15354/si.25.re1150>.
- 17 Municipio de Celaya. 2021. Programa de gobierno 2021-2024 Celaya con futuro. <https://www.celaya.gob.mx/wpcontent/uploads/2022/04/programacelayacomprimido.pdf>. 34-41 pp.
- 18 Oropeza-Sandoval, D. y Leyva-Picazo, V. 2020. El Crecimiento urbano y sus consecuencias en la movilidad. *Anuario de Espacios Urbanos*. 129-155 pp.
- 19 Pérez-Hernández, M. J.; Hernández-Acosta, E.; Sánchez-Jiménez, R.; González-Gervacio, C. y Madrigal Reyes, S. 2021. Dinámica de cambios de uso de suelo y vegetación por actividades antropogénicas en Zaachila, Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 12(66):26-45. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i66.894>.
- 20 Paredes-Melesio, R.; Mandujano-Bueno, A.; Gámez-Vázquez, A. J. y García-Nieto, H. 2011. Actualización del mapa de uso del suelo agrícola en el estado de Guanajuato. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 2(1):85-96.
- 21 Sandoval-García, R.; González-Cubas, R. y Jiménez-Pérez, J. 2021. Análisis multitemporal del cambio en la cobertura del suelo en la Mixteca Alta Oaxaqueña. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 12(66):96-121. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i66.816>.
- 22 SAGARPA. 2017a. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Frijol mexicano. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. Ciudad de México, DF. México. 20 p.
- 23 SAGARPA. 2017b. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Maíz grano blanco y amarillo. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030, 22. Ciudad de México, DF. México. 28 p.
- 24 Schneider, C. A.; Rasband, W. S. and Eliceiri, K. W. 2012. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*. 9(7):671-675. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2089>.
- 25 SIAP. 2014-2024. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario estadístico de la producción agrícola. Gobierno de México, SADER. <https://nube.agricultura.gob.mx/cierre-agricola/>.



Pérdida de suelo agrícola del periodo 2009-2024 en Celaya, Guanajuato

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

Article/Issue Information
Date received: 1 August 2025
Date accepted: 1 December 2025
Publication date: 9 December 2025
Publication date: Nov-Dec 2025
Volume: 16
Issue: 8
Electronic Location Identifier: e3866
DOI: 10.29312/remexca.v16i8.3866

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

Phaseolus vulgaris L.

Zea mays L.

desuso de suelo agrícola

VARI

Counts

Figures: 2

Tables: 2

Equations: 1

References: 25