

Análisis del cambio de uso del suelo agrícola en la cuenca del lago de Cuitzeo, Michoacán México

Lucero Pimienta-Ramírez¹ , Erna Martha López-Granados² , Gerardo Andrés Reyes-Abrego³ 

- (1) Facultad de Economía-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Avenida Francisco J. Múgica S/N Ciudad Universitaria, C.P. 58030. Morelia, Michoacán, México.
- (2) Instituto de Investigaciones en Ciencias de la Tierra-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Avenida Francisco J. Múgica S/N Ciudad Universitaria, C.P. 58030. Morelia, Michoacán, México.
- (3) Facultad de Economía-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Avenida Francisco J. Múgica S/N Ciudad Universitaria, C.P. 58030. Morelia, Michoacán, México.

* Autora de correspondencia / Corresponding author: Lucero-Pimienta-Ramírez [lucero.pimienta@umich.mx]

> Recibido / Received: 21/10/2024 – Aceptado / Accepted: 19/04/2025

Cómo citar / How to cite: Pimienta Ramírez, L., López Granados, E.M., Reyes Abrego, G.A. 2025. Título del artículo. *Ecosistemas* 34(1): 2895. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2895>

Análisis del cambio de uso del suelo agrícola en la cuenca del lago de Cuitzeo, Michoacán México

Resumen: La cuenca de Cuitzeo ha sido históricamente conocida por su actividad agrícola. No obstante, en las últimas décadas se ha observado una disminución en la superficie destinada a los cultivos, fenómeno que se ha relacionado con la intensificación de diversas actividades humanas. El objetivo principal de esta investigación fue cuantificar y mapear los cambios en el uso del suelo agrícola en los últimos 49 años, así como identificar los factores que los impulsan. Para el periodo de 1975 a 2000, se utilizaron mapas existentes de cobertura y uso del suelo. La información para los años más recientes (2020 y 2024) se generó a partir de la interpretación visual de imágenes del satélite Sentinel-2A y datos estadísticos de producción agrícola. Los resultados de las clasificaciones de 2020 y 2024 mostraron valores de índices de Kappa correspondientes a 90.2% y 92.1%. A lo largo del periodo (1975-2000), disminuyó 21.9% en la superficie agrícola, relacionada a la expansión de matorrales y pastizales. Entre 2000 y 2020, la pérdida de superficie fue del 11%, debido al crecimiento de pastizales y la expansión de asentamientos humanos. En el periodo más reciente (2020-2024), la superficie agrícola se redujo en un 1.1%, resultado de la expansión de pastizales, huertas y cultivos protegidos. En cuanto a los cultivos más representativos, el maíz y el aguacate continúan siendo los más destacados. Estos cambios en el uso del suelo agrícola presentan importantes desafíos para la sostenibilidad de la agricultura tradicional y la conservación de la cobertura vegetal en la cuenca.

Palabras clave: agricultura tradicional; cambio de uso del suelo; cultivo comercial; cuenca de Cuitzeo; sentinel-2A

Analysis of agricultural land use change in the Cuitzeo lake basin, Michoacán, México

Abstract: The Cuitzeo basin has historically been known for its agricultural activity. However, in recent decades, a decrease in the area dedicated to crops has been observed, a phenomenon linked to the intensification of various human activities. The main objective of this research was to quantify and map the changes in agricultural land use over the past 49 years, as well as identify the factors driving these changes. For the period from 1975 to 2000, existing maps of land cover and land use were used. Information for the more recent years (2020 and 2024) was generated from the visual interpretation of Sentinel-2A satellite images and agricultural production statistical data. The results of the classifications for 2020 and 2024 showed Kappa index values of 90.2% and 92.1%, respectively. Over the period (1975-2000), agricultural land decreased by 21.9%, related to the expansion of shrubland and grasslands. Between 2000 and 2020, the land loss was 11%, due to the growth of grasslands and the expansion of human settlements. In the most recent period (2020-2024), agricultural land decreased by 1.1%, as a result of the expansion of grasslands, orchards, and protected crops. Regarding the most representative crops, corn and avocado continue to be the most prominent. These changes in agricultural land use present significant challenges for the sustainability of traditional agriculture and the conservation of vegetation cover in the basin.

Keywords: traditional agriculture; land use change; commercial agriculture; Cuitzeo basin; sentinel-2A.

Introducción

En las últimas décadas, el cambio de cobertura y el uso del suelo se ha consolidado como una tendencia predominante en diversas regiones del mundo, alterando de manera drástica los ecosistemas terrestres y los paisajes locales (Abdul et al. 2024; Afuye et al. 2024). Esta transformación ha sido impulsada por una convergencia entre diversos factores sociales, económicos, políticos y culturales (Acheampong et al. 2018; Adzigbli et al. 2024; Gedle et al. 2024; Li et al. 2024), que han acelerado los procesos de deforestación, degradación de tierras, pérdida de biodiversidad (Lázaro y Tur 2018; Leija et al. 2020) y han impulsado cambios en los medios de vida de la población local (Wahdatyar et al. 2024).

Los estudios sobre el cambio de uso de suelo son fundamentales para identificar y comprender las dinámicas espaciales del paisaje (Adzigbli et al. 2024; Arfasa et al. 2024; Du et al. 2024), así como para detectar las fuerzas impulsoras, ya sean directas (proximales) o indirectas (subyacentes) que influyen en estos cambios (Geist y Lambin 2002; Qasim et al. 2013). Además, estos análisis son esenciales para la gestión de cuencas hidrográficas (Raja y Mathew 2023), proporcionan información clave sobre cómo los procesos de cambio en el uso del suelo han evolucionado a través del tiempo. Además, comprender estas transformaciones es crucial para tomar decisiones informadas que promuevan una planificación y gestión sostenible de los recursos naturales y territoriales (Bogale et al. 2024; Li et al. 2024).

El monitoreo continuo de los cambios en el uso del suelo mediante mapeo basado en teledetección, se ha consolidado como una técnica fundamental para la gestión ambiental (Kondum et al. 2024). Estas herramientas son cruciales, ya que permiten evaluar el estado actual de la vegetación y dar seguimiento al uso del suelo agrícola, facilitando la identificación de la salud de los cultivos, localización de áreas con potencial agrícola y la detección de patrones espaciales en la superficie cultivada, entre otros (Teck et al. 2023; Urşanu et al. 2024; Wijesingha et al. 2024). La información que proporcionan es indispensable para desarrollar estrategias sostenibles de uso del suelo a diversas escalas (Turner et al. 2021; Adenle et al. 2022; Gedle et al. 2024).

La cuenca del lago de Cuitzeo se distingue por su vocación agrícola tradicional, siendo esta actividad indispensable para la producción de alimentos en la región (Villafán et al. 2021; Ortiz et al. 2023). Sin embargo, en las últimas décadas ha experimentado transformaciones en el uso del suelo, particularmente en las áreas dedicadas a los cultivos (López et al. 2006). Estos cambios reflejan una compleja interacción de factores económicos, sociales y ambientales que han alterado la dinámica de producción agrícola en la región. El objetivo de esta investigación fue mapear y cuantificar los cambios espaciales en el uso del suelo agrícola en la cuenca durante los últimos 49 años, así como identificar las fuerzas impulsoras que inducen este proceso. El análisis detallado de estos cambios es fundamental para una adecuada planificación y gestión sostenible del uso del suelo en la cuenca.

Material y métodos

Área de estudio

La cuenca del lago de Cuitzeo, ubicada en el centro de México sobre el Eje Volcánico Transmexicano, se extiende entre las regiones hidrológicas Lerma-Santiago (RH-12) y Balsas (RH-18) (Fig.1). El 94.74% de su extensión territorial se ubica en la zona norte del estado de Michoacán, mientras que el porcentaje restante se localiza en el sur de Guanajuato (INEGI 2022). Sus coordenadas son 19°30' a 20°05' de latitud norte y 100°35' a 101°30' de longitud oeste, abarcando aproximadamente 4000 km² (Mendoza et al. 2011). Dentro de la cuenca se encuentra el lago de Cuitzeo, el segundo más grande de México, con una superficie de 400 km² (Morales et al. 2010). La cuenca desempeña un papel importante en la economía estatal, contribuyendo con un tercio del Producto Interno Bruto (PIB) (Ortiz et al. 2023).

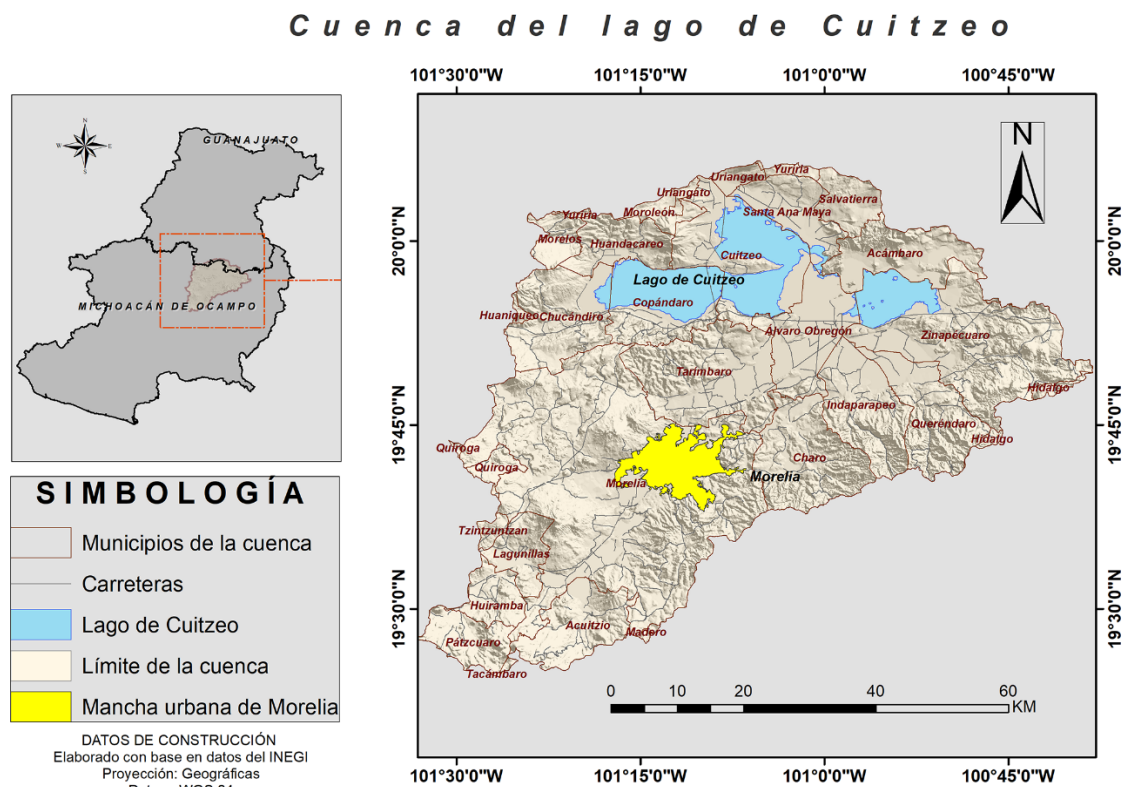


Figura 1. Ubicación geográfica de la cuenca del lago de Cuitzeo, en el centro-occidente de México.

Figure 1. Geographic location of the Lake Cuitzeo Basin in west-central Mexico.

Metodología

Fuente y obtención de datos espaciales

Se mapeó el uso del suelo destinado a los cultivos de los años 1975, 2000, 2020 y 2024. Para el periodo de 1975-2000, se emplearon mapas de cobertura y uso del suelo basado en fotografías aéreas a una escala de 1:37 000, proporcionado por (López et al. 2006), derivados de una investigación que se llevó a cabo en este periodo. En contraste, para el periodo 2020-2024, se cartografió utilizando imágenes del satélite Sentinel 2-A, con una resolución espacial de 10 metros obtenido de <https://dataspace.copernicus.eu/>, previamente procesadas tanto geométricamente como radiométricamente. Todo el procesamiento y análisis de los datos espaciales se llevó a cabo mediante el software ArcMap 10.5.

Método de clasificación de las imágenes de los años 2020 y 2024

Para la actualización del uso del suelo en los años 2020 y 2024, se utilizó una interpretación visual a escala 1:50 000. Esta técnica se basa en la agrupación de áreas similares, considerando características como el color, textura y forma (FAO 1996). Cada polígono fue digitalizado y clasificado en las clases de bosque, matorral, pastizal, asentamientos humanos, huertas, cultivos y cultivo protegido, utilizando las herramientas de edición de ArcMap 10.5.

Validación de la fiabilidad temática de las imágenes de 2020 y 2024

La fiabilidad de la interpretación de las coberturas y los usos del suelo de los años 2020 y 2024 se evaluó mediante una matriz de confusión, comparando las categorías asignadas en la computadora con las reales (Mas et al. 2003). Se verificó en campo el 10% de los polígonos digitalizados usando un muestreo aleatorio simple, y para zonas de difícil acceso se utilizó el software de Google Earth. A partir de esta matriz, se calculó la precisión del productor, del usuario, global y el Coeficiente de Kappa (Chebby et al. 2023).

Detección del cambio de cobertura y uso del suelo

Se obtuvieron los cambios en los periodos de 1975-2000, 2000-2020 y 2020-2024, para ello, se generó una matriz de transición o tabulación cruzada, una de las herramientas más importantes en la evaluación del cambio de cobertura y uso del suelo (Pontius et al. 2004). Esta matriz permite identificar cuantitativamente la magnitud y las transiciones más importantes entre categorías durante un periodo de tiempo específico (Farfán et al. 2015). A partir de esta matriz se cuantificó el porcentaje de cambio anual, tal como se muestra en la **ecuación 1** (Temesgen et al. 2022) y la tasa de cambio anual (Mas et al. 2009), se observa en la **ecuación 2**.

Porcentaje de cambio

$$(\%) = (t2-t1)/t1 * 100 \quad (\text{ec. 1})$$

Donde:

t1= área del tiempo 1 en hectárea

t2= área del tiempo 2 en hectárea

Tasa de cambio

$$\delta n = (S2/S1)^{1/n} - 1 * 100 \quad (\text{ec. 2})$$

Donde:

δn = tasa de cambio en porcentaje

S1= superficie del tiempo 1

S2= superficie del tiempo 2

n= número de años transcurridos entre las dos fechas

Análisis de los datos de producción agrícola en la cuenca de Cuitzeo

Las actividades de producción económica están intrínsecamente relacionadas con los cambios en la cobertura y el uso del suelo (Nie et al. 2023; Oktavia et al. 2024). En este contexto, se realizó un análisis descriptivo de la evolución de la superficie sembrada, los tipos de cultivos y la producción económica. Esta información se obtuvo de las bases oficiales del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Se consideraron los registros del distrito de riego de Morelia, que abarca la cuenca de Cuitzeo, correspondiente a los años 2003, 2020 y 2023, debido a que son los únicos datos disponibles en esta región durante el periodo de estudio (SIAP, 2003, 2020, 2023).

Resultados

Validación de la fiabilidad temática de las imágenes de 2020 y 2024

La fiabilidad temática en la clasificación de las imágenes Sentinel 2A, fue evaluada con base en los indicadores de precisión del productor y del usuario, los cuales superaron el umbral mínimo aceptable del 85% en todas las clases analizadas. La precisión global registrada fue de 94.6% para 2020 y del 92.4% para 2024. Estos resultados fueron complementados con el cálculo del Índice de Kappa, que alcanzó el 90.2% y 92.1%, tal como se muestra en la [Tabla 1](#).

Tabla 1. Índices de precisión y fiabilidad de la clasificación temática de los mapas de cobertura y uso del suelo correspondientes a los años 2020 y 2024 en la cuenca del lago de Cuitzeo.

Table 1. Accuracy and reliability indices of the land cover and land use classification maps for the years 2020 and 2024 in the Lake Cuitzeo Basin.

Clases	Año 2020		Año 2024	
	Fiabilidad del usuario (%)	Fiabilidad del productor (%)	Fiabilidad del usuario (%)	Fiabilidad del productor (%)
Bosque	96.0	88.0	90.0	88.0
Matorral	94.1	95.2	94.0	94.0
Pastizal	85.6	88.4	94.0	87.0
Cultivo	91.6	88.7	91.0	93.0
Cultivo protegido	94.1	100.0	95.0	100.0
Huerta	94.6	100.0	89.0	100.0
Asentamientos humanos	100.0	100.0	99.0	100.0
Precisión global (%)	94.6		92.4	
Índice de kappa (%)	90.2		92.1	

Cambios en el uso del suelo agrícola en el periodo de 1975-2024

Se registró que, en los 49 años de análisis, la cuenca de Cuitzeo ha disminuido de manera considerable el uso del suelo dedicada a los cultivos. En 1975, al comienzo del periodo, los cultivos ocupaban el 43.9% de la superficie total de la cuenca. Sin embargo, para el año 2024 esta cifra disminuyó al 29.9% ([Tabla 2](#)). La superficie destinada a los cultivos de riego aumentó, en 1975 abarcaban el 32.5% y para el año 2024 representan el 41.6%, mientras que los cultivos de temporal, que inicialmente cubrían el 67.5%, descendieron al 58.4% ([Fig. 2](#)). El cambio observado refleja una pérdida importante de la superficie agrícola, marcada por distintas transiciones debido a la intensificación de los usos antrópicos en la región.

Tabla 2. Evolución de la superficie dedicada a la producción agrícola en la cuenca del lago de Cuitzeo, derivada del análisis de los mapas de cobertura y uso del suelo correspondientes a los años 2003, 2020 y 2023.

Table 2. Evolution of the area dedicated to agricultural production in the Lake Cuitzeo Basin, derived from the analysis of land cover and land use maps for the years 2003, 2020, and 2023.

Superficie (hectáreas), porcentaje de ocupación (%) y porcentaje de cambio (%)							Tasa de cambio (%)			
Clases	1975	2000	% de cambio	2020	% de cambio	2024	% de cambio	1975-2000	2000-2020	2020-2024
Cultivo	175 669.2 (43.9%)	135 413.2 (33.9%)	-22.9	120 963.3 (30.2%)	-10.7	119 598.6 (29.9%)	-1.1	-1.0	0.6	-0.3
Cultivo protegido	----	----	----	754.2 (1.9%)	----	1668.6 (4.1%)	121.1	----	----	21
Huertas	----	----	----	7996.8 (2.0%)	----	9207.4 (2.3%)	15.1	----	----	3.5

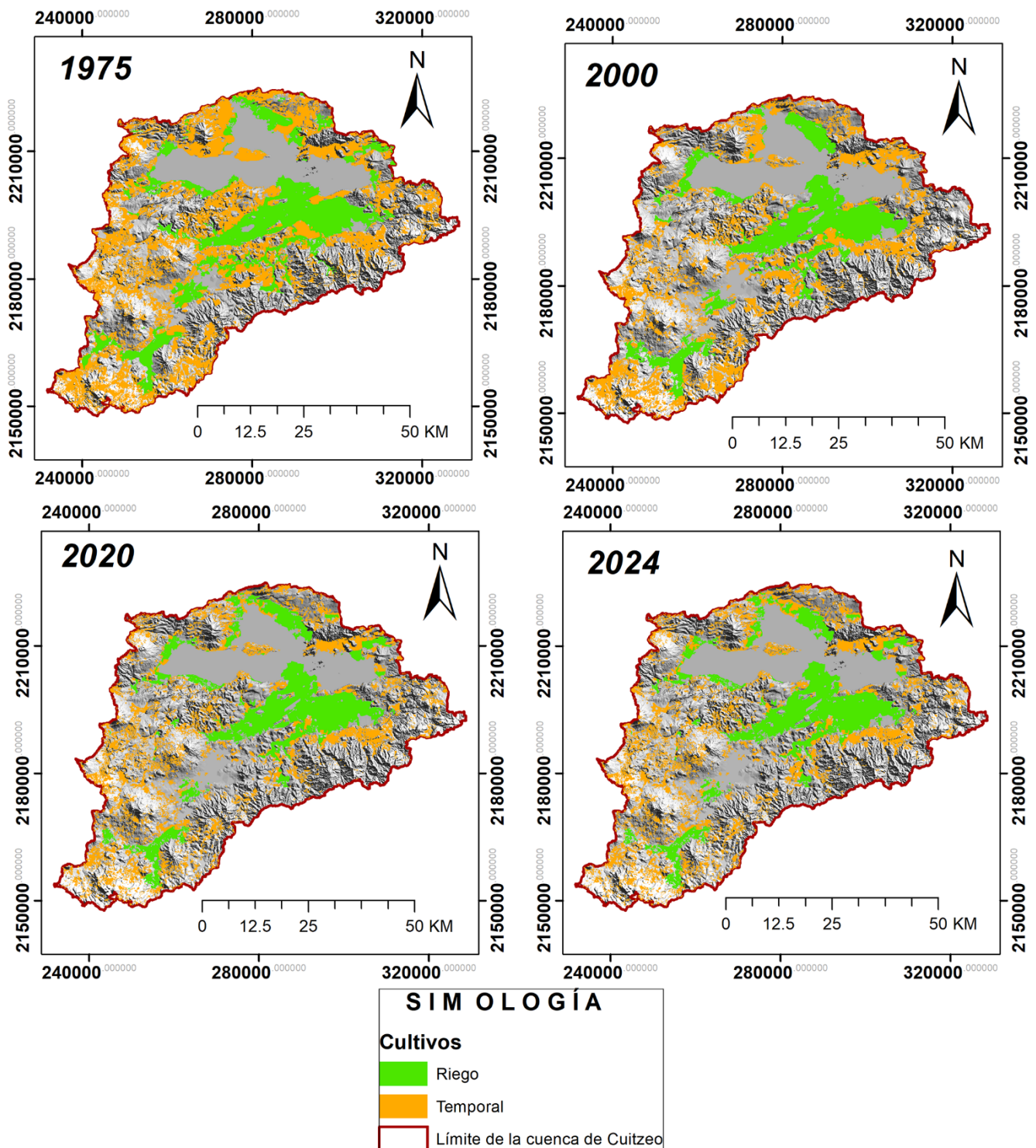


Figura 2. Distribución de la superficie de cultivo de riego y temporal en la cuenca de Cuitzeo. Se muestra cómo los cultivos de riego se concentran principalmente en las zonas próximas al lago de Cuitzeo, aprovechando la disponibilidad de agua en sus alrededores. En contraste, los cultivos de temporal se distribuyen de manera más extensa a lo largo de toda la cuenca, con una mayor presencia en las áreas planas ubicadas en la región central y norte del territorio.

Figure 2. Distribution of irrigated and rainfed cropland in the Cuitzeo Basin. The figure illustrates how irrigated crops are primarily concentrated in areas close to Lake Cuitzeo, taking advantage of the available water resources in its surroundings. In contrast, rainfed agriculture is more widely distributed across the basin, with greater prevalence in the flatlands located in the central and northern regions of the area.

En el periodo de 1975-2000, la superficie agrícola total se redujo en un 22.9%, lo que corresponde a una tasa de cambio anual del -1.0%. De acuerdo con la matriz de transición (**Tabla 3**) este fenómeno se atribuye a la expansión de los matorrales, que aumentaron en un 17%. Durante el periodo 2000-2020, la pérdida de superficie agrícola continuó, alcanzando una reducción adicional del 11%, con una tasa de cambio del -0.6% anual. En esta etapa, las principales transiciones ocurrieron por la intensificación de dos usos, el primero es debido a los pastizales, posiblemente destinado a la crianza y alimentación del ganado en la cuenca. El segundo uso, es el crecimiento de los asentamientos humanos que se ha intensificado desde hace algunas décadas. Asimismo, en este periodo se registró superficie ocupada de huertas y cultivos protegidos. En el periodo 2020-2024, aunque es más corto, la disminución de tierras agrícolas ha persistido con una reducción del 1.1% y una tasa de cambio anual del -0.3%. Las principales transiciones fueron hacia pastizales, huertas y cultivos protegidos.

Tabla 3. Matriz de transición de las clases de cobertura vegetal y usos del suelo en la cuenca del lago de Cuitzeo durante los periodos 1975–2000, 2000–2020 y 2020–2024.

Table 3. Transition matrix of land cover types and land use in the Lake Cuitzeo Basin during the periods 1975–2000, 2000–2020, and 2020–2024.

1975-2000								
Clases	C	B	MA	P	AH	Total 1975		
C	119 129.1	6375.8	31 478.8	9628.8	9056.7	175 669.2		
B	1627.4	58 586.3	6955.0	506.6	61.9	67 737.2		
MA	6157.7	14 236.0	45 278.0	3463.2	1291.6	70 426.5		
P	7140.9	1850.7	9759.0	9924.2	1230.9	29 905.8		
AH					7182.0	7182.0		
Total 2000	134 055.1	81 048.8	93 470.8	23 522.8	18 823.1	350 920.6		

2000-2020								
Clases	C	CP	HU	B	MA	P	AH	Total 2000
C	102 330.4	713.0	6126.3	2429.1	5778.8	9937.1	8098.4	135 413.2
CP								0.0
HU								0.0
B	1419.4	6.7	1510.2	66 853.8	10 445.3	785.6	308.1	81 329.1
MA	11 144.9	7.3	110.4	6686.7	56 283.6	15 819.8	1932.3	91 985.0
P	5656.6	27.1	49.8	527.5	2833.3	14 025.4	909.6	24 029.5
AH							19 682.3	19 682.3
Total 2020	120 551.3	754.2	7796.8	76 497.1	75 341.1	40 567.8	30 930.8	352 439.1

2020-2024								
Clases	C	CP	HU	B	MA	P	AH	Total 2020
C	117 916.6	780.5	800.6	40.7	218.7	1 109.1	97.0	120 963.3
CP	11.4	763.1	12.4	0.0	0.0	0.0	0.0	786.9
HU	296.2	49.6	7573.0	88.6	0.0	40.9	0.0	8048.3
B	123.9	8.3	413.3	76 569.7	176.2	25.0	0.0	77 316.3
MA	446.1	27.8	273.8	47.0	77 352.4	199.8	18.4	78 365.4
P	804.4	39.3	134.4	17.7	245.0	39 609.7	11.6	40 862.2
AH	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30 922.0	30 922.0
Total 2024	119 598.6	1 668.6	9 207.4	76 763.8	77 992.2	40 984.5	31 004.6	357 264.3

Nota: B= bosque, C= cultivo, CP=cultivo protegido, HU=huertas, MA= matorral, P=pastizal, AH=asentamientos humanos. Se observa las transiciones entre las coberturas y los usos del suelo en hectáreas. Las áreas sombreadas es la persistencia (superficie que no sufrió cambios).

Huertas y cultivo protegido

La superficie destinada a las huertas se registró a partir del periodo 2000-2020 con 7996.8 hectáreas, establecidas principalmente en áreas previamente ocupado por cultivos y bosques, tal como se observa en la matriz de transición. Para el periodo 2020-2024, se incrementó el 15.1% con una tasa de crecimiento anual del 3.5%, alcanzando 9207.4 hectáreas, que se han expandido sobre usos agrícolas y de bosque, ubicados al sur de la cuenca donde predominan áreas boscosas de pino y encino, en los municipios de Charo, Morelia, Acuitzio, Huiramba y Pátzcuaro (**Fig. 3**). Además, entre 2000 y 2020, se cuantificó superficie de cultivo protegido, aproximadamente 754.2 hectáreas, establecidas en zonas que se destinaban al cultivo tradicional, mientras que entre 2020 y 2024, se expandieron 121.1% con una tasa de crecimiento anual del 21%, equivalente a 1666.8 hectáreas, predominando en las áreas que se dedicaban al cultivo tradicional, concentrado en los municipios de Lagunillas, Morelia, Acuitzio, Huiramba y Copándaro.

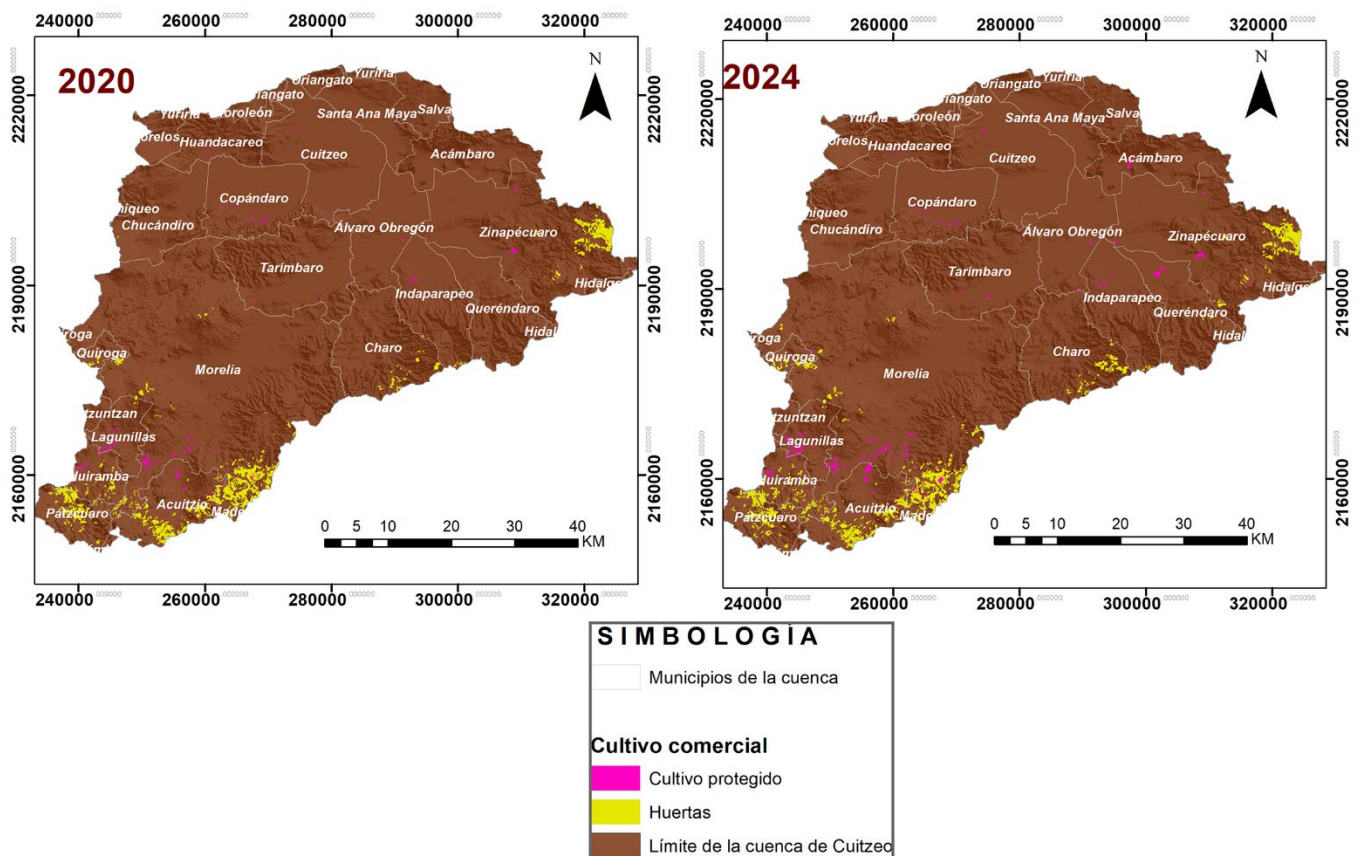


Figura 3. Los mapas muestran la localización y extensión de dos tipos de cultivos comerciales: huertas (en amarillo) y cultivos protegidos (en magenta) en la cuenca de Cuitzeo, derivados del análisis de imágenes multispectrales del satélite Sentinel-2A de los años 2020 y 2024.

Figure 3. The maps show the location and extent of two types of commercial crops orchards (in yellow) and protected crops (in magenta) within the Cuitzeo Basin, derived from the analysis of multispectral images from the Sentinel-2A satellite for the years 2020 and 2024.

Relación de la producción agrícola y la superficie de cultivo en la cuenca de Cuitzeo

Para comprender las causas sobre los cambios en la superficie agrícola en la cuenca de Cuitzeo, se realizó un análisis descriptivo utilizando datos estadísticos de la superficie sembrada, producción económica y tipos de cultivos, proporcionados por el SIAP. Los datos abarcaron los años 2003 (debido a la falta de datos de 1975 y 2000), 2020 y la reciente actualización del año 2023. Durante el periodo 2003-2020, la superficie total sembrada disminuyó 20.4%, mientras que el valor de la producción económica total aumentó 264%. Entre 2020 y 2023, se registró un incremento del 15.6% en la superficie sembrada y un aumento del 61% en el valor de la producción. A pesar de la disminución en la superficie dedicada a la agricultura, el valor de producción de esta actividad mostró un crecimiento importante (Fig. 4).

En el año 2003, el maíz se destacó como el cultivo predominante en superficie sembrada y en valor de producción, le siguen los cultivos destinados a la alimentación del ganado, como el sorgo y la alfalfa. Para 2020, el maíz continuó siendo el más relevante en ambas categorías, mientras que el aguacate apareció como el segundo cultivo más importante, desplazando al sorgo y a los otros cultivos tradicionales que se producían en la cuenca en los años anteriores. En 2023, el maíz y el aguacate siguen predominando en área sembrada como en rendimiento económico (Tabla 4). En los últimos cuatro años, ambos cultivos incrementaron su valor de producción en un 31% y 33%, aunque el maíz sigue ocupando mayor superficie. En este mismo año, el agave se consolidó como el tercer cultivo con mayor valor de producción y en el quinto lugar la fresa, después del cultivo de cebolla.

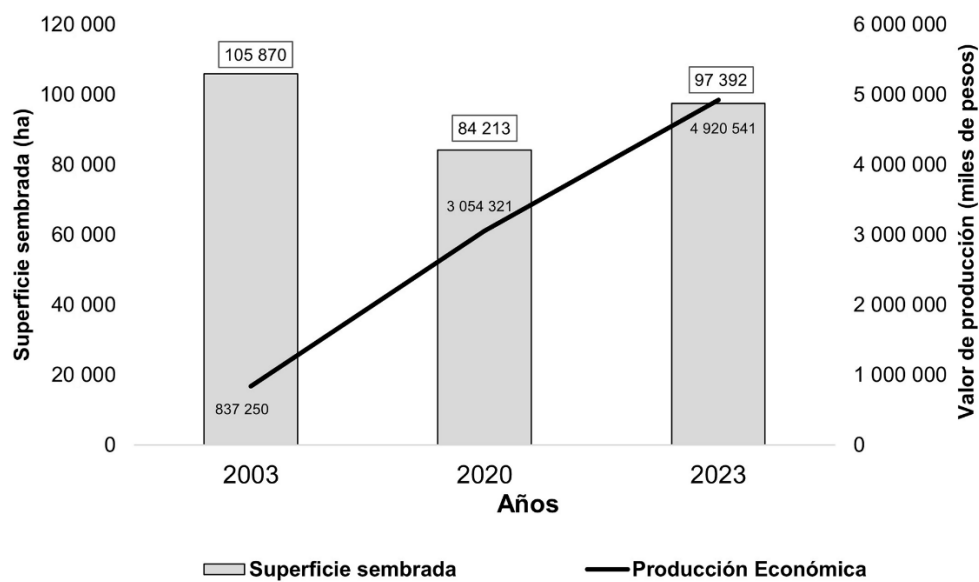


Figura 4. Superficie sembrada (en hectáreas) y valor económico de la producción agrícola (en miles de pesos) en la cuenca de Cuitzeo para los años 2003, 2020 y 2023, con base en los datos oficiales del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).

Figure 4. Planted area (in hectares) and economic value of agricultural production (in thousands of pesos) in the Cuitzeo Basin for the years 2003, 2020, and 2023, based on official data from the Agricultural and Fisheries Information Service (SIAP).

Tabla 4. Principales cultivos agrícolas y su valor de producción económica en la cuenca del lago de Cuitzeo, durante los años 2003, 2020 y 2023.

Table 4. Main agricultural crops and their economic production value in the Lake Cuitzeo Basin during the years 2003, 2020, and 2023.

	Cultivo	Superficie sembrada	Cultivo	Valor de producción (miles de pesos)
Año 2003	Maíz grano	80 017.00	Maíz grano	414 281.55
	Sorgo grano	7818.00	Alfalfa	136 775.20
	Avena forrajera	4065.35	Sorgo grano	50 312.53
	Trigo grano	2508.00	Avena forrajera	27 785.79
	Ciruela	2500.00	Durazno	24 417.00
	Frijol	1618.60	Zanahoria	22 866.00
Año 2020	Maíz grano	63 275.30	Maíz grano	1 092 892.40
	Aguacate	5322.00	Aguacate	848 871.48
	Trigo grano	3568.00	Agave	127 574.03
	Alfalfa	2519.00	Cebolla	121 384.33
	Avena forrajera	1918.40	Fresa	117 421.64
	Agave	1438.00	Alfalfa	112 338.63
Año 2023	Maíz grano	62 753.8	Maíz grano	1 432 480.7
	Aguacate	5637.5	Aguacate	1 128 960.5
	Trigo grano	4273.0	Agave	756 467.9
	Pastos y praderas	3986.0	Cebolla	162 256.1
	Avena forrajera	3296.5	Fresa	153 762.5
	Agave	2334.0	Alfalfa	132 026.5
	Ciruela	2025.0	Pastos y praderas	128 389.7
	Sorgo grano	1957.9	Trigo grano	122 958.8
	Alfalfa	1773.0	Durazno	120 434.1

Discusión

La interpretación de las clases en este estudio demuestra un nivel de certeza alto en la clasificación temática de las imágenes, al aplicarse indicadores de precisión del productor y del usuario conforme a los lineamientos metodológicos establecidos por [Mas et al. \(2003\)](#). Además, el uso complementario del índice de Kappa con resultados de 90.2% y 92.1%, proporcionó una medida adicional de concordancia, fortaleciendo la confianza en la interpretación de los datos clasificados. Esta metodología es consistente con enfoques utilizados en investigaciones previas que han abordado el análisis de cambios espacio-temporales en distintos contextos territoriales. Estudios reportados por [Chebby et al. \(2023\)](#), identificaron un incremento del 23.91% en los asentamientos humanos en su zona de estudio, resultados que coinciden con la tendencia observada en este análisis. Asimismo, [Fikadu y Olika \(2023\)](#), reportaron una reducción del 14% en la superficie agrícola y del 18% en las áreas boscosas, un patrón de cambio que también se observó en la presente investigación. Estas coincidencias refuerzan la solidez de los resultados y evidencian la validez del enfoque metodológico empleado en esta investigación.

La disminución de la superficie agrícola observada a lo largo de los tres periodos analizados refleja una dinámica compleja de transformación de esta clase en la cuenca de Cuitzeo. Entre 1975 y 2000, el aumento en la cobertura de matorrales fue resultado del abandono de las tierras agrícolas, un fenómeno reportado por [López et al. \(2006\)](#), mientras que, en los años 2000 y 2020, se observó la expansión de los pastizales, lo que podría estar indicando un cambio de este uso del suelo, relacionado con actividades ganaderas en la zona de estudio. La expansión de este uso induce a una disminución de la superficie que se destina a la agricultura, como señalaron [Swette y Lambin \(2021\)](#) e [Ibarrola et al. \(2022\)](#). En paralelo, el crecimiento acelerado de los asentamientos humanos ha contribuido de manera significativa a la conversión de áreas agrícolas en zonas urbanas o periurbanas ([López et al. 2006](#); [Rodríguez et al. 2020](#); [Ruiz et al. 2021](#)).

La aparición y expansión de huertas y cultivos protegidos en el reciente periodo de análisis (2020-2024), refleja una reconfiguración del sistema agrícola regional, orientada hacia formas de producción intensivas y económicamente más rentables, cuyos efectos plantea desafíos sobre la conservación de la cobertura vegetal y la sostenibilidad del paisaje. Lo observado en esta investigación se sustenta con el informe más reciente del [SIAP \(2023\)](#), reporta que las huertas destinadas a la producción de aguacate se han expandido en la cuenca, lo cual los ha posicionado en el segundo cultivo con mayor superficie sembrada y valor de producción económica, solo después del maíz. Investigaciones recientes que se han llevado a cabo para documentar el impacto de este cultivo, alertan que esta tendencia en el incremento de superficie destinada a la producción de aguacate en Michoacán podría mantenerse en los próximos años, contribuyendo de manera significativa a la pérdida de la cubierta natural como los bosques ([Arima et al. 2022](#); [Denvir 2023](#)).

En los últimos años, el sector dedicado al cultivo de aguacate ha cobrado relevancia como un impulsor de la actividad agrícola en la región, acompañado del incremento en la producción de frutos rojos como fresas y berries. Por otra parte, se ha señalado que la intensificación de este tipo de agricultura, impulsada por la demanda del mercado internacional, la fluctuación en los precios de los cultivos locales, la mecanización para aumentar la producción y las ganancias económicas ([Lira et al. 2022](#); [Yang et al. 2023](#)), así como la ejecución de políticas locales ([Doe et al. 2022](#)), ejercen una función clave en el cambio de uso del suelo y en la configuración del entorno natural ([German et al. 2020](#); [Zerga et al. 2021](#)). En este contexto, la intensificación de los tipos de cultivos comerciales en la cuenca podría estar actuando como una fuerza proximal o directa, mientras que el valor de producción económica representa una fuerza subyacente o indirecta que contribuye al cambio de uso del suelo, tal como lo han propuesto [Geist y Lambin \(2002\)](#).

Los cultivos de mayor rentabilidad no son la principal causa de la disminución en la superficie agrícola registrada. Sin embargo, representan el segundo factor más importante que posiblemente estaría induciendo el cambio en esta zona de estudio. La producción de cultivos con mayor demanda comercial, no solo reduce la vegetación natural, sino que también conduce al abandono de las prácticas agrícolas tradicionales, desplaza la superficie de producción y la diversidad de los cultivos locales ([Barsimantov y Navia 2012](#); [Cruz et al. 2020](#); [Denvir 2023](#)). Además, representa una amenaza para la biodiversidad de los bosques templados como se ha señalado en otras investigaciones ([Cho et al. 2021](#); [Pérez et al. 2023](#)), descenso de los polinizadores ([Vides et al. 2019](#)) y la exportación indirecta del agua ([Caro et al. 2021](#)). La situación observada en la cuenca de Cuitzeo evidencia desafíos importantes para preservar la vegetación natural y mantener las prácticas agrícolas tradicionales.

Conclusiones

Durante el primer periodo analizado, la reducción de la superficie agrícola estuvo relacionada con la expansión de matorrales, pastizales, asentamientos humanos y bosques. En el segundo periodo, la disminución continuó, influida por el crecimiento de los pastizales, asentamientos humanos, huertas y matorrales, mientras que, en el último periodo, la reducción ha sido originada principalmente por la expansión de pastizales, huertas y cultivo protegido. Además, se observó un cambio en el régimen de cultivo, con la conversión de tierras de riego a temporal en distintas zonas de la cuenca. El maíz y el aguacate se destacan como los cultivos con mayor superficie sembrada y relevancia económica en la región. Asimismo, el agave ha mostrado una expansión notable, posicionándose entre los cultivos con mayor rentabilidad de producción. La consolidación de cultivos comerciales ha sido un factor directo o proximal y el valor de producción una fuerza indirecta o subyacente. Los resultados de esta investigación pueden orientar la gestión sostenible del uso del suelo agrícola y la conservación de la vegetación en la cuenca.

Contribución de los autores

Pimienta-Ramírez L: curación de datos, análisis formal, investigación, metodología, validación, redacción del borrador original, redacción, revisión y edición. López-Granados E: supervisión, administración del proyecto y recursos. Reyes-Abrego G: recursos y curación de datos.

Disponibilidad de datos

Los datos espaciales originales no se pudieron publicar en un repositorio público, debido a que los correspondientes al primer período (1975-2000) provienen de fotografías aéreas obtenidas con fines específicos de cartografía y monitoreo ambiental para una investigación desarrollada en ese período. Los datos de los años 2020 y 2024 fueron generados a partir de imágenes satelitales de alta resolución y sensores remotos avanzados, como Sentinel 2-A. No obstante, dado que esta investigación es parte de un proyecto en curso, la publicación de todos los resultados aún no ha sido completada. Los datos originales de producción agrícola utilizados en este estudio están en el repositorio Zenodo.org disponibles en [<https://doi.org/10.5281/zenodo.13952819>].

Financiación, permisos requeridos, potenciales conflictos de interés y agradecimientos

Agradecemos al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca otorgada al primer autor, en el programa de Doctorado en Desarrollo y Sustentabilidad de la Facultad de Economía-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México, la cual hizo posible el desarrollo de esta investigación.

Los autores/as manifiestan que no existen conflictos de intereses.

Referencias

- Abdul, S., Émeline-Pelagie, A., Séverin, B., Ogoulonou, B., Bertrand, A., Samadori, S., et al. 2024. Land use/land cover and plant community dynamics in the Benin's forest reserves: The effectiveness of participatory forest management. *Trees, Forests and People* 16, 100-543. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100543>
- Acheampong, M., Yu, Q., Enomah, L.D., Anchang, J., Eduful, M. 2018. Land use/cover change in Ghana's oil city: Assessing the impact of neoliberal economic policies and implications for sustainable development goal number one – A remote sensing and GIS approach. *Land Use Policy* 73, 373-384. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.02.019>
- Adenle, A.A., Boillat, S., Speranza, C.I. 2022. Key dimensions of land users' perceptions of land degradation and sustainable land management in Niger State, Nigeria. *Environmental Challenges* 8, 100-544. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100544>
- Adzighli, W.K., Duku, E., Atampugre, G., Fürst, C., Nyarko, B.K. 2024. Agricultural land use policies and landscape dynamics: Evidence from rainforest agroecological zone. *Land Use Policy* 142, 107-184. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2024.107184>
- Afuye, G.A., Nduku, L., Kalumba, A.M., Santos, C.A.G., Orimoloye, I.R., Ojeh, V.N., Sibandze, P. 2024. Global trend assessment of land use and land cover changes: A systematic approach to future research development and planning. *Journal of King Saud University - Science* 36(7): 103-262. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2024.103262>
- Arfasa, G.F., Owusu-Sekyere, E., Doke, D.A. 2024. Spatio-Temporal Analysis of Land Use/Land Cover Change and the Implications on Sustainable Development Goals in the Veia Catchment of Ghana. *Rangeland Ecology & Management* 94, 83-94. <https://doi.org/10.1016/j.rama.2024.02.005>
- Arima, E.Y., Denvir, A., Young, K.R., González-Rodríguez, A., García-Oliva, F. 2022. Modelling avocado-driven deforestation in Michoacán, Mexico. *Environmental Research Letters* 17(3), 034-015. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac5419>
- Barsimantov, J., Navia, A.J. 2012. Forest cover change and land tenure change in Mexico's avocado region: Is community forestry related to reduced deforestation for high value crops? *Applied Geography* 32(2), 844-853. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.09.001>
- Bogale, T., Damene, S., Seyoum, A., Haregeweyn, N. 2024. Land use land cover change intensity analysis for sustainable natural resources management: The case of northwestern highlands of Ethiopia. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 34, 101-170. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2024.101170>
- Caro, B., Angela, Carmona-Jiménez, J., Rivera-Ramírez, K., Bieber, K. 2021. The effects of urbanization on aquatic ecosystems in peri-urban protected areas of Mexico City: The contradictory discourse of conservation amid expansion of informal settlements. *Land Use Policy* 102, 105-226. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105226>
- Chebby, F., Mmbaga, N., Ngongolo, K. 2023. Land use land cover change and socio-economic activities in the Burunge Wildlife Management Area ecosystem during COVID-19. *Heliyon* 9, 14064. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14064>
- Cho, K., Goldstein, B., Gounaridis, D., Newell, J.P. 2021. Where does your guacamole come from? Detecting deforestation associated with the export of avocados from Mexico to the United States. *Journal of Environmental Management* 278, 111-482. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111482>
- Cruz, R.B., Téllez, L.J., Carrillo, G.F.M. 2020. Análisis de cambios en las coberturas y usos de suelo de la cuenca del río Cuale, Jalisco, México. *Documents d'Anàlisi Geogràfica* 67(1), 33-50. <https://doi.org/10.5565/rev/dag.554>
- Denvir, A. 2023. Avocado expansion and the threat of forest loss in Michoacán, Mexico under climate change scenarios. *Applied Geography* 151, 102-856. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2022.102856>
- Doe, B., Amoako, C., Adamtey, R. 2022. Spatial expansion and patterns of land use/land cover changes around Accra, Ghana – Emerging insights from Awutu Senya East Municipal Area. *Land Use Policy* 112, 105-796. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105796>
- Du, J., Gong, Y., Xi, X., Liu, C., Qian, C., Ye, B. 2024. The study on the spatiotemporal changes in tradeoffs and synergies of ecosystem services and response to land use/land cover changes in the region around Taihu Lake. *Heliyon* 10(13): 33375. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33375>
- FAO 1996. *Forest resources assessment 1990. Survey of Tropical forest cover and study of change processes*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. <https://www.fao.org/3/w0015e/w0015e00.htm>

- Farfán, G.M., Rodríguez Tapia, G., Mas, J.-F. 2015. Análisis jerárquico de la intensidad de cambio de cobertura/uso de suelo y deforestación (2000-2008) en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, México. *Investigaciones geográficas* 0(90): 89-114. <https://doi.org/10.14350/ig.48600>
- Fikadu, G., Olika, G. 2023. Impact of land use land cover change using remote sensing with integration of socio-economic data on Rural Livelihoods in the Nashe watershed, Ethiopia. *Heliyon* 9(3): 13746. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13746>
- Gedle, A., Rientjes, T., Haile, A.T. 2024. Integrating temporal-aggregated satellite image with multi-sensor image fusion for seasonal land-cover mapping of Shilansha watershed, rift valley basin of Ethiopia. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 36, 101-320. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2024.101320>
- Geist, H., Lambin, F. 2002. Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation: Tropical forests are disappearing as the result of many pressures, both local and regional, acting in various combinations in different geographical locations. *BioScience* 52(2): 143-150. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0143:PCAUDF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0143:PCAUDF]2.0.CO;2)
- German, L.A., Hepinstall-Cymerman, J., Biggs, T., Parker, L., Salinas, M. 2020. The environmental effects of sugarcane expansion: A case study of changes in land and water use in southern Africa. *Applied Geography* 121, 102-240. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102240>
- Ibarrola, R.M.-J., Unar-Munguia, M., Kastner, T., Nonhebel, S. 2022. Does Mexico have the agricultural land resources to feed its population with a healthy and sustainable diet? *Sustainable Production and Consumption* 34, 371-384. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.09.015>
- INEGI 2022. *Estudio de información integrada de la Cuenca Lago Cuitzeo*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/889463906353.pdf
- Kondum, F.A., Rowshon, M.K., Luqman, C.A., Hasfalina, C.M., Zakari, M.D. 2024. Change analyses and prediction of land use and land cover changes in Bernam River Basin, Malaysia. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 36, 101-281. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2024.101281>
- Lázaro, A., Tur, C. 2018. Los cambios de uso del suelo como responsables del declive de polinizadores. *Ecosistemas* 27, 23-33. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1378>
- Leija, E.G., Valenzuela-Ceballos, S.I., Valencia-Castro, M., Jiménez-González, G., Castañeda-Gaytán, G., ReyesHernández H., Mendoza, M.E. 2020. Análisis de cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo en la región centro-norte de México. El caso de la cuenca baja del río Nazas. *Ecosistemas* 29(1), 1-10. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1826>
- Li, X., Zhang, X., Jin, X. 2024. Spatio-temporal characteristics and driving factors of cultivated land change in various agricultural regions of China: A detailed analysis based on county-level data. *Ecological Indicators* 166, 112-485. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112485>
- Lira, M.G., Davidson-Hunt, I.J., Robson, J.P. 2022. Artisanal Products and Land-Use Change in Indigenous Communities: The Case of Mezcal Production in Oaxaca, Mexico. *Land* 11(387), 1-18. <https://doi.org/10.3390/land11030387>
- López, E., Bocco, G., Mendoza, M., Velázquez, A., Rogelio Aguirre-Rivera, J. 2006. Peasant emigration and land-use change at the watershed level: A GIS-based approach in Central Mexico. *Agricultural Systems* 90(1), 62-78. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2005.11.001>
- Mas, G.J., Díaz-Gallegos, J.R., Pérez, Vega A. 2003. Evaluación de la confiabilidad temática de mapas o de imágenes clasificadas: una revisión. *Investigaciones Geográficas Boletín del Instituto de Geografía* 51, 53-72. <https://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n51/n51a5.pdf>
- Mas, F.J., Velázquez, A., Couturier, S. 2009. La evaluación de los cambios de cobertura/uso del suelo en la República Mexicana. *Investigación ambiental* 1(1), 23-39. https://www.ccmss.org.mx/wpcontent/uploads/2014/10/La_evaluacion_de_los_cambios_de_cobertura-uso_de_suelo_en_la_Republica_Mexicana.pdf
- Mendoza, M.E., Granados, E.L., Geneletti, D., Pérez-Salicrup, D.R., Salinas, V. 2011. Analysing land cover and land use change processes at watershed level: A multitemporal study in the Lake Cuitzeo Watershed, Mexico (1975–2003). *Applied Geography* 31(1), 237-250. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.05.010>
- Morales, L.M., Vidal, Z., Garduño, V.H., Manuel, H.V., Cabrera, G.A., Mendoza, M., Carlón Allende, T., et al. 2010. Área de estudio. En: Cram, S., Galicia, L., Israde Alcántara, I. (comps.), Atlas de la cuenca del lago de Cuitzeo: análisis de su geografía y su entorno socioambiental, Instituto de Geografía-UNAM/Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México, 311 p., ISBN 978-607-02-1830-9.
- Nie, Y., Zhang, X., Yang, Y., Liu, Z., He, C., Chen, X., Lu, T. 2023. Assessing the impacts of historical and future land-use/cover change on habitat quality in the urbanizing Lhasa River Basin on the Tibetan Plateau. *Ecological Indicators* 148, 110-147. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110147>
- Oktavia, D., Pratiwi, S.D., Kamaludin, N.N., Widiawaty, M.A., Dede, M. 2024. Dynamics of Land use and Land cover in the Belitung Island, Indonesia. *Heliyon* 10(12), 3329. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33291>
- Ortiz, P., Alcaraz Vera, J.V., Hernández Santoyo, A. 2023. El riesgo agrícola ante el cambio climático en la región Cuitzeo del estado de Michoacán, México. *Acta Universitaria* 33, 1-19. <https://doi.org/10.15174/au.2023.3763>
- Pérez, S., Vaca-Sánchez, M.S., Maldonado-López, Y., De Faria, M.L., Borges, M.A.Z., Fagundes, M., Cuevas-Reyes, P. 2023. Changes in land use of temperate forests associated to avocado production in Mexico: Impacts on soil properties, plant traits and insect-plant interactions. *Agricultural Systems* 204, 103-556. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103556>
- Pontius, R.G., Shusas, E., McEachern M. 2004. Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 101(2), 251-268. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.09.008>
- Qasim, M., Hubacek, K., Termansen, M. 2013. Underlying and proximate driving causes of land use change in district Swat, Pakistan. *Land Use Policy* 34, 146-157. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.02.008>
- Raja, S.P., Mathew, A. 2023. Detection of land use/land cover changes in a watershed: A case study of the Murredu watershed in Telangana state, India. *Watershed Ecology and the Environment* 5, 46-55. <https://doi.org/10.1016/j.wsee.2022.12.003>
- Rodríguez, N., Vieyra, A., Méndez-Lemus, Y., Hidalgo Dattwyler, R., Alvarado Peterson, V., Rodríguez, J. 2020. Trayectorias de la periurbanización en Morelia, México: segregación espacial desde un enfoque relacional. *Revista de Urbanismo* 0(42), 88-104. <https://doi.org/10.5354/0717-5051.2020.54924>
- Ruiz, L., Cinthia, Vieyra, A., Méndez-Lemus, Y. 2021. Segregación espacial en Tarímbaro, municipio periurbano de la zona metropolitana de Morelia, Michoacán, México. *Revista de Geografía Norte Grande* 78, 237-257. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022021000100237>
- SIAP 2023. *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> [Consultado el 5 de octubre de 2023].
- Swette, B., Lambin, E.F. 2021. Institutional changes drive land use transitions on rangelands: The case of grazing on public lands in the American West. *Global Environmental Change* 66, 102-220. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102220>
- Teck, V., Poortinga, A., Riano, C., Dahal, K., Legaspi, R.M.B., Ann, V., Chea, R. 2023. Land use and land cover change implications on agriculture and natural resource management of Koah Nheak, Monduliri province, Cambodia. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 29, 100-895. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100895>

- Temesgen, F., Warkineh, B., Hailemichael, A. 2022. Seasonal land use/land cover change and the drivers in Kafta Sheraro national park, Tigray, Ethiopia. *Heliyon* 8(12), 12298. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12298>
- Turner, B.L., Lambin, E.F., Verburg, P.H. 2021. From land-use/land-cover to land system science. *Ambio* 50(7), 1291-1294. <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01510-4>
- Urşanu, E.-A., Grigorescu, I., Dumitrică, C., Kucsicsa, G., Mitrică, B., Roznovietchi, I., Ciubuc, C. 2024. Long-term changes of agricultural land over the last century in Romania. The showcase of Romanian plain. *Anthropocene* 48, 100-449. <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2024.100449>
- Vides, B., Porter-Bolland, L., Ferguson, B.G., Gasselin, P., Vaca, R., Valle-Mora, J., Vandame, R. 2019. Polycultures, pastures and monocultures: Effects of land use intensity on wild bee diversity in tropical landscapes of southeastern Mexico. *Biological Conservation* 236, 269-280. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.04.025>
- Villafán, V.K., Arellanes, C.Y., López, P.R., Ayala, O.D. 2021. Situación socioambiental en el lago de Cuitzeo, Michoacán (México), desde la responsabilidad social. *Economía, Sociedad y Territorio* 21(66), 599-629. <https://doi.org/10.22136/est20211694>
- Wahdatyar, R., Khokhar M.F., Ahmad, S., Rahil, M.U., Stanikzai, M.A., Khan, J.A., Kamran. 2024. Exploring the dynamics and future projections of land use land cover changes by exploiting geospatial techniques; A case study of the Kabul River Basin. *Heliyon* 10(3), 39020. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39020>
- Wijesingha, J., Dzene, I., Wachendorf, M. 2024. Evaluating the spatial-temporal transferability of models for agricultural land cover mapping using Landsat archive. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 213, 72-86. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2024.05.020>
- Yang, J., Liu, C., Liu, K. 2023. Land marketization and industrial restructuring in China. *Land Use Policy* 131, 106-737. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.106737>
- Zerga, B., Warkineh, B., Teketay, D., Woldetsadik, M., Sahle, M. 2021. Land use and land cover changes driven by expansion of eucalypt plantations in the Western Gurage Watersheds, Central-south Ethiopia. *Trees, Forests and People* 5, 100-087. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2021.100087>