

Pérdida de superficie agrícola en los distritos de riego del Estado de México y patrones de crecimiento urbano

Loss of Agricultural Land in the Irrigation Districts of the State of Mexico and Urban Growth Patterns

Arely Romero-Padilla,* Martín Hernández-Juárez** y José Manuel Espinosa Herrera***

Recibido: 13/03/2024. Aceptado: 23/09/2024. Publicado: 14/11/2024.

Resumen. En esta investigación, analizamos la pérdida de superficie agrícola en los distritos de riego (DR) del estado de México e identificamos patrones de crecimiento urbano. La metodología fue de un enfoque mixto combinando métodos cuantitativos, cualitativos y espaciales. Se procesaron y analizaron imágenes del satélite sentinel-2 de los años 2016 y 2022 y la capa vectorial de parcelas del 2010 para identificar parcelas total o parcialmente urbanizadas y contabilizar la pérdida de superficie agrícola. Asimismo, se identificaron los patrones de crecimiento urbano dentro de los DR y se realizaron entrevistas a actores clave para conocer sus percepciones y expectativas respecto a la pérdida de superficie agrícola por urbanización. Los resultados muestran crecimiento urbano en todos los DR, la mayor pérdida de superficie agrícola se presenta en los DR más cercanos a la Ciudad de México. Se encontró una tasa general de crecimiento de superficie urbana de 0.7 durante el periodo 2016-2022, con el mayor porcentaje de pérdida en los DR 088 Chiconautla y 073 La Concepción. Finalmente se identificaron y analizaron cinco patrones de crecimiento urbano en los DR. La urbanización es un proceso complejo y continuo que perdurará en los próximos años, por lo que es importante establecer un proceso de planificación ordenado con base en los patrones de crecimiento y características de cada DR.

Palabras clave: expansión urbana, conversión de tierra agrícola, sensores remotos, SIG, cambio de uso de suelo

Abstract. The global population growth demands more space for households and greater food availability, which directly and continuously affect the area of land dedicated to agriculture. In this context, the loss of agricultural area is related to the urban growth rate and population growth; therefore, understanding the relationship between the loss of such an area and urban expansion is important to predict the impacts of urbanization on agriculture. Despite the discouraging outlook regarding the loss of agricultural land loss, Rimal *et al.* pointed out that proper urban growth management can reduce agricultural land loss. However, knowing the configuration and spatial behavior of each place is necessary to improve our understanding of urban expansion and generate better territorial planning.

The objectives of this study were to quantify and analyze the growth of urban area in the irrigation districts of the State of Mexico from 2010 to 2022, divided into two subperiods, 2010-2016 and 2016-2022, to identify the current urban growth patterns, and to understand the expectations of key actors regarding factors that influence the change from agricultural to urban land use.

* Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo. 56230 Texcoco, Estado de México, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9266-4917>. Email: aromerop@chapingo.mx

** Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo. 56230 Texcoco, Estado de México, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2071-791X>. Email: mhernand@colpos.mx. Autor de correspondencia.

*** Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo. 56230 Texcoco, Estado de México, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8870-0815>. Email: jman@live.com.mx

According to INEGI's 2022 agriculture census, the area with farming use or vocation was 88.4 million hectares in Mexico and 1.1 million hectares in the State of Mexico. However, the spatial delimitation of the entire agricultural area is complex, as crops can be misidentified as another type of land use. For this reason, this study used data from the irrigation districts (ID) of the State of Mexico, whose information considers only plots that are or were dedicated to agriculture. The study area included the plots of the five IDs located in the northern part of the State of Mexico: 033 Estado de México, 044 Jilotepec, 073 La Concepción, 088 Chiconautla, and 096 Arroyozarco.

The methodology consisted of a mixed approach that combined quantitative, qualitative, and spatial methods. Sentinel-2 satellite images from 2016 and 2022 and the vector layer of plots from 2010 were processed and analyzed to totally or partially identify urban plots and account for the loss of agricultural land. All images were processed with the QGIS software (v. 3.16).

Furthermore, urban growth patterns within IDs were identified, and key actors were interviewed to learn about their perceptions and expectations regarding the loss of agricultural land to urbanization.

The results showed urban growth in all IDs; however, the percentage of agricultural area loss varied according to the proximity of each district to the cities and the metropolitan area of Mexico City. The overall growth rate of the urban area was 0.7 during the period 2016–2022; the IDs with the highest urban growth rate were DR 044 Jilotepec and DR 088 Chiconautla.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población mundial demanda más espacio para viviendas y a la vez mayor disponibilidad de alimentos. Estos factores afectan de manera directa y continua la superficie dedicada a la agricultura; por un lado, el aumento de la población requiere mayor producción de alimentos para satisfacer sus necesidades, y por otro, se reduce la disponibilidad de tierras dedicadas a la producción agrícola por expansión de la mancha urbana, especialmente en las zonas periurbanas. De este modo, las tierras agrícolas están amenazadas por la fragmentación y el desarrollo urbano disperso en muchos países (Azadi *et al.*, 2011; Rimal *et al.*, 2018).

La pérdida de superficie agrícola se relaciona con la tasa de crecimiento urbano y, por tanto, con el crecimiento poblacional, por lo que dicha pérdida en tierras agrícolas genera el cambio de un lugar de rural a urbano (Pham *et al.*, 2015;

Although the districts are located within the same state and socioeconomic conditions may be similar, our results showed different urban growth patterns within each district. The urban growth patterns found are growth near roads, growth due to infrastructure construction, growth near metropolitan areas, sparse growth, and growth due to industrial development.

Supplementing the spatial analysis, the interviews with key actors allowed for the identification of the factors that most likely influence the shift from agricultural to urban land use. The interviewed actors agree that the main drivers of urban growth are proximity to cities, the construction of roads, the construction of infrastructure or industrial zones, and the increase in quotas of power from irrigation wells. These findings suggest that, in general, to meet the needs of a growing population, more land is required at the expense of agricultural areas. On the other hand, the main factors that deter this change in land use are the profitability of agriculture, the advanced age of landowners, and the attachment of farmers to agriculture.

Urbanization is a complex and continuous process that will persist in the coming years, so it is imperative to establish an orderly planning process according to the growth patterns and characteristics of each IR. On the other hand, intensification and innovation are key to increasing the efficiency of agricultural production, maximizing productivity with higher yields, and creating more efficient production systems using the available resources.

Keywords: urban growth, agricultural land conversion, remote sensing, GIS, land use change.

Rimal *et al.*, 2018). Se espera que esta pérdida de superficie agrícola aumente a medida que las poblaciones urbanas continúen creciendo (Pandey y Seto, 2015) debido al incremento en la demanda de suelo para viviendas y actividades humanas (Salem *et al.*, 2020) ya que el tamaño de la tierra es fijo y con el aumento anual de la población habrá mayor demanda de alojamiento y una mayor competencia por la tierra para satisfacer diversas necesidades (Ziem Bonye *et al.*, 2021).

El entendimiento de la relación de dicha pérdida de superficie con la expansión urbana es importante para predecir los impactos de la urbanización en la agricultura (Pham *et al.*, 2015). La reducción en la superficie de tierra dedicada a la agricultura puede disminuir la disponibilidad de productos agrícolas y abastecimiento de alimentos a la población. En este sentido, una urbanización descontrolada y sistemas ineficaces de planificación de uso de suelo afectan la seguridad alimentaria (Ziem Bonye

et al., 2021). Estos procesos y su impacto se han observado en otras partes del mundo, por ejemplo, K. Shi *et al.* (2016) encontraron una correlación positiva entre la disminución de la producción de granos y la pérdida significativa de áreas agrícolas en zonas desarrolladas de China. Esta reducción en los productos agrícolas se podría impedir con estrategias que fomenten la intensificación de la producción agrícola a través de implementar nuevos paquetes tecnológicos e innovaciones en los sistemas de producción.

La pérdida de tierras agrícolas por la urbanización afecta no solo a la agricultura y la producción de alimentos frescos, también afecta la sustentabilidad medioambiental, el clima, la hidrología, los hábitats y con ello la diversidad de especies de plantas y animales (Bhatta, 2010; Pandey *et al.*, 2018; Radwan *et al.*, 2019). Fazal (2000) concluye que se han destruido tierras agrícolas fértiles que no se pueden recuperar y los canales que llevaban agua a las zonas agrícolas son invadidos y utilizados posteriormente por basura y desechos en India. Y, por otro lado, Vargas y Magaña (2020) concluyen que en México el rápido crecimiento urbano ha propiciado la existencia de mayores ocurrencias de calor y lluvias intensas.

Dentro de los principales factores que conllevaron el crecimiento urbano y que han impulsado la pérdida de tierras agrícolas en Egipto están el rápido crecimiento de la población, el valor de la tierra, la especulación del mercado inmobiliario, la fragmentación de las tierras agrícolas y la red de carreteras (Salem *et al.*, 2020).

A pesar de existir un panorama desalentador en la pérdida de superficie agrícola, Rimal *et al.* (2018) señalan que la gestión adecuada del crecimiento urbano puede reducir las pérdidas de tierras agrícolas en relación con las tendencias históricas aún con mayor crecimiento demográfico y urbanización. Sin embargo, es necesario conocer la configuración y el comportamiento espacial de cada lugar para un mayor entendimiento de la expansión urbana y generar una mejor planificación territorial (Spieth *et al.*, 2014).

En México no se han realizado estudios sobre la pérdida de áreas agrícolas en zonas para la producción de alimentos como lo son los distritos de riego (DR); además, las actividades humanas

mantiene presiones ambientales y sociales dentro de las cuales se destaca la demanda de agua para uso residencial y comercial afectando la explotación de los acuíferos y otras fuentes de agua del valle de México (Graizbord y González Granillo, 2019) por lo que es importante el estudio de la urbanización de las parcelas de los DR del Estado de México.

México tiene una superficie agrícola con infraestructura de riego de 6.7 millones de hectáreas, de las cuales 3.3 millones corresponden a los 86 distritos de riego. Los DR son proyecto desarrollados por el gobierno federal desde 1926 e incluyen obras como almacenamiento, derivaciones directas, plantas de bombeo, pozos y canales (CONAGUA, 2022). De acuerdo con la disponibilidad de las fuentes de abastecimiento, cada año se programa el volumen de agua para riego en cada DR.

Con base en lo mencionado, los objetivos de esta investigación fueron cuantificar y analizar el crecimiento de superficie urbana en los distritos de riego del estado de México del 2010 al 2022 en dos subperiodos 2010-2016 y 2016-2022 e identificar los patrones de crecimiento urbano presentes, así como conocer las expectativas de actores clave sobre los factores que influyen en el cambio de uso de suelo de agrícola a urbano. Además, la investigación analiza las implicaciones que el crecimiento urbano tiene en la configuración de los diferentes sectores, así como la problemática y las consecuencias que se derivan de la urbanización de parcelas agrícolas. La estructura que sigue el artículo sucesivo a la introducción es la metodología, posteriormente se presentan los resultados de la urbanización y pérdida de superficie agrícola en los DR y se describen los patrones de crecimiento urbano identificados, finalmente se presentan las conclusiones.

METODOLOGÍA

Área de estudio

La superficie con uso o vocación agropecuaria en México fue de 88.4 millones de ha., mientras en el Estado de México esta superficie fue de 1.1 millones de ha., de acuerdo con el censo agropecuario 2022 (INEGI, 2023). Sin embargo, espacialmente es difícil delimitar toda la superficie agrícola y es

posible confundir parcelas agrícolas con otro tipo de suelo. Por ello esta investigación utiliza los datos de los DR del Estado de México cuya información considera sólo aquellas parcelas que son o fueron de uso agrícola.

El área de estudio comprende las parcelas de los cinco DR que se ubican en la parte norte del Estado de México (Cuadro 1): 033 Estado de México, 044 Jilotepec, 073 La Concepción, 088 Chiconautla,

096 Arroyozarco (Figura 1). El DR 033 Estado de México pertenece a la cuenca Lerma-Santiago-Pacífico, mientras que los otros cuatro a la cuenca Valle de México. Por ser un área irrigada, es una zona agrícola del Estado de México al disponer del recurso agua indispensable para la producción. La superficie total de los cinco DR de la zona de estudio es de 52 986 ha. Es importante mencionar que los DR 073 La Concepción y 088 Chiconautla se ubi-

Cuadro 1. Características generales de los DR del Estado de México (2010-2020)

	Principales cultivos	Municipios	Superficie (km ²)	Superficie agrícola y forestal 2016 (km ²)	Población 2010 (habitantes)	Población 2020 (habitantes)	Densidad de población 2016 (habitantes /km ²)	Densidad de población 2020 (habitantes /km ²)	Tasa de crecimiento población (%) 2010-2020
DR 033 Estado de México	Maíz, Rye grass, avena forrajera, trigo grano, jitomate invernadero y rosas	Temascalcingo	362.34	140.55	62 695	66 414	173	183	6
		Atlacomulco	257.89	109.03	93 718	109 384	363	424	17
		Jocotitlán	277.35	173.35	61 204	69 264	221	250	13
DR 044 Jilotepec	Maíz grano, Rye grass, avena forrajera, frutales asociados y jitomate de invernadero	Jilotepec	586.2	329.7	83 755	87 671	143	150	5
		Soyaniquilpan de Juárez	128.64	68.47	11 798	14 323	92	111	21
DR 073 La concepción	Alfalfa, maíz forrajero, maíz grano, papa y jitomate invernadero	Cuautitlán Izcalli	26.23	17.50	140 059	555 163	5340	21 165	296
		Teoloyucán	53.6	5.76	63 115	65 459	1178	1221	4
		Tepotzotlán	188.22	65.79	88 559	103 696	471	551	17
DR 088 Chiconoutla	Maíz forrajero, Avena forrajera, alfalfa, maíz grano, jitomate de invernadero y otros forrajes	Tonanitla	9.04	5.94	10 216	14 883	1130	1646	46
		Tecámac	156.97	49.18	364 579	547 503	2323	3488	50
DR 096 Arroyozarco	Maíz grano, avena forrajera, Rye Grass y jitomate invernadero	Aculco	453.74	271.17	44 823	49 266	99	109	10
		Polotitlán	126.69	83.84	13 002	14 985	103	118	15

Fuente: elaboración propia con datos de INEGI

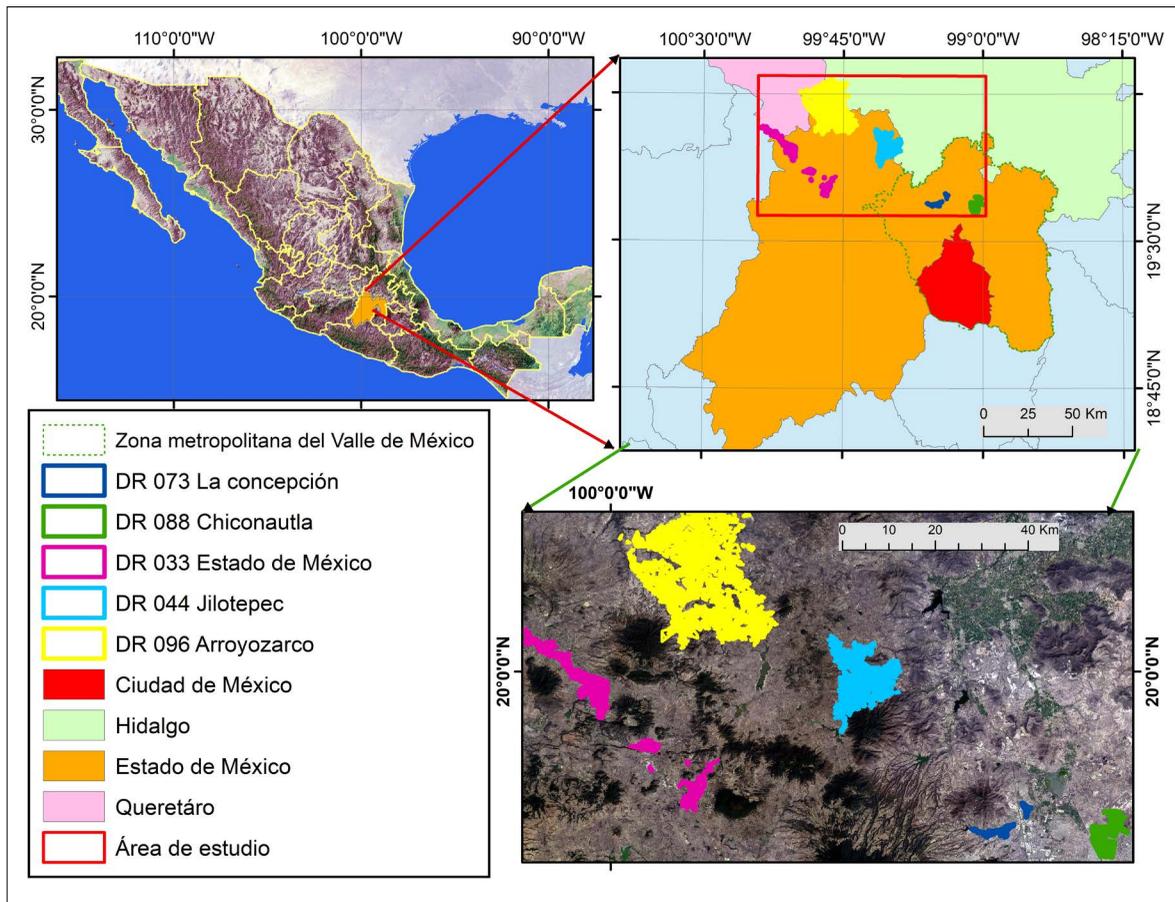


Figura 1. Ubicación del área de estudio. Fuente: elaboración propia.

can en la zona metropolitana del Valle de México, la cual ha mantenido históricamente un crecimiento urbano acelerado, el DR 096 Arroyozarco abarca parcelas en los estados de Hidalgo y Querétaro y el DR 033 Estado de México tiene parcelas en el estado de Querétaro

Datos

El análisis de imágenes satelitales es una herramienta confiable y útil en estudios territoriales urbanos, ya que pueden utilizarse para detectar cambios en la superficie de la tierra y actualizar información urbana, identificar áreas construidas y expansión urbana (Fazal, 2000; Heider et al., 2018). En este estudio se utilizaron imágenes del satélite Sentinel-2 de la agencia espacial europea para los años 2016 y 2022, descargadas del centro de acceso

abierto Copernicus de la European Space Agency (ESA, 2022). Las imágenes del 2016 fueron obtenidas en formato 1C, por lo que se procesaron con el software Sen2Cor para transformarlas a formato 2A con corrección atmosférica. (2017, 2022) y CONAGUA (2019).

Las imágenes Sentinel tienen 13 bandas con longitudes de onda de 0.44 μm (aerosol costero) a 2.19 μm (infrarrojo de onda corta), cuatro bandas tienen una resolución espacial de 10 m, seis bandas de 20 metros y tres de 60 m. Para cubrir el área de estudio se utilizaron tres imágenes: 14QLH, 14 QMH y 14QMG. La cuantificación de la superficie urbanizada en los DR se realizó en shapefiles proporcionados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) con parcelas del año 2010.

Con el objetivo de obtener información desde la perspectiva de los actores del territorio sobre las experiencias y expectativas en el cambio de uso de suelo en los DR, los factores que han propiciado la urbanización y su efecto en las actividades agrícolas, se realizaron tres entrevistas semiestructuradas a personal operativo de CONAGUA. Además, se realizó un recorrido por las parcelas de los DR para observar el estado de las actividades agrícolas y el desarrollo urbano e industrial del territorio. Este enfoque cualitativo, como lo menciona Hernández-Sampieri y Mendoza-Torres (2014) tiene el propósito de complementar y profundizar en los resultados obtenidos del análisis cuantitativo generado mediante el análisis de las imágenes satelitales, enriqueciéndolo la investigación con las perspectivas de los actores entrevistados, sus opiniones y comentarios respecto la percepción de la pérdida de superficie agrícola.

Procesamiento y análisis de las imágenes y entrevistas

A cada banda se le aplicó un recorte para cubrir el área comprendida por los *shapefiles* de los DR analizados. Posteriormente, se realizó un mosaico con las tres imágenes que completan el área total. Todo el procesamiento de las imágenes se realizó con el software QGIS (v. 3.16).

Se utilizaron todas las parcelas de los DR de los archivos *shapefiles* del 2010 para identificar las que cambiaron su uso de agrícola a urbano. Se realizó un análisis visual de cada parcela en las imágenes de 2016 y 2022 para definir si la parcela continuaba en uso agrícola o había sido urbanizada parcial o totalmente; en algunos casos se validó el cambio de uso de suelo usando imágenes de Google Earth. Finalmente, se contabilizó la superficie agrícola para los años 2016 y 2022 para determinar el cambio y pérdida en la superficie agrícola respecto al año base 2010 calculada de los *shapefiles* de parcelas proporcionado por CONAGUA y se estimó la tasa de crecimiento de superficie urbana entre 2016 y 2022 mediante la siguiente ecuación (L. Shi *et al.*, 2019):

$$Ar = \frac{At_2 - At_1}{At_1} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde Ar es la tasa de crecimiento de superficie urbana en el período de tiempo 2016-2022, At₂ es la superficie urbana del año 2022 y At₁ es la superficie urbana del año 2016 con At₂ > At₁.

El análisis del crecimiento urbano y la transformación de las parcelas de los DR del Estado de México se basa en la revisión visual de la superposición del *shapefile* de parcelas sobre las imágenes satelitales. Asimismo, se realizó un recorrido de campo a las áreas más afectadas por la urbanización donde se pudo observar el cambio de uso de suelo agrícola a urbano o industrial de parcelas de los DR. Con base en investigaciones desarrolladas en otros países se identifican y analizan cinco patrones importantes de crecimiento urbano en las parcelas de los DR del Estado de México.

La información cualitativa fue procesada mediante un análisis de contenido de los entrevistados para categorizar y contextualizar los datos colectados, con la finalidad de conocer las expectativas sobre los posibles factores que influyen en el cambio de suelo y determinar cuáles son los factores que impulsan e inhiben el crecimiento urbano en los DR del Estado de México. El recorrido de campo permitió corroborar la información obtenida a través del análisis espacial de las imágenes y complementar con la información de los entrevistados. La metodología general se presenta en el diagrama de la Figura 2.

Urbanización y pérdida de superficie agrícola en los DR

En general se pudo observar un crecimiento urbano desplazando a la superficie agrícola en todos los DR (Cuadro 2). Sin embargo, el porcentaje de pérdida de la superficie agrícola varía de acuerdo con la cercanía de cada distrito a las ciudades y zona metropolitana de la ciudad de México.

Los DR con la mayor tasa de crecimiento urbano fueron el DR 044 Jilotepec y DR 088 Chiconautla, sin embargo, el DR 044 Jilotepec es de mayor superficie por lo que, a pesar de tener la tasa de crecimiento más alta, el porcentaje en pérdida es mucho menor a los DR 088 Chiconautla y el DR 073 La Concepción, este último con la mayor pérdida de superficie en ambos años evaluados. En el periodo 2010-2022, el DR con la mayor pérdida de superfi-

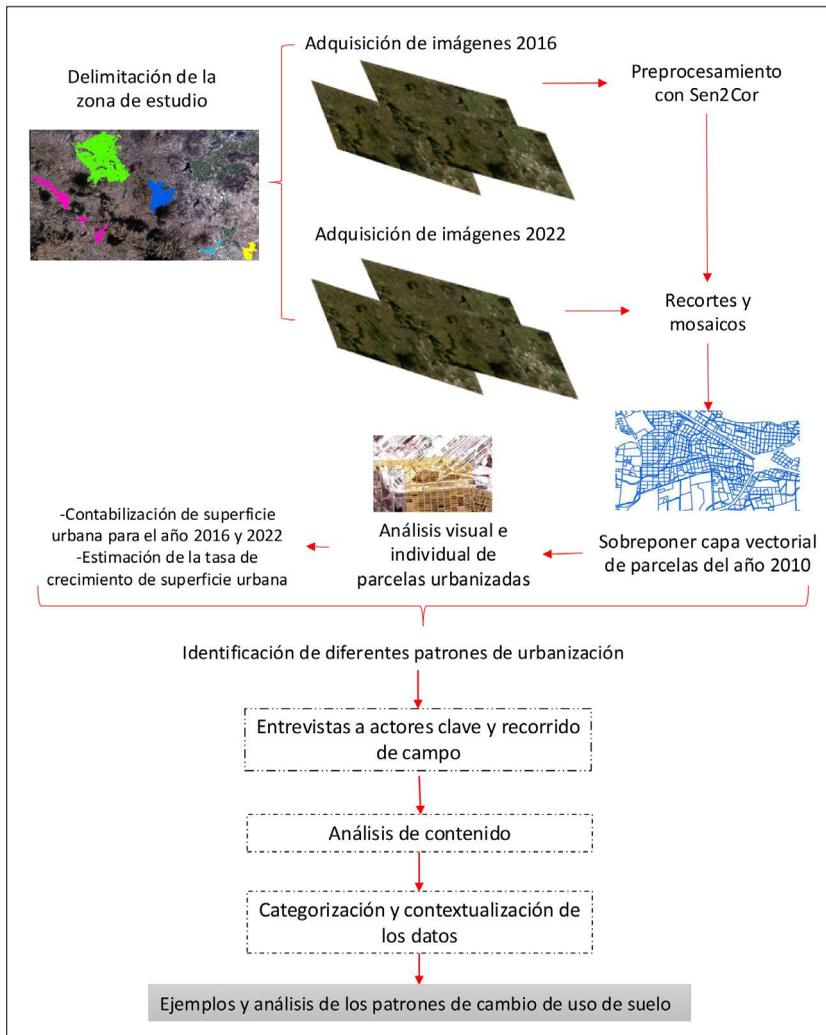


Figura 2. Diagrama general de la metodología. Fuente: elaboración propia.

cie agrícola fue el DR 088. Es importante considerar que este DR y el DR 073 se encuentran dentro del área considerada como zona metropolitana del valle de México. Además, en el DR 088 se encuentra el establecimiento del aeropuerto internacional Felipe Ángeles y su actual construcción ha cambiado el uso de suelo de muchas parcelas para formar parte del proyecto aeroportuario. El DR 073 es el más pequeño de los DR del Estado de México y en el periodo 2010-2022 aproximadamente la mitad de su superficie cambió a uso urbano (47% de la superficie total) (Cuadro 2).

El DR 033 Estado de México es el DR con el menor porcentaje de pérdida de superficie agrícola

por urbanización. Finalmente, el DR 096 Arroyzarco de mayor superficie presentó la menor tasa de crecimiento de superficie urbana, posiblemente debido a que es el DR más alejado de la zona metropolitana del valle de México y con parcelas en los estados de Hidalgo y Querétaro.

Cabe señalar que existen diferencias entre estos resultados y las estadísticas reportadas por (CONAGUA, 2019) debido a que nuestro análisis contabiliza parcelas que en el 2010 eran agrícolas y que actualmente son terrenos que han abandonado la actividad agrícola y no solicitan agua para riego, pero no tienen construcciones y por tanto se consideraron parcelas aún agrícolas.

Cuadro 2. Área urbanizada en los DR del Estado de México.

	Área agrícola total en 2010 (ha)	Área urbana en 2016*		Área urbana en 2022*		Tasa de crecimiento de Área urbana 2016-2022
		Ha.	% de la superficie total	Ha.	% de la superficie total	
DR033 Edomex	7591	49	0.65	69	0.91	0.40
Dr044 Jilotepec	9132	294	3.22	684	7.49	1.32
DR073 La Concepción	638	230	36.05	302	47.27	0.31
DR088 Chiconautla	3076	406	13.21	858	27.90	1.11
DR096 Arroyozarco	32 550	568	1.75	704	2.16	0.24
Total	52986	1548		2617		0.7

*Área urbanizada respecto al área agrícola total del 2010.

Fuente: elaboración propia.

Patrones de crecimiento urbano

A pesar de que los distritos están dentro del mismo estado y las condiciones socioeconómicas pudieran ser parecidas, los resultados muestran diferentes patrones de crecimiento urbano dentro de cada distrito, que de acuerdo con nuestro análisis son influenciados por la cercanía a la ciudad de México y al área metropolitana del Valle de México. A continuación, se describen y discuten los patrones de urbanización y pérdida de superficie agrícola encontrados dentro de los DR analizados.

Crecimiento urbano cercano a vialidades

Algunos estudios han encontrado que las vialidades pueden afectar de manera directa o indirecta los patrones y la distribución de uso de suelo (Asadi *et al.*, 2016) y que existe un mayor crecimiento urbano en las zonas con mayor infraestructura vial (Cano Salinas *et al.*, 2017). Un ejemplo de este tipo de crecimiento se puede observar en el DR 096 arroyo Zarco, en parcelas cercanas a una carretera (Figura 3). Heider *et al.* (2018) argumentan que una mayor peri-urbanización cercana a vialidades permite el acceso a ciudades o asentamientos. Por lo que es de esperarse que la construcción de más vías de comunicación como carreteras proporcionen mayor acceso y movilidad a territorios alejados,

lo que podría acelerar el proceso de urbanización iniciando en los territorios continuos a las vialidades, generando mayor acercamiento a servicios y elevando el costo de la tierra.

Además de viviendas cercanas a las vialidades, en este ejemplo de patrón de crecimiento se pueden observar construcción de bodegas, gasolineras y hoteles, como resultado de una mayor afluencia de personas que se trasladan de un lugar a otro. Las imágenes permiten apreciar que una parte de la parcela cambia su uso de suelo a uso urbano y otra parte se mantiene en uso agrícola. Sin embargo, es posible que el crecimiento urbano termine abarcando la totalidad de la parcela y sea difícil controlar la conversión y fragmentación de las tierras cultivadas adyacentes a las vialidades, ya que como lo mencionan algunos autores, las vialidades incentivan el crecimiento urbano y con ello la invasión urbana de tierras agrícolas en los límites exteriores de las zonas metropolitanas y pueblos pequeños (Salem *et al.*, 2020).

Crecimiento urbano por construcción de infraestructura

De acuerdo con Li (2012) el cambio drástico en uso de tierra se da principalmente en aquellas áreas con interacciones urbano-rurales con un rápido crecimiento de la población y alto nivel económico.

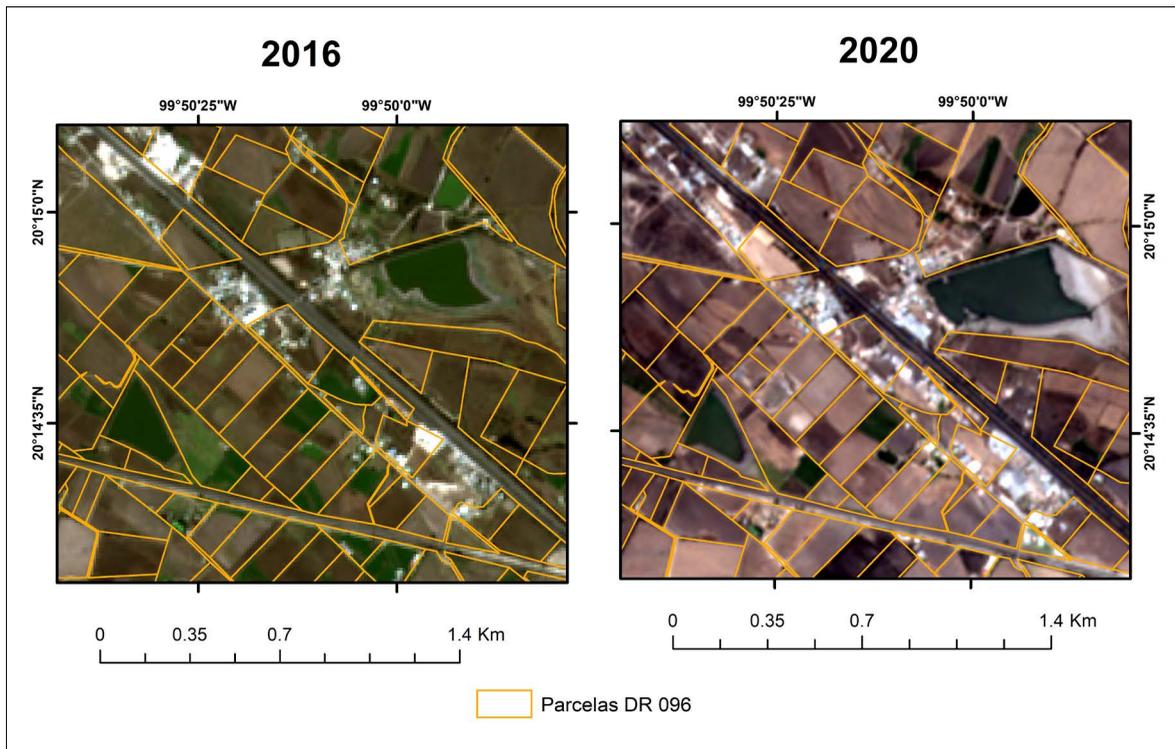


Figura 3. Crecimiento urbano cercano a vialidades, parcelas en el DR 096 Arroyozarco. Fuente: elaboración propia.

Como consecuencia de dicho crecimiento económico y la satisfacción de necesidades de movilidad de la sociedad y de mercancías hay reducción de las tierras agrícolas adyacentes a proyectos de infraestructura (Smidt *et al.*, 2018). En la Figura 4 se muestra un ejemplo de la pérdida de parcelas agrícolas en el DR 088 *Chiconautla* derivado de la construcción del Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles (AIFA). En la Figura se puede observar que el megaproyecto aeroportuario ha adquirido tierras que eran dedicadas a la actividad agrícola, similar a lo ocurrido con el proyecto del Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (NAICM) donde el crecimiento urbano desplazó parcelas ejidales con tierras cultivadas (Romero-Padilla y Hernández-Juárez, 2023). Ya que el proyecto aún no ha finalizado, es posible que aún demande más superficie y que parcelas colindantes al aeropuerto abandonen la actividad agrícola en respuesta a las necesidades de comercialización y servicios de las personas que utilicen o trabajen en el aeropuerto.

Este ejemplo de crecimiento urbano derivado de infraestructura se observa en el municipio de Tecámac, que junto con Cuatitlán Izcalli son los municipios de mayor población, los cuales se encuentran al norte de la ciudad de México y han mantenido un crecimiento poblacional acelerado. A pesar de que son municipios que aún tienen parcelas agrícolas con disponibilidad de riego, la mancha urbana está creciendo y es posible que dichas tierras pierdan la vocación agrícola muy pronto y que, como lo menciona Fazal (2000) los canales y sus afluentes que solían fluir a través de los campos agrícolas sean invadidos y utilizados para la eliminación de basura y desechos.

Crecimiento urbano cercano a zonas metropolitanas

En las zonas metropolitanas de México es inevitable que el crecimiento poblacional continúe y con ello la búsqueda de mayores espacios para viviendas y satisfacción de necesidades de la población,

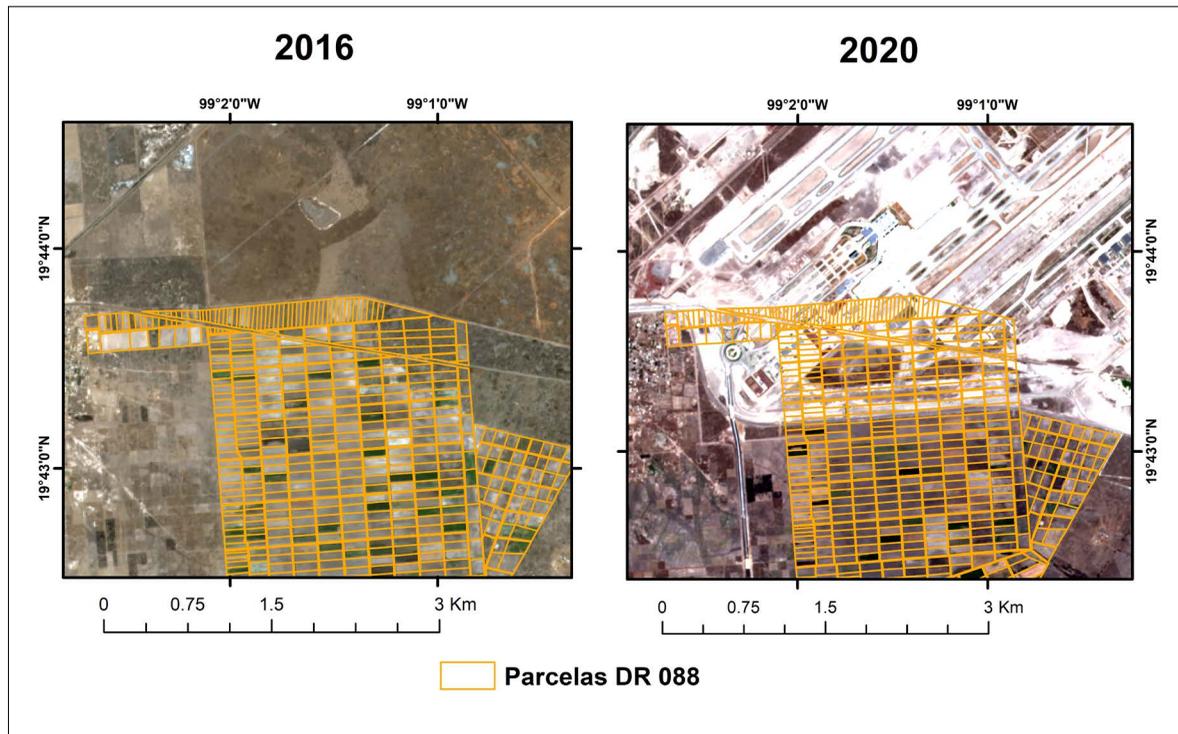


Figura 4. Crecimiento urbano por construcción de infraestructura, parcelas del DR 088 Chiconautla. Fuente: elaboración propia.

principalmente cerca de las ciudades, generando pérdida de tierra agrícola en las periferias de las ciudades. Esta urbanización, como lo indica Rimal *et al.* (2018) es impulsada por la migración interregional y crecimiento demográfico localizado, ya que estas áreas más cercanas o dentro de zonas metropolitanas ofrecen mayores oportunidades de trabajo.

La Figura 5 muestra un ejemplo de crecimiento urbano en el DR 077 ubicado en el municipio Tecámac dentro de la zona metropolitana del Valle de México. Como se señaló en el Cuadro 2 los DR ubicados en esta zona presentaron el mayor porcentaje de urbanización y por consiguiente pérdidas de parcelas agrícolas. Como lo destaca el estudio Pandey y Seto (2015) en el caso de la India, las tierras agrícolas en áreas contiguas a las ciudades grandes son las que presentan mayores pérdidas de tierras agrícolas. Esta urbanización creciente hacia áreas periurbanas hace que el cambio de uso de suelo sea inevitable y que impacte en la producción

de alimentos en áreas periurbanas de los países en desarrollo como México (Ziem Bonye *et al.*, 2021).

Crecimiento disperso

En los DR más alejados de las ciudades se observó un crecimiento urbano más disperso, asociado con el crecimiento de viviendas dentro o cercano a las parcelas (Figura 6). A diferencia de los DR cercanos a las ciudades, este ejemplo de crecimiento urbano ubicado en áreas más rurales se caracteriza por la dispersión espacial más que por la concentración en los principales centros urbanos (Rimal *et al.*, 2018), dicho patrón se asocia con la densidad de la población dentro de los municipios donde se ubican los DR. La Figura 4 muestra un ejemplo de este crecimiento en el DR 44 *Jilotepec*, que junto con el DR 96 Arroyozarco comprenden a los municipios con la menor densidad de población del área de estudio.

A pesar de que es un crecimiento más lento que los mencionados anteriormente, este tipo de

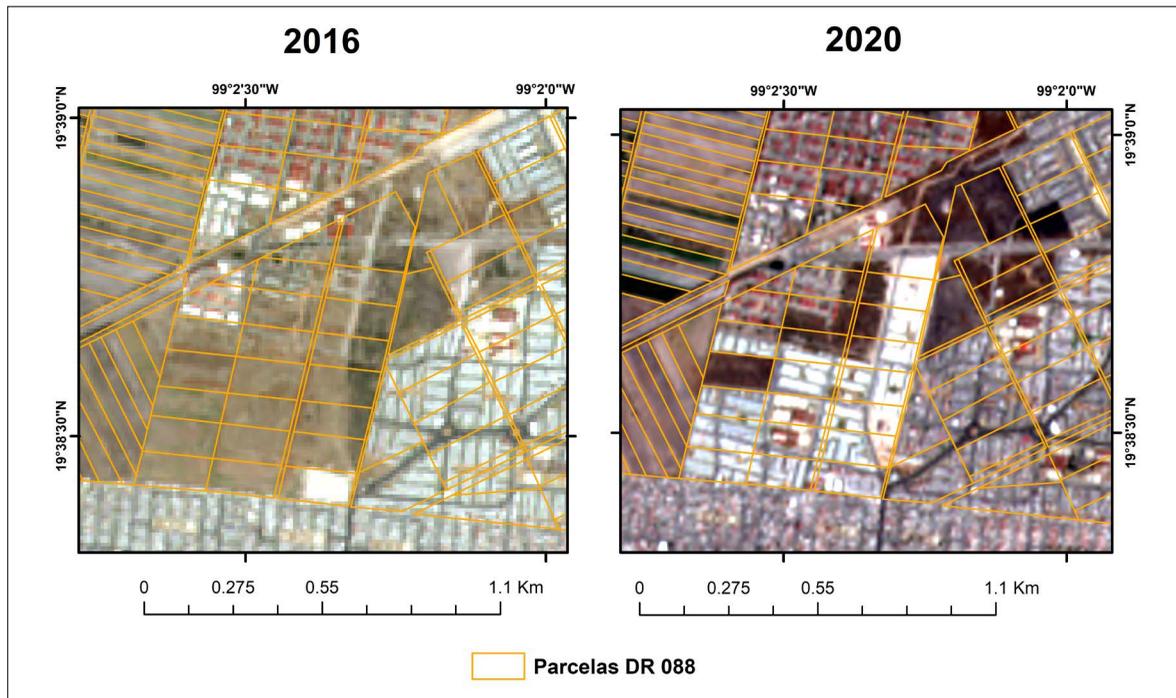


Figura 5. Crecimiento urbano adyacente a zonas metropolitanas ya establecidas, parcelas del DR 073 La Concepción. Fuente: elaboración propia.

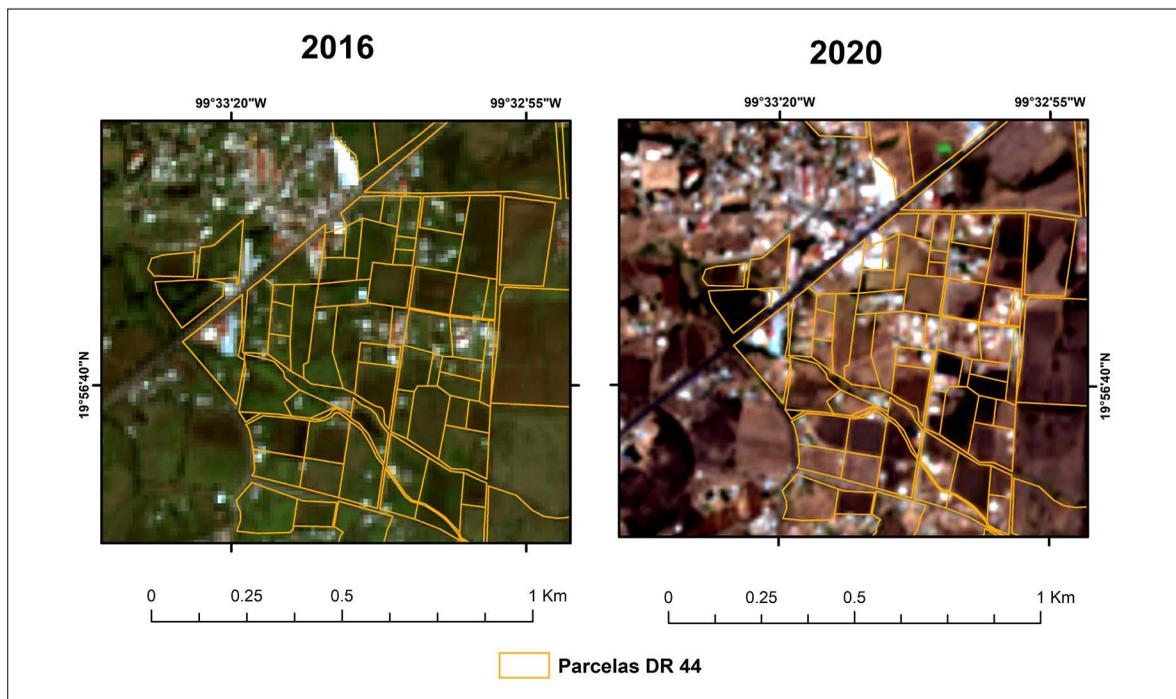


Figura 6. Crecimiento urbano disperso, parcelas del DR 44 Jilotepec. Fuente: elaboración propia.

patrón de crecimiento podría preocupar ya que, como lo expresan Inostroza *et al.* (2013), muestra una tendencia de expansión y mayor consumo de tierra que los años noventa con una menor densidad de habitantes.

En las imágenes, este patrón de crecimiento urbano se puede visualizar como distribución de pequeños bloques dispersos a lo largo de las tierras agrícolas en el área de estudio, que corresponden a casas contiguas dentro de las parcelas. En consecuencia, parcelas adyacentes pueden ser fragmentadas y reducir su tamaño y de acuerdo con Orozco-Hernández *et al.* (2017) la fragmentación de la tierra y diversificación de cultivos hacen vulnerable la producción en sector agrícola del Estado de México. Si bien se podría implementar la agricultura protegida en parcelas más pequeñas para intensificar la producción, su costo es elevado y no todos los productores la podrían adoptar. Además, por ser un crecimiento de viviendas más disperso se dificulta la instalación de servicios básicos como la luz, agua y drenaje

en comparación con un crecimiento más compacto y ordenado.

Crecimiento por desarrollo industrial

El ejemplo de patrón de crecimiento industrial encontrado comprende la aglomeración de empresas concentradas en un área del DR 044 Jilotepec (Figura 7). Si bien la concentración de industrias puede generar fuentes de empleos e ingresos para la población y generar una base sólida para el desarrollo económico (Wu *et al.*, 2022), el crecimiento industrial puede cambiar drásticamente el paisaje de rural a urbano reduciendo considerablemente la superficie agrícola y acelerar la urbanización de parcelas al atraer migración (Díaz Barriga, 1995).

En la Figura 7 se puede apreciar pérdida de parcelas agrícolas por el crecimiento industrial que se desarrolla rápidamente al ser construcciones muy extensas que además de requerir terrenos para instalarse, necesitan recursos y servicios como agua, vialidades, drenaje, entre otros (Azadi *et al.*, 2011). En este ejemplo, el complejo industrial se encuen-

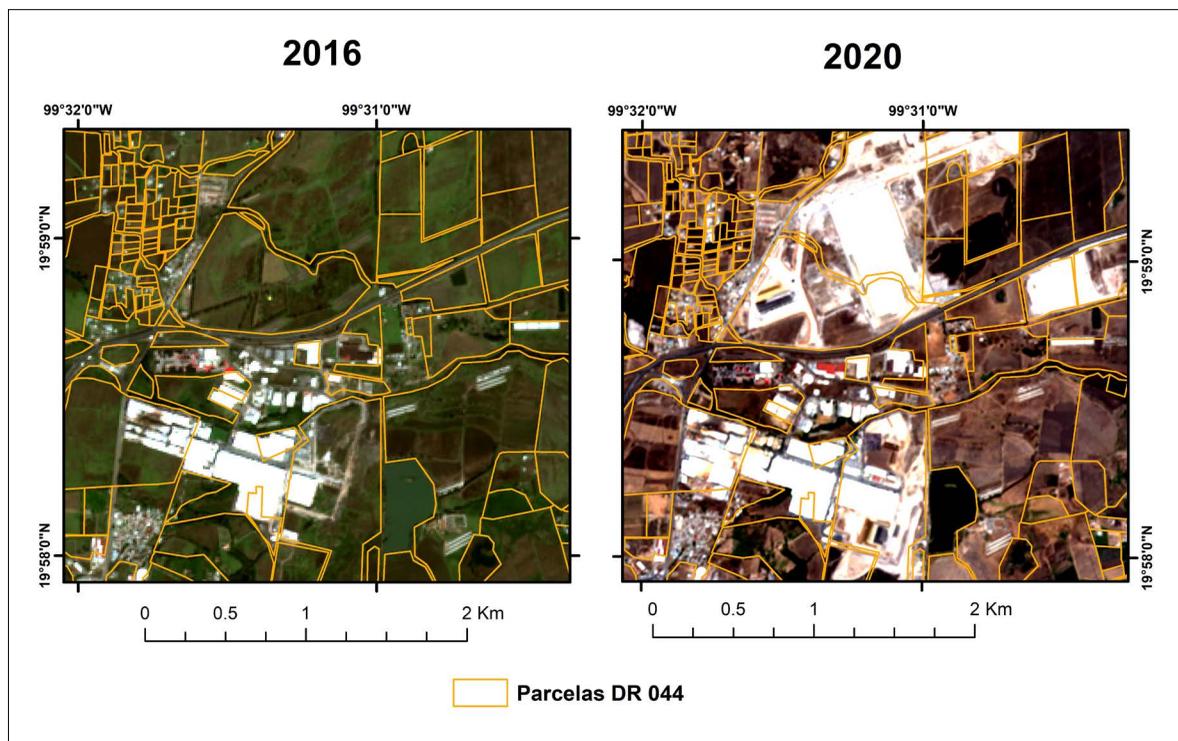


Figura 7. Crecimiento urbano por desarrollo industrial, parcelas del DR 044 Jilotepec. Fuente: elaboración propia.

tra estratégicamente conectado con vialidades que permiten fácil comunicación y transporte entre las bodegas construidas y las principales ciudades de México.

¿Cuáles son los posibles factores que más influyen en el cambio de uso de suelo de agrícola a urbano en los DR, en la percepción de actores locales?

La dinámica y crecimiento poblacional ha generado diferentes formas de urbanización y desarrollo territorial que han tenido efecto en la conformación de la agricultura y las zonas rurales. En este estudio se han mostrado diferentes ejemplos de urbanización de parcelas de los DR del Estado de México identificados en el análisis de imágenes satelitales.

Complementando el análisis espacial, los resultados de las entrevistas semiestructuradas a personal operativo de CONAGUA permitieron identificar los posibles factores que más influyen en el cambio de uso de suelo agrícola a urbano. La Figura 8 muestra los principales elementos destacados por los entrevistados que impulsan o inhiben dicho cambio. Los actores entrevistados coinciden que uno de los principales factores que impulsa la urbanización es la cercanía a las ciudades. Este factor, de alguna manera se ve reafirmado con el análisis de las imágenes en donde se destaca que el principal factor

que impulsa la urbanización de parcelas agrícolas ha sido la cercanía a la ciudad de México. La zona metropolitana del valle de México ha representado y sigue representando un polo de atracción para la población en donde se les presenta mayores oportunidades de trabajo y demandan espacios para viviendas, como consecuencia los terrenos agrícolas aledaños a esta zona presentan el cambio más rápido de uso de suelo agrícola a urbano.

Los entrevistados también coinciden en que un segundo factor que ha impulsado la urbanización de las parcelas en los DR es la construcción de vialidades, relacionado con la disponibilidad de servicios necesarios para el crecimiento y distribución de la población. La construcción de vías de comunicación territorial afecta directa o indirectamente la urbanización de parcelas agrícolas; directamente cuando la vialidad atraviesa la parcela e indirectamente al incentivar la urbanización de las parcelas adyacentes a la vialidad. En este sentido, los proyectos aeroportuarios de Texcoco y Santa Lucía han afectado parcelas de los DR del Estado de México. Es un proceso que aún continúa, ya que el proyecto del aeropuerto Santa Lucía tiene dentro de los planes la construcción de una autopista que afectará directamente parcelas del DR 088.

El crecimiento urbano además de requerir servicios de movilidad también demanda abastecer

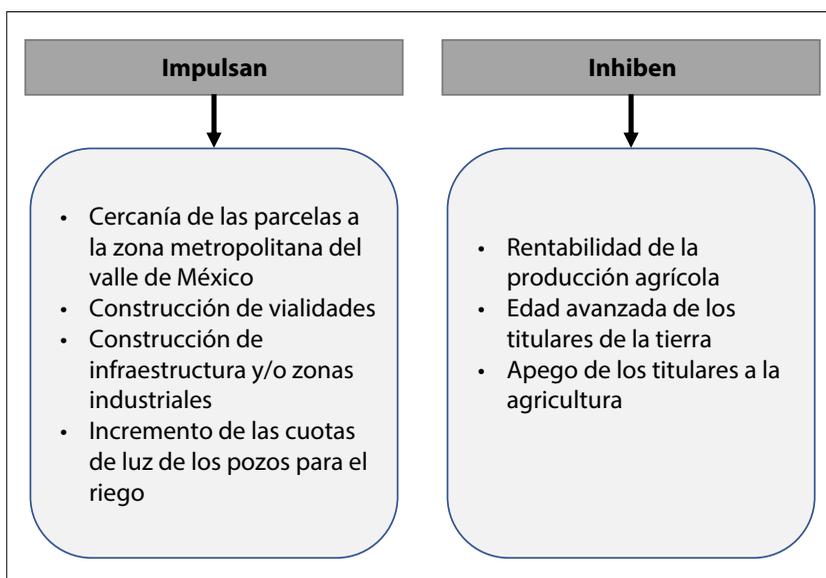


Figura 8. Factores identificados por funcionarios de la CONAGUA, que en su percepción impulsan e inhiben el cambio de uso agrícola a urbano. Fuente: Elaboración propia.

las necesidades de la canasta básica impulsando la construcción de bodegas y fabricas para satisfacer dicha demanda. En este sentido, tanto en las entrevistas a informantes clave y en el recorrido de campo por los DR del Estado de México fue posible constatar la construcción de infraestructura y centros comerciales en parcelas de los DR, que como se mencionó anteriormente han afectado al DR Jilotepec. Estas zonas industriales se encuentran ubicadas estratégicamente con cercanía y acceso a zonas metropolitanas del centro de México para la distribución de los productos coincidiendo con lo argumentado por Aguilar y Ward (2003) quienes afirman que la expansión urbana metropolitana ocurre hacia las afueras ocupando áreas rurales adyacentes y trayendo consigo el desarrollo de centros comerciales y almacenes en áreas más accesibles. Dentro de los comentarios de los entrevistados, un aspecto importante, además del cambio de uso de suelo de las parcelas, es el agua que las naves industriales requerirán, haciendo un uso competitivo del agua entre la producción agrícola e industrial.

Finalmente, el quinto factor percibido por los entrevistados que impulsa el cambio de suelo agrícola a urbano es el incremento en las cuotas de pago de luz para los pozos de agua que aumenta más a medida que se reduce el número de productores que permanecen en la actividad agrícola. Como consecuencia, los productores buscan nuevas fuentes de ingresos y consideran la posibilidad de vender o rentar sus parcelas.

Aún con un panorama poco favorable de la agricultura ante la urbanización, existen factores que pueden incentivar la continuidad de la actividad agrícola. Además de los factores inversos a los ya mencionados, de acuerdo con los informantes clave estos están más relacionados con las características propias de las unidades de producción como el apego de los productores a la agricultura y la rentabilidad económica de esta actividad. Con mayor rentabilidad en la actividad agrícola, los productores dedican más tiempo e inversión a la producción siendo menos probable que busquen ingresos fuera de la agricultura debido a que, el costo de oportunidad de mantenerse en la actividad agrícola es mayor que los posibles ingresos obtenidos en actividades alternativas. Por otro lado,

el apego hacia la agricultura se relaciona con la edad de los titulares de las parcelas, generalmente productores de mayor edad tienen más apego a la tierra y son más temerosos en la búsqueda de nuevas fuentes de empleo por sólo tener experiencia en la agricultura; sin embargo, se presenta como desafío el relevo generacional para dar continuidad a las actividades agrícolas.

¿Qué implicaciones tiene el crecimiento urbano en la configuración en los sectores socioeconómicos y ambientales?

El espacio geográfico que habita la sociedad está en continuos cambios; así, la urbanización y cambio de uso de suelo tienen implicaciones importantes en la reconfiguración del entorno y territorio donde se desenvuelven las sociedades. En el estado de México, particularmente las zonas cercanas a la ciudad de México y zona metropolitana han experimentado una urbanización constante (Romero-Padilla *et al.*, 2023). Este proceso de transformación específicamente en áreas con potencial agrícola tiene consecuencias sociales, económicas y ambientales significativas. Derivado del continuo crecimiento urbano se ha estudiado la sostenibilidad urbana con carácter multidimensional, considerando aspectos ambientales, económicos y sociales (Vázquez Morán *et al.*, 2023); posteriormente se discuten algunas problemáticas derivadas del crecimiento urbano en el área de estudio.

La expansión urbana conlleva graves efectos sobre la sostenibilidad del medio ambiente y puede tener efectos como la degradación de suelo, contaminación de agua y pérdida de biodiversidad (Radwan *et al.*, 2019). Las condiciones meteorológicas son cada vez más extremas, derivado del calentamiento global que se genera en gran medida por el crecimiento poblacional y la demanda creciente de bienes. Lo anterior requiere de más recursos naturales para poder producir y satisfacer las necesidades de la población. Ante este contexto, la agricultura desempeña un rol importante al generar la producción de alimentos y materias primas para atender a las nuevas preferencias de los habitantes; no obstante, la urbanización en parcelas agrícolas puede reducir la producción de alimentos y materias primas.

Si bien es cierto que la agricultura es de las actividades que demandan mayor cantidad de agua, las zonas habitacionales, centros comerciales y zonas industriales requieren agua para su funcionamiento; además propician menor filtración de este recurso al agregar una capa de asfalto o concreto en las construcciones y vialidades que se generan en el crecimiento urbano. Lo anterior conlleva a menor cantidad de agua en los mantos acuíferos que genera nuevos problemas ambientales y sociales al ser el agua un recurso vital. Al respecto, en la construcción del aeropuerto Internacional Felipe Ángeles, DR 088 Chiconautla, Moreno Sánchez y Espejel Mena (2023) mencionan que se espera una pérdida de biodiversidad, así como una posible escasez de agua en la zona cercana, ya que no existen manantiales cercanos ni zonas de recarga de acuífero.

Asimismo, el crecimiento poblacional requiere mayor espacio habitacional, el cual se va reduciendo de zonas agrícolas o forestales, las cuales mantenían vegetación y ecosistemas que permiten la absorción de carbono y mitigan la emisión de gases de efecto invernadero. Con el crecimiento urbano no solo se reduce la superficie con vegetación, sino que además se contribuye con mayor producción de gases de efecto invernadero debido a la construcción y mayor uso de vehículos y transporte, aportando al incremento en la temperatura global.

La problemática económica derivada de la pérdida de suelo agrícola puede conllevar a la reducción en la producción agrícola y afectar la sostenibilidad alimentaria incrementando las importaciones de productos agrícolas. Esto afecta de manera directa los precios y puede en casos extremos causar inflación y desempleo. Además, se pueden perder empleos en las zonas rurales e incentivar la migración hacia las ciudades, lo que afecta la demanda de servicios urbanos y genera presiones en la demanda de empleos y viviendas. Esto trae consigo nuevas problemáticas económicas y sociales en las ciudades, donde es más costoso atender a los migrantes que llegan y proveerles de espacios y mercados laborales.

De la mano con el crecimiento urbano es posible observar una nueva forma de interacción rural-urbano, o nueva ruralidad, donde las ciudades forman vínculos estrechos con las localidades

rurales y que, como lo menciona Galindo Pérez *et al.* (2020) las relaciones no sólo se establecen entre núcleos urbanos, ahora se están creando nuevas relaciones entre la ciudad y el campo y con ello es probable que el cambio de uso de suelo se expanda más hacia las zonas rurales. Un ejemplo de esta nueva relación rural-urbana se pudo observar en el DR 96 Arroyozarco donde el crecimiento se ve más disperso a lo largo del DR por la facilidad de acceso y traslado de estas viviendas a las zonas urbanas.

Los impactos y consecuencias sociales del cambio de uso de agrícola a urbano van desde pérdida de identidad cultural al cambiar el espacio geográfico en que la población rural solía desenvolverse hasta conflictos familiares por la venta de tierras cuyo valor se ha incrementado por la urbanización.

Además, aun cuando se realiza un pago por la tierra a los agricultores, la pérdida de su activo productivo genera pérdidas de ingresos familiares constantes a largo plazo, creando una inestabilidad financiera en las familias rurales.

La problemática del cambio de uso de suelo también se ha visto reflejada en los conflictos que se han presentado a lo largo de varios periodos gubernamentales, ejemplo de ello fue el conflicto social que se dio por la con la propuesta de construcción NAICM donde nació un movimiento social que involucraba a grupos ejidales y que termino en una lucha política. Si bien, en la construcción de aeropuerto Felipe Ángeles en el DR 088 existieron movimientos sociales debido a a la venta de terrenos ejidales, no fueron conflictos sociales mayores como con el NAICM (Moreno-Sánchez *et al.*, 2020).

Las decisiones de ventas de tierras además de conflictos entre comunidades rurales y empresas también generan conflictos entre los mismos agricultores, donde algunos prefieren vender sus tierras y otros quieren conservarlas.

Actores involucrados en el cambio de uso de suelo

El cambio de uso es generado por diferentes actores económicos, políticos y sociales. Los gobiernos tienen un papel importante en la modificación de los planes de uso de suelo cuando autorizan la construcción de proyectos industriales o al otorgar

permisos para construcción de zonas habitacionales en determinados espacios. Dentro de las entrevistas realizadas a los actores clave, la intervención gubernamental local fue un aspecto relevante para la creación de las zonas industriales en el DR 044 Jilotepec; mientras que en el DR 088 Chiconautla los gobiernos nacional y estatal fueron quienes autorizaron el cambio de uso de suelo agrícola con la construcción del Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles.

La autorización de permisos para cambio de uso de suelo requiere la intervención de otros actores, quienes solicitan dichos permisos. Es aquí donde se encuentran las empresas inmobiliarias y sectores industriales que buscan la cercanía a zonas con vías de comunicación asequibles y acceso a servicios públicos. En este sentido, la proximidad del Estado de México a varias zonas metropolitanas y su cercanía con centros de transporte nacional como los aeropuertos internacionales establecidos dentro del estado, lo convierten en una zona atractiva para las inversiones industriales.

A pesar de existir una constante presión para los agricultores en el cambio de uso de suelo y ver al sector agrícola con menores beneficios económicos comparado con otros sectores, han existido manifestaciones en contra del cambio de uso de suelo agrícola a urbano en el Estado de México. No obstante, la falta de incentivos para permanecer en la actividad agrícola y los precios atractivos de venta de las tierras han debilitado la resistencia de las comunidades de mantener sus tierras en la agricultura.

CONCLUSIONES

Los resultados permitieron contabilizar la pérdida de superficie agrícola en cada DR y, como consecuencia de la heterogeneidad espacial encontrar y analizar cinco patrones de crecimiento urbano dentro de la zona de estudio. Dichos patrones encuentran como factores explicativos del crecimiento urbano, la cercanía a la zona metropolitana, las vialidades y zonas industriales, la construcción de infraestructura y el desarrollo industrial, lo que sugiere que en general el crecimiento poblacional y la satisfacción de las necesidades conduce al requeri-

miento de más tierra que se reduce principalmente de la superficie agrícola.

En general, el crecimiento urbano fue más rápido en los DR ubicados dentro de la zona metropolitana del valle de México. En este sentido la cercanía a las ciudades se relaciona con la pérdida de superficie agrícola, así como la construcción de vialidades, industrias e infraestructura mientras que la rentabilidad de la actividad agrícola, la edad avanzada de los productores y el apego a la actividad agrícola inhiben dicha pérdida.

El continuo crecimiento de la población seguirá demandando más espacios para viviendas, por lo que la expansión urbana no se detendrá. Sin embargo, es posible planificar un crecimiento urbano que permita proteger tierras agrícolas fértiles mediante una planificación y/o reglamentación efectiva. Además, es importante incentivar el valor de la agricultura a través de instrumentos de política sectorial que permita que los productores permanezcan en la actividad agrícola, principalmente en aquellas zonas con potencial agrícola como son los DR del Estado de México.

Por otro lado, es importante intensificar e innovar para hacer más eficiente la producción en las zonas agrícolas, maximizando la productividad con mayores rendimientos y sistemas de producción más eficientes con el uso de los recursos disponibles. Del mismo modo incrementar la eficiencia en el uso del suelo urbano con una mejor planeación y estructuración de la conformación de las áreas urbanas lo que además facilitaría el acceso de servicios básicos a la población.

REFERENCIAS

- Aguilár, A. G., y Ward, P. M. (2003). Globalization, regional development, and mega-city expansion in Latin America: Analyzing Mexico City's peri-urban hinterland. *Cities*, 20(1), 3–21. [https://doi.org/10.1016/S0264-2751\(02\)00092-6](https://doi.org/10.1016/S0264-2751(02)00092-6)
- Asadi, A., Barati, A., Kalantari, K. y Odeh, I. (2016). Study of Relationship Between Roads Network Development and Agricultural Land Conversion in Iran NorthWest. *Int. J. Environ. Res.*, 10(1), 51–58.
- Azadi, H., Ho, P. y Hasfiati, L. (2011). Agricultural land conversion drivers: A comparison between less

- developed, developing and developed countries. *Land Degradation and Development*, 22(6), 596–604. <https://doi.org/10.1002/ldr.1037>
- Bhatta, B. (2010). Causes and Consequences of Urban Growth and Sprawl. In *Analysis of Urban Growth and Sprawl from Remote Sensing Data* (pp. 17–36). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-05299-6_2
- Cano Salinas, L., Rodríguez Laguna, R., Valdez Lazalde, J. R., Acevedo Sandoval, O. A., y Beltrán Hernández, R. I. (2017). Detección del crecimiento urbano en el estado de Hidalgo mediante imágenes Landsat. *Investigaciones Geográficas*, (92), 1–10. <https://doi.org/10.14350/ig.52339>
- CONAGUA. (2019). Estadísticas agrícolas de los distritos de riego. Año agrícola 2017–2018. In *Secretaría del medio ambiente y recursos naturales*. <http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/147019/ea2011-2012.pdf>
- CONAGUA. (2022). *Estadísticas del Agua en México 2021*. http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2021.pdf
- Díaz Barriga, M. (1995). The politics of urban expansion in Mexico City: a case study of ejido urbanization in the Ajusco Foothills, 1938–1990. *Urban Anthropology*, 24(3–4), 363–396. <https://www.jstor.org/stable/40553289>
- ESA. European Space Agency. (2022). *Copernicus Open Access Hub*. <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>
- Fazal, S. (2000). Urban expansion and loss of agricultural land - a GIS based study of Saharanpur City, India. *Environment and Urbanization*, 12(2), 133–149. <https://doi.org/10.1177/095624780001200211>
- Galindo Pérez, M. C., Pérez Campuzano, E. y Suárez Lastra, M. (2020). Movilidad intrarregional en la región Centro de México, 2000–2015. *Investigaciones Geográficas*, (102), 0–2. <https://doi.org/10.14350/ig.60093>
- Graizbord, B. y González Granillo, J. L. (2019). Urban Growth and Environmental Concerns: The Venture of the Greater Mexico City Metropolitan Area. *Politics and Policy*, 47(1), 178–206. <https://doi.org/10.1111/polp.12292>
- Heider, K., Lopez, J. M. R. y Scheffran, J. (2018). The potential of volunteered geographic information to investigate peri-urbanization in the conservation zone of Mexico City. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(219), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6597-3>
- Hernández-Sampieri, R. y Mendoza-Torres, C. P. (2014). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill.
- INEGI. (2023). *Resultados oportunos del Estado de México. Censo Agropecuario 2022*.
- Inostroza, L., Baur, R. y Csaplovics, E. (2013). Urban sprawl and fragmentation in Latin America: A dynamic quantification and characterization of spatial patterns. *Journal of Environmental Management*, 115, 87–97. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.11.007>
- Li, Y. (2012). Urban-rural interaction patterns and dynamic land use: Implications for urban-rural integration in China. *Regional Environmental Change*, 12(4), 803–812. <https://doi.org/10.1007/s10113-012-0295-4>
- Moreno-Sánchez, E., Velázquez-Martínez, M. de los Á. y Rivero-Hernández, M. (2020). Lo urbano y el conflicto social por la construcción del aeropuerto en Texcoco, Estado de México. *Boletín Científico Sapiens Research*, 10(2), 68–75. <https://www.srg.com.co/bcsr/index.php/bcsr%0A259,545>
- Moreno Sánchez, E. y Espejel Mena, J. (2023). La administración local y los megaproyectos. La percepción de la construcción del Aeropuerto Internacional Felipe Ángeles en México. *RIDE Revista Iberoamericana para la investigación y el desarrollo educativo*, 14(27). <https://doi.org/10.23913/ride.v14i27.1544>
- Orozco-Hernández, M. E., García-Fajardo, B., Álvarez-Arteaga, G., y Mireles-Lezama, P. (2017). Tendencias del sector agrícola, Estado de México Trends in agricultural sector, State of Mexico. *Quivera*, 19(1), 99–121. <http://www.redalyc.org/pdf/401/40153531006.pdf>
- Pandey, B. y Seto, K. C. (2015). Urbanization and agricultural land loss in India: Comparing satellite estimates with census data. *Journal of Environmental Management*, 148, 53–66. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.05.014>
- Pandey, B., Zhang, Q. y Seto, K. C. (2018). Time series analysis of satellite data to characterize multiple land use transitions: a case study of urban growth and agricultural land loss in India. *Journal of Land Use Science*, 13(3), 221–237. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2018.1533042>
- Pham, V. C., Pham, T. T. H., Tong, T. H. A., Nguyen, T. T. H., y Pham, N. H. (2015). The conversion of agricultural land in the peri-urban areas of Hanoi (Vietnam): patterns in space and time. *Journal of Land Use Science*, 10(2), 224–242. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2014.884643>
- Radwan, T. M., Blackburn, G. A., Whyatt, J. D. y Atkinson, P. M. (2019). Dramatic loss of agricultural land due to urban expansion threatens food security in the Nile Delta, Egypt. *Remote Sensing*, 11(3), 1–20. <https://doi.org/10.3390/rs11030332>
- Rimal, B., Zhang, L., Stork, N., Sloan, S. y Rijal, S. (2018). Urban expansion occurred at the expense of agricultural lands in the Tarai region of Nepal from

- 1989 to 2016. *Sustainability (Switzerland)*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/su10051341>
- Romero-Padilla, A. y Hernández-Juárez, M. (2023). Cambio de uso de suelo por la construcción del NAICM en Texcoco, Estado de México. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 41, 1–15. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1608>
- Romero-Padilla, A., Storie, J., Storie, C. D. y Espinosa Herrera, J. M. (2023). Urbanization in the Mexico City Metropolitan Area 1900–2020: Urban Dynamics and Driving Factors. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 58(4), 189–204. <https://doi.org/10.3138/cart-2023-0008>
- Salem, M., Tsurusaki, N. y Divigalpitiya, P. (2020). Remote sensing-based detection of agricultural land losses around Greater Cairo since the Egyptian revolution of 2011. *Land Use Policy*, 97(August 2019), 104744. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104744>
- Shi, K., Chen, Y., Yu, B., Xu, T., Li, L., Huang, C., Liu, R., Chen, Z. y Wu, J. (2016). Urban expansion and agricultural land loss in China: A multiscale perspective. *Sustainability (Switzerland)*, 8(8), 1–16. <https://doi.org/10.3390/su8080790>
- Shi, L., Taubenböck, H., Zhang, Z., Liu, F. y Wurm, M. (2019). Urbanization in China from the end of 1980s until 2010—spatial dynamics and patterns of growth using EO-data. *International Journal of Digital Earth*, 12(1), 78–94. <https://doi.org/10.1080/17538947.2017.1400599>
- Smidt, S. J., Tayyebi, A., Kendall, A. D., Pijanowski, B. C. y Hyndman, D. W. (2018). Agricultural implications of providing soil-based constraints on urban expansion: Land use forecasts to 2050. *Journal of Environmental Management*, 217, 677–689. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.03.042>
- Spieth, P., Schneckenberg, D. y Ricart, J. E. (2014). Business model innovation – state of the art and future challenges for the field. *R&D Management*, 44(3), 237–247. <https://doi.org/10.1111/radm.12071>
- Vargas, N. y Magaña, V. (2020). Climatic risk in the Mexico city metropolitan area due to urbanization. *Urban Climate*, 33(100644). <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100644>
- Vázquez Morán, I., Adame Martínez, S., Hernández Rejón, E. M. y Calderón Maya, J. R. (2023). Evaluación de la sostenibilidad urbana multidimensional de la Zona Metropolitana Puebla-Tlaxcala, México. *Investigaciones Geográficas*, 112(112). <https://doi.org/10.14350/rig.60785>
- Wu, X., Huang, Y. y Gao, J. (2022). Impact of industrial agglomeration on new-type urbanization: Evidence from Pearl River Delta urban agglomeration of China. *International Review of Economics and Finance*, 77(October 2021), 312–325. <https://doi.org/10.1016/j.iref.2021.10.002>
- Ziem Bonye, S., Yenglier Yiridomoh, G. y Derbile, E. K. (2021). ‘Urban expansion and agricultural land use change in Ghana: Implications for peri-urban farmer household food security in Wa Municipality.’ *International Journal of Urban Sustainable Development*, 13(2), 383–399. <https://doi.org/10.1080/19463138.2021.1915790>