

Cambio de uso de suelo por la construcción del NAICM en Texcoco, Estado de México

Land use change by the NAICM construction in Texcoco, Mexico State

Arely Romero-Padilla¹  y Martín Hernández-Juárez^{1‡} 

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo. 56230 Texcoco, Estado de México, México.

[‡] Autor para correspondencia (mhernand@colpos.mx)

Editor de Sección: Dra. Virginia Mercedes Pesce

RESUMEN

El megaproyecto del nuevo aeropuerto de la Ciudad de México fue anunciado por primera vez en 2001 y cancelado en 2019; sin embargo, tuvo su mayor avance en construcción en el sexenio 2012-2018. Con el anuncio y cancelación existió cambio de uso de suelo y especulación respecto al valor de la tierra. Este estudio evalúa el impacto que la construcción y posterior cancelación del aeropuerto generó en el cambio de uso de suelo en el municipio de Texcoco y municipios aledaños en el Estado de México y la percepción de actores clave sobre los efectos que esto ocasionó. Se procesaron imágenes de alta resolución del satélite Sentinel-2 de la zona colindante a la construcción del aeropuerto para los años 2016 a 2021. Se utilizaron los sistemas de información geográfica para realizar una clasificación supervisada con índices espectrales y generar mapas temáticos de uso de suelo con cuatro clases: suelo desnudo, suelo con vegetación, suelo urbano y cuerpos de agua. Se aplicaron entrevistas a actores clave que permitieron, con un análisis cualitativo, obtener la apreciación de los cambios y afectaciones derivadas del proyecto aeroportuario. Los resultados muestran una tasa de crecimiento mayor de suelo urbano de 2016 a 2017, superficie que se encuentra principalmente cerca de la construcción del aeropuerto y que reemplazó mayormente al suelo desnudo. Este proceso de construcción del aeropuerto provocó disgustos en la población por las afectaciones al ambiente y consecuencias sociales como un crecimiento urbano descontrolado y perturbación por el tránsito de vehículos de carga. Como resultado de la cancelación del aeropuerto queda suelo desnudo por la explotación de minas e inseguridad vehicular ocasionada por las vialidades inconclusas.

Palabras clave: aeropuerto, clasificación supervisada, crecimiento urbano, sensores remotos.



Cita recomendada:

Padilla-Romero, A., & Hernández-Juárez, M. (2023). Cambio de uso de suelo por la construcción del NAICM en Texcoco, Estado de México. *Terra Latinoamericana*, 41, 1-15. e1608. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1608>

Recibido: 10 de junio de 2022.
Aceptado: 28 de julio de 2022.
Artículo. Volumen 41.
Enero de 2023.

SUMMARY

Mexico's New International Airport megaproject was announced for the first time in 2001 and canceled in 2019; however, most of its construction progress took place during 2012-2018. With its announcement and cancellation there was a land use change and speculation regarding the land value. This study evaluates the impact that the airport construction and cancellation had over land use change in the municipality of Texcoco and neighboring municipalities in Mexico State, and the perception of key players concerning its effects. High-resolution images from the Sentinel-2 satellite were processed for the years 2016 to 2021. Geographic information systems were used to carry out a supervised classification with spectral indices and generate thematic maps of land use with four classes: bare soil, vegetated soil, urban land and

water bodies. Interviews were applied to key players for a qualitative analysis of the appreciation of changes and effects derived from the airport project. Results show a higher growth rate of urban land from 2016 to 2017, mainly close to the airport building, replacing mostly bare soil. The airport caused discontent in the population by its environmental effects and social consequences, such as problems due to freight vehicles traffic. As a result of the airport cancellation, there is bare ground caused by mine exploitation and vehicular insecurity due to incomplete roads.

Index words: *airport, supervised classification, urban growth, remote sensing.*

INTRODUCCIÓN

El megaproyecto del nuevo aeropuerto internacional de la Ciudad de México (NAICM) en el desecado lago de Texcoco tuvo sus inicios desde el año 2000 y fue cancelado en el 2019. Sin embargo, tuvo su mayor avance de construcción en el sexenio 2012-2018. La decisión de la sede del aeropuerto estuvo marcada por la hermeticidad del gobierno federal, ya que no se consultó ni informó a las comunidades afectadas sobre las implicaciones que la construcción aeroportuaria tendría (Kuri-Pineda, 2010), salvo en la consulta ciudadana realizada por el presidente López Obrador en 2018 donde se decidió cancelar la obra. El aeropuerto se construiría en la zona oriente del Estado de México, específicamente en los municipios de Texcoco y Atenco, y tendría colindancias con Ecatepec, Chimalhuacán y Nezahualcóyotl. Esta región oriente es la que mayor impacto presenta en la modificación de territorios debido a los efectos sociales, ambientales y económicos que conlleva el vínculo y cercanía con la ciudad de México (Moreno-Sánchez, Velázquez y Rivero, 2020).

El proyecto del aeropuerto intensificó el crecimiento urbano, al existir un aumento en la inversión dentro de la región que, como lo mencionan Galindo, Escalante y Asuad (2004) se tradujo en un mayor crecimiento económico y junto con ello un incremento en el nivel de urbanización.

La noticia de la construcción del proyecto generó especulación respecto a las posibles opciones en el sector económico y con ello efectos en el uso de suelo, no solo del municipio, sino también de regiones y estados vecinos. Cabrera, Corona, y Rios (2020) argumentan que se acarreó miles de toneladas de piedra y tierra como relleno de diversas serranías de la entidad y estados vecinos como Tlaxcala e Hidalgo, lo que incrementó la explotación minera de las zonas montañosas, afectando los ecosistemas prevalecientes y el paisaje natural. Además, existieron problemas sociales debidos a la compra de tierra de ejidatarios para uso industrial o comercial en el aeropuerto. De este modo, para algunos ejidatarios la venta de la tierra fue una opción, mientras que para otros fue una amenaza a su unidad de producción. La perspectiva de afectación para cada productor dependió principalmente de la rentabilidad agrícola, que generalmente es la principal motivación para continuar en la actividad (Romero-Padilla, Santoyo, Marqués, Ayala y Altamirano, 2021).

Al tratarse de un megaproyecto se esperaba que se suscitara cambios significativos y se generaran grandes impactos en diversos aspectos, principalmente los socioeconómicos y ambientales en la región. Así, se documentan varias investigaciones en movimientos y conflictos sociales y políticos (Izarraraz, Guízar y Bordi, 2011; Kuri-Pineda, 2010; Moreno-Sánchez *et al.*, 2020; Moreno-Sánchez, 2014); en aspectos ambientales (Cabrera *et al.*, 2020; Pérez-Orozco, 2019); y de ordenamiento territorial (Moreno-Sánchez, 2018; Vázquez-García, 2020). Sin embargo, no hay estudios que cuantifiquen la tasa de cambio de uso de suelo en el periodo de construcción del aeropuerto; tampoco se han explorado los alcances

que la cancelación del aeropuerto causó a nivel de la percepción y expectativas de la población que vive en la región de influencia.

En este marco, la dinámica de uso de suelo puede apoyar en la gestión y planificación de los procesos urbanos, y como lo manifiestan Ramos-Reyes, Palomeque, Megia y Pascual (2021), puede ayudar a generar propuestas para un desarrollo sostenible en los programas de ordenamiento territorial. La investigación sobre dicha dinámica tiene múltiples enfoques, uno de ellos es el monitoreo del suelo y cambios en cobertura en un tiempo determinado. En este enfoque, la teledetección y el uso de sistemas de información geográfica han demostrado obtener buenos resultados al monitorear patrones y hacer un mapeo con ellos (Li, 2012).

Debido al buen desempeño de la teledetección y sus beneficios en múltiples aplicaciones, la disponibilidad de satélites y sus imágenes de manera gratuita se ha incrementado en años recientes. El uso de estos sensores es muy amplio y la diversidad y utilidad entre ellos es diversa. Para el monitoreo de la cobertura de uso de suelo, investigaciones recientes en todo el mundo destacan que, debido a la alta resolución espacial, los datos del satélite Sentinel-2 pueden lograr una gran precisión en comparación con otras imágenes satelitales de resolución espacial media, como Landsat (Phiri *et al.*, 2020).

Dado el contexto anterior, el objetivo de este estudio es evaluar el impacto que la construcción y posterior cancelación del aeropuerto generó en el cambio de uso de suelo en el municipio de Texcoco y municipios aledaños en el Estado de México. Así como, documentar la percepción social de actores clave en los territorios municipales sobre los efectos socioeconómico, infraestructura, ambiental y organizacional. Todo ello, con la finalidad de generar información científica relevante que permita la toma de decisiones en los municipios afectados de acuerdo con las necesidades que sus territorios enfrentan respecto al cambio de uso de suelo, infraestructura, servicios y producción de alimentos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología incluye dos etapas, la primera consiste en el trabajo y análisis de imágenes satelitales; y la segunda, corresponde a un análisis del discurso de entrevistas realizadas a actores clave identificados en el territorio. La metodología se compone principalmente de 3 fases que se muestran en la Figura 1.

Descripción del Área de Estudio

El área de estudio comprende el territorio donde se establecería el NAICM ubicado en los municipios de Texcoco y Atenco, Estado de México y municipios aledaños (Figura 2). El lugar pertenece a la zona metropolitana del valle de México y se encuentra al este de la Ciudad de México.

Datos y Pre-procesamiento de las Imágenes

Se colectaron imágenes del satélite Sentinel-2, del programa copernicus de la agencia espacial europea (ESA) para los años comprendidos en el período 2016-2021. Para cada año se adquirieron dos imágenes y se realizó un mosaico para cubrir el área de estudio. Las imágenes fueron descargadas de acuerdo con la calidad y disponibilidad del centro de acceso abierto Copernicus de la European Space Agency (ESA, 2021). Todas las imágenes fueron adquiridas entre febrero y abril para reducir interferencias con la nubosidad. Para los años 2016-2018 se obtuvieron imágenes 1C las cuales fueron procesadas con el software Sen2Cor y transformarlas

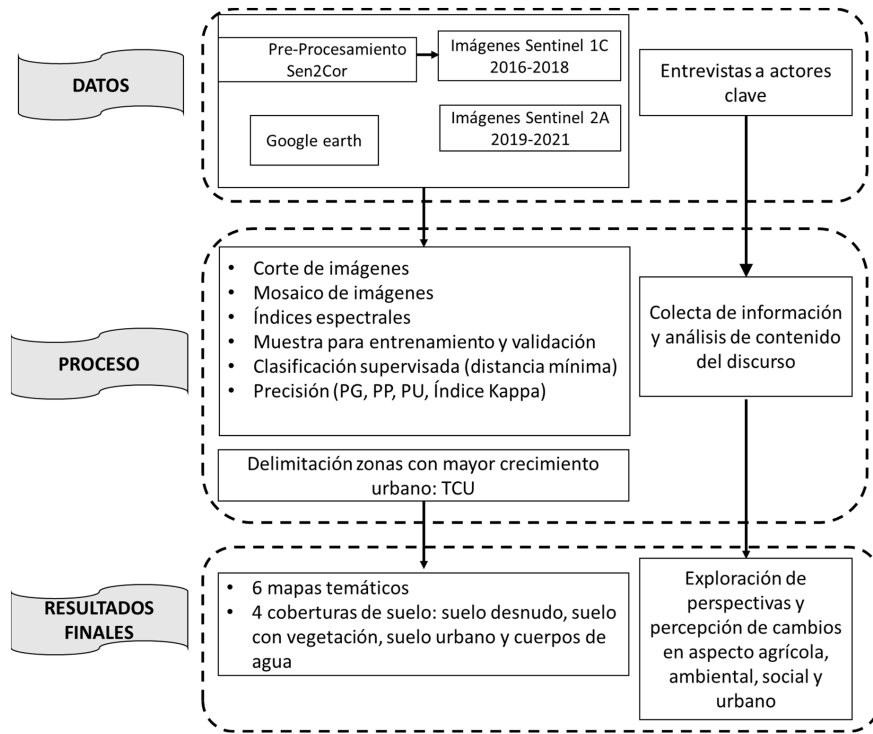


Figura 1. Diagrama de la metodología de la investigación.
Figure 1. Flowchart depicting the research methodology.

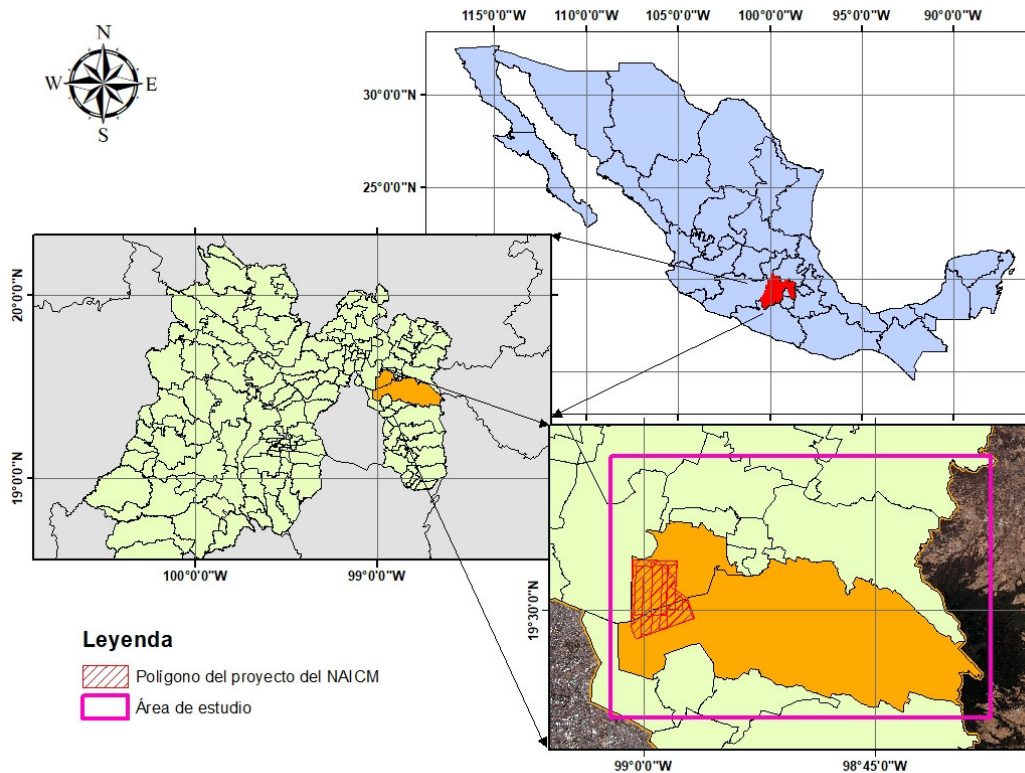


Figura 2. Localización del área de estudio.
Figure 2. Study location.

en imágenes 2A corregidas atmosféricamente. Ambas imágenes se encuentran en el sistema de referencia global WGS84 y la proyección universal transverse mercator (UTM). Las imágenes Sentinel 2A tienen 13 bandas espectrales que van desde las longitudes de onda visibles e infrarrojo cercano (NIR) hasta el infrarrojo de onda corta (SWIR). De las 13 bandas, 4 tienen una resolución espacial de 10 m, 6 de 20 m y 3 de 60 m (Cuadro 1). La investigación utilizó el software de acceso libre Qgis versión 3.16 (QGIS org, 2020) para el procesamiento y clasificación de las imágenes.

Clasificación y Validación

De acuerdo con Rouibah y Belabbas (2020) combinar índices espectrales puede mejorar el mapeo y análisis de clasificación. La clasificación de las imágenes se llevó a cabo con los índices mencionados en el Cuadro 2.

Se consideraron 4 clases de uso de suelo: suelo desnudo (tierra desnuda, rocas, arena); suelo con vegetación (tierras agrícolas, bosques, parques); suelo urbano (áreas de asentamientos humanos, terrenos con construcción industrial, carreteras) y cuerpos de agua (áreas cubiertas por agua, como lagos). Se eligió una muestra aleatoria de 300 puntos, de los cuales 250 se utilizaron para generar polígonos como zonas de entrenamiento y los restantes 50 para la validación. La clasificación supervisada se llevó a cabo mediante el método de distancia mínima. La digitalización de los sitios se realizó mediante la ayuda de imágenes de Google Earth y conocimientos previos de la zona de estudio.

La precisión de la clasificación fue evaluada mediante la precisión global (PG), precisión del productor (PP), precisión del usuario (PU) e índice Kappa. De este modo se cuantifica el error de comisión con PU y el error de omisión con PP.

Tasa de Crecimiento de Superficie de Tierra Urbana

La zona de estudio se dividió en cuadrantes de 25 km². Para cada cuadrante se estimó la tasa de crecimiento de superficie de tierra urbana (TCU) (Shi, Taubenböck, Zhang, Liu y Wurm, 2019):

Cuadro 1. Bandas espectrales del satélite Sentinel-2.
Table 1. Sentinel-2 spectral bands.

Bandas Sentinel-2	Longitud de onda central	Resolución
	µm	m
Band 1 - Aerosol costero	0.443	60
Band 2 - Azul	0.49	10
Band 3 - Verde	0.56	10
Band 4 - Rojo	0.665	10
Band 5 - Borde Rojo1	0.705	20
Band 6 - Borde Rojo 2	0.74	20
Band 7 - Borde Rojo3	0.783	20
Band 8 - Infrarrojo cercano NIR1	0.842	10
Band 8A - Infrarrojo cercano NIR2	0.865	20
Band 9 - Vapor de agua	0.945	60
Band 10 - SWIR - Cirrus	1.375	60
Band 11 - SWIR 1	1.61	20
Band 12 - SWIR 2	2.19	20

Cuadro 2. Índices espectrales utilizados en el estudio sobre Sentinel-2.
Table 2. Spectral indices used in this study on Sentinel-2.

Abreviación del índice	Nombre del índice	Fórmula	Referencia
TC1	Tasseled cap Brillantez	$0.3037[BAzul]+0.2793[BVerde]+0.4743[BRoja]+0.5585[BNIR1]+0.5082[SWIR1]+0.1863[SWIR2]$	
TC2	Tasseled cap Vegetación	$-0.2848[BAzul]-0.2435[BVerde]-0.5436[BRoja]+0.7243[BNIR1]+0.0840[SWIR1]-0.1800[SWIR2]$	(Crist y Cicone, 1984; Index DataBase, 2021)
TC3	Tasseled cap humedad	$0.1509[BAzul]+0.1973[BVerde]+0.3279[BRoja]+0.3406[BNIR1]-0.7112[SWIR1]-0.4572[SWIR2]$	
		$BCI = \frac{\frac{H+L}{2} - V}{\frac{H+L}{2} + V}$	
		Donde:	
BCI	Índice de composición biofísica	$H = \frac{TC1 - TC1min}{TC1max - TC1min}$ $V = \frac{TC2 - TC2min}{TC2max - TC2min} L = \frac{TC3 - TC3min}{TC3max - TC3min}$	(Deng y Wu, 2012)
BSI	Índice de suelo desnudo	$SI = \frac{(SWIR1 + RED) - (NIR + Blue)}{(SWIR1 + RED) + (NIR + Blue)}$	(Chen et al., 2004)
DBSI	Índice de suelo desnudo seco	$DBSI = \frac{SWIR1 - Green}{SWIR1 + Green} \cdot NDVI$	(Rasul et al., 2018)
UI	Índice urbano	$UI = \frac{\rho SWIR2 - \rho NIR}{\rho SWIR2 + \rho NIR}$	(Kawamura, Jayamanna y Tsujiko, 1996)
MNDWI	índice de agua de diferencia normalizada modificado	$MNDWI = \frac{Green - SWIR1}{Green + SWIR1}$	(Xu, 2006)
NDTI	Índice de labranza de diferencia normalizada	$NDTI = \frac{SWIR1 - SWIR2}{SWIR1 + SWIR2}$	(Van Deventer, Ward, Gowda y Lyon, 1997)
NDVI	Índice de vegetación de diferencia normalizada	$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$	(Tucker, 1979)

$$Ar = \frac{A_{t2} - A_{t1}}{A_{t1}} \quad (1)$$

Donde, A_r es la tasa de crecimiento de superficie de tierra urbana en un período de tiempo; A_{t2} y A_{t1} son las áreas de suelo urbano en dos períodos de tiempo, donde $A_{t2} > A_{t1}$.

Asimismo, la tasa de crecimiento de superficie de tierra urbana de calculó anualmente en el periodo analizado.

Entrevistas Semiestructuradas en las Zonas con mayor TCU

Para conocer la perspectiva de los actores sociales en el territorio con respecto a la construcción y cancelación del aeropuerto se utilizó el enfoque cualitativo lo que permitió comprender la perspectiva que los participantes perciben de manera subjetiva de la realidad (Hernández-Sampieri y Mendoza-Torres, 2018). Se utilizó la metodología de estudio de casos para realizar una exploración profunda de fenómenos en un contexto específico, siendo el objetivo la riqueza, profundidad y calidad de la información (Hernández-Sampieri y Mendoza-Torres, 2018; Rashid, Rashid, Warraich, Sabir y Waseem, 2019). Se realizaron entrevistas semiestructuradas a personal clave del área de desarrollo urbano de los municipios con mayor tasa de crecimiento urbano: Texcoco, Atenco, San Vicente Chicoloapan, Chiautla y Tezoyuca. Las entrevistas contenían 2 apartados, en el primero se recabaron datos básicos del entrevistado y en la segunda información referente a la construcción del nuevo aeropuerto de la Ciudad de México. Esta segunda parte comprendió preguntas de percepción de cambios sociales, ambientales, económicos, entre otros; además de los cambios futuros esperados y los posibles conflictos generados. Las entrevistas fueron grabadas y transcritas para posteriormente realizar un análisis de contenido.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La precisión de la clasificación del uso de suelo se verificó de manera visual y con la matriz de confusión. Para la validación visual se utilizaron imágenes de alta resolución de Google Earth. En el Cuadro 3 se muestra los estadísticos de la precisión global (PG), precisión del productor (PP), precisión del usuario (PU) e índice Kappa para la clasificación de los años seleccionados. Para los años 2018, 2019 y 2021 no se generó precisión de usuario y productor en la clase cuerpo de agua, debido a que ningún punto aleatorio se localizó en esta clase.

La precisión global que es la estadística de precisión más simple (Congalton, 1991) se calculó dividiendo el total correcto (la suma de la diagonal principal) por el número total de píxeles de la matriz de error. Este estadístico fue mayor al 0.85 en todos los años. Por otro lado, el índice Kappa supera el 0.75 y los años con mayor precisión fueron 2019 y 2020.

El área de estudio comprendió 1 344 km². Del año 2016 al año 2021 la superficie urbana se incrementó 140 km² (de 11.45% a 21.88%), mientras que el suelo desnudo y la superficie con cobertura vegetal se redujeron 93 km² y 42 km² respectivamente (Cuadro 4). Dicha expansión de la tierra urbana pudo ser impulsada por varios factores, como el crecimiento de la población, despoblación rural, economía,

Cuadro 3. Estadísticas de precisión para los mapas anuales.
Table 3. Accuracy statistics for the annual maps.

	2016		2017		2018		2019		2020		2021	
	PP	PU	PP	PU	PP	PU	PP	PU	PP	PU	PP	PU
Suelo urbano	0.55	1.00	0.91	1.00	0.42	1.00	0.92	1.00	0.83	1.00	1.00	0.92
Suelo desnudo	1.00	0.96	0.83	1.00	1.00	0.82	0.93	1.00	0.97	1.00	0.83	1.00
Cuerpo de agua	1.00	1.00	1.00	1.00	nd	nd	nd	nd	1.00	1.00	nd	nd
Suelo con vegetación	1.00	0.75	1.00	0.60	1.00	0.92	1.00	0.75	1.00	0.73	1.00	0.67
PG	0.90		0.88		0.86		0.94		0.94		0.90	
Kappa	0.84		0.80		0.75		0.89		0.89		0.83	

política, inversión, comercio, topografía, demanda de vivienda y transporte (Shi *et al.*, 2019). En particular, la construcción del NAIM en la zona de estudio, fue uno de los factores de mayor peso en el cambio de uso de suelo (Moreno-Sánchez *et al.*, 2020). La economía, la política y la inversión fueron detonantes con el anuncio del proyecto aeroportuario (Encinas-Rodríguez, 2014), lo que demandó mayor vivienda, transporte y comercio en la zona.

Los mapas temáticos de cobertura de uso de suelo se presentan en la Figura 3. En los mapas se aprecia el crecimiento del área urbana, la cual presentó mayor tasa de crecimiento entre los años 2016-2017 y 2018-2019. Es notorio que el inicio de la construcción del aeropuerto en 2015 suscitó la edificación de numerosas obras, de modo que, el primer periodo de análisis presenta la TCU más alta. Posterior al año 2019 la tasa de crecimiento fue menor, como posible consecuencia de la cancelación del proyecto del NAIM. Lo que coincide con lo señalado por Moreno-Sánchez *et al.*

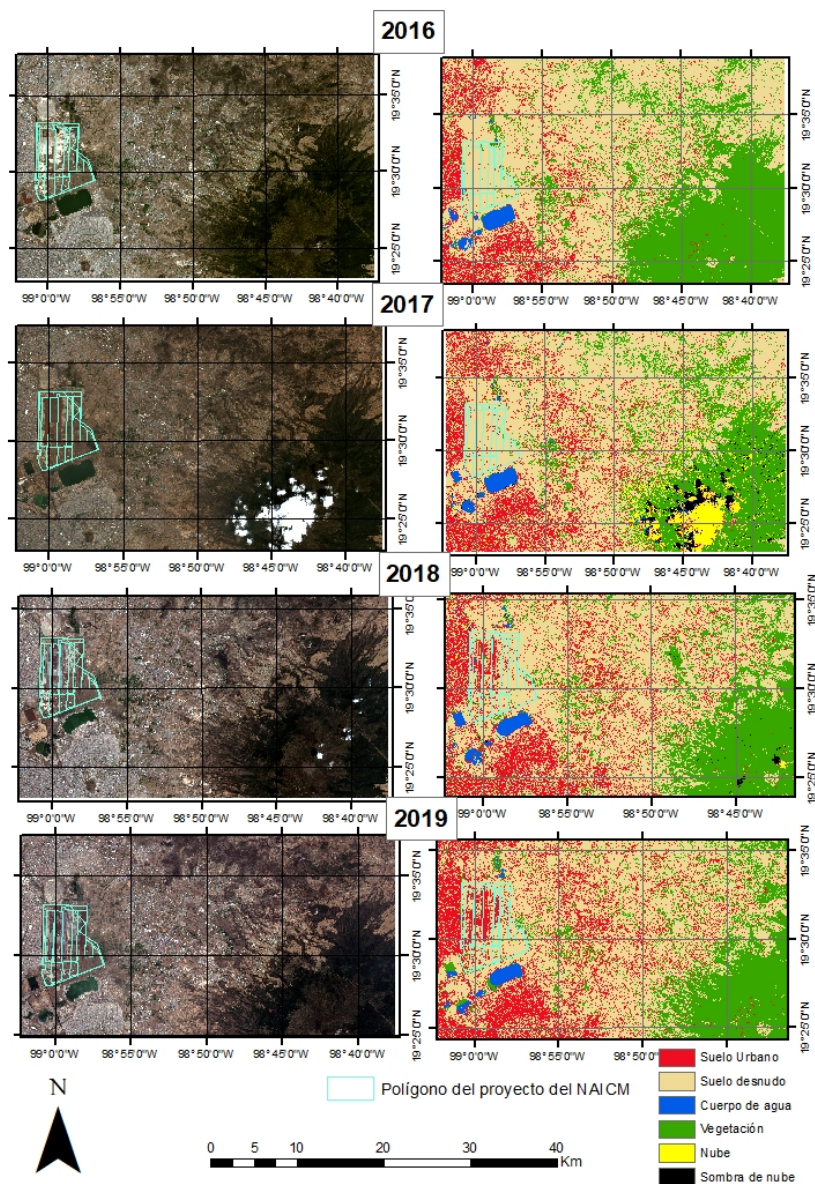


Figura 3. Mapas temáticos de las imágenes clasificadas.
Figure 3. Thematic maps of the classified images.

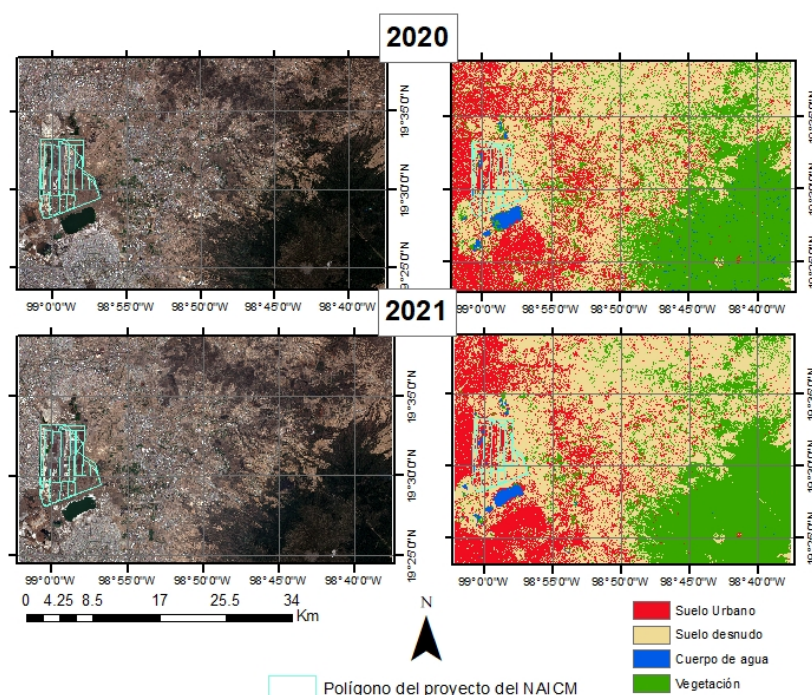


Figura 3 (continuación) Mapas temáticos de las imágenes clasificadas.
Figure 3 (continuation) Thematic maps of the classified images.

(2020) al argumentar que la modificación del territorio de Texcoco se llevó a cabo hasta el mes de noviembre 2018. Sin embargo, el cambio a uso de suelo urbano no ocurre de manera inmediata, y aunque la cancelación del proyecto aeroportuario ocurrió en el segundo semestre del 2018, es posible que construcciones de casas y otras obras iniciadas hayan finalizado posterior a la cancelación; además, la TCU de 2018 fue estimada con la clasificación de la imagen en marzo, por lo que en la estimación de 2019 se contabiliza también parte de la urbanización de 2018, revelando una TCU alta para 2019, en los periodos posteriores la TCU disminuye como respuesta a la anulación del aeropuerto.

En general, se observa crecimiento urbano en la zona de estudio que desplazó suelo desnudo y suelo con vegetación, en su mayoría de zonas ejidales donde aún existían tierras cultivadas. Este fenómeno se presenta de forma acelerada, debido en

Cuadro 4. Superficie de cada clase en el área de estudio.
Table 4. Area of each class in the study area.

Año	Suelo urbano	Suelo desnudo	Cuerpo de agua	Vegetación	TCU
	km ²		----- km ² -----		
2016	153.9	766.1	14.2	409.9	
2017	200.1	747.7	18.8	377.6	0.30
2018	218.2	745.5	12.7	367.8	0.09
2019	263.4	716.0	8.8	356.1	0.20
2020	283.2	627.6	13.9	419.6	0.07
2021	294.2	673.0	9.2	367.9	0.03

gran parte a que no se contempla una planeación urbana en torno a la construcción del aeropuerto ni un desarrollo urbano sostenible, definido por Murayama, Simwanda y Ranagalage (2021) como la forma de prevenir, reducir y mitigar impactos negativos al ambiente y socioeconómicos provocados por la urbanización.

De acuerdo con la tasa de crecimiento de superficie de tierra urbana (Figura 4), las zonas de mayor crecimiento urbano se encuentran cerca de la construcción del aeropuerto y comprenden áreas del municipio de Atenco, Chiautla, Tezoyuca, San Vicente Chicoloapan, Acolman, Tepetlaoxtoc y áreas cercanas al centro de Texcoco. La cercanía al proyecto demandó mayor mano de obra y de recursos para la construcción, lo que generó aglomeraciones en las zonas más aledañas, que como lo describe Li (2012) indujo a cambios de paisajes como asentamientos urbanos y rurales expandidos, y disminución de tierra cultivable.

Con el anuncio de la construcción del aeropuerto internacional se afectaron las dimensiones: urbana, política, ambiental, social, cultural, económica y agrícola (Moreno-Sánchez *et al.*, 2020). En este sentido, la siguiente parte de los resultados muestra los cambios percibidos por informantes clave que se entrevistaron en los aspectos social, urbano, ambiental y agrícola (Figura 5 y 6).

Aspecto Agrícola y Ambiental

El anuncio del proyecto aeroportuario en el sexenio de 2000-2006 provocó incertidumbre en distintos aspectos. La región circundante se vería afectada con el establecimiento de infraestructura y urbanización que indudablemente prescindiría de suelo destinado a otros usos. En este sentido, aquellos suelos agrícolas se vieron amenazados para ser urbanizados, y dependiendo de la rentabilidad de su unidad de producción, los agricultores verían una amenaza o una oportunidad en el alza del valor de la tierra. Así, la venta de tierras se dio especialmente en aquellas unidades que no tenían un alto potencial productivo o eran de temporal, ya que el costo de

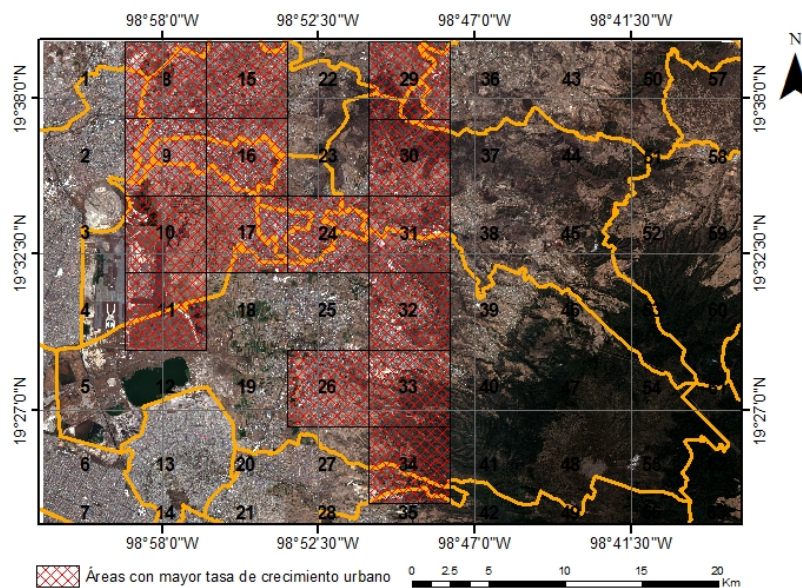


Figura 4. Delimitación de las zonas con mayor crecimiento de superficie de tierra urbana.

Figure 4. Delimitation of areas with the highest growth of urban land.

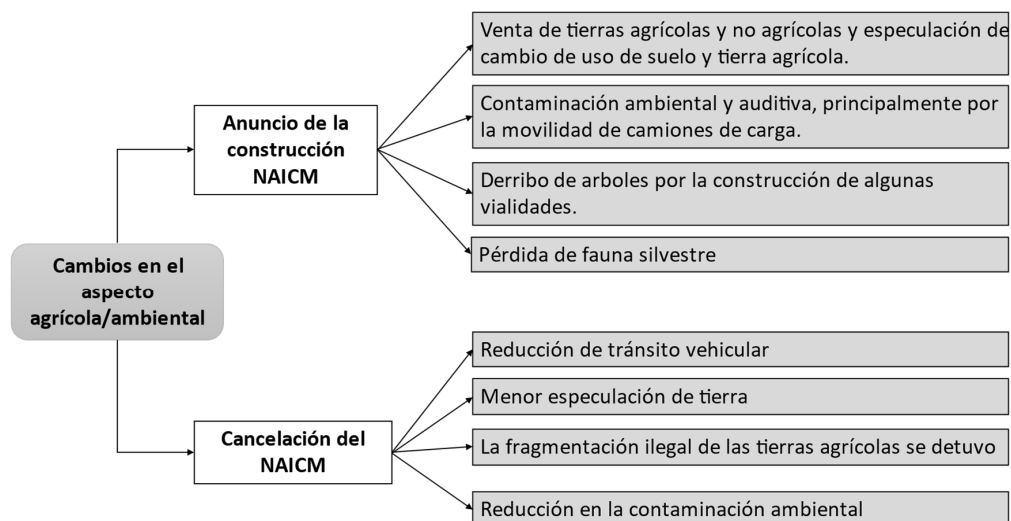


Figura 5. Principales cambios percibidos en los aspectos agrícola y ambiental.
Figure 5. Main perceived changes in agricultural and environmental aspects.

oportunidad del ingreso por la venta para otros usos era mayor respecto al beneficio de continuar produciendo.

Para el proyecto se adquirieron predios por gobierno federal a través de comisión nacional del agua (CONAGUA), principalmente de las comunidades de Tocuila, San Felipe, Santa Cruz de Abajo y la Magdalena Panoaya, estimando más de 400 hectáreas (Moreno-Sánchez, 2018). Aunque el estado no es un actor clave en el proceso de urbanización, de acuerdo con Streule, Karaman, Sawyer y Schmid (2020) se genera un “acuerdo tácito” entre la población y actores estatales poderosos que intervienen en dicho proceso. Los predios adquiridos comprendían predios de ejidos destinados a la producción agrícola, por lo que al inicio del anuncio del aeropuerto existió un movimiento llamado frente de pueblos en defensa de la tierra (FPDT) en el que varios agricultores protestaron por la compra de los terrenos.

La venta de tierras agrícolas se produjo no solo al gobierno federal a través de CONAGUA, sino también a inversionistas que ante la especulación del alza en precio de la tierra compraban predios para construcción o para venderlos posteriormente a un precio mayor. Respecto a la venta a CONAGUA, Vázquez-García (2021) argumenta que la promesa de riego agrícola y recuperación del antiguo lago de Texcoco, fue pieza clave en la negociación de terrenos por parte de los ejidatarios, quienes gastaron el dinero principalmente en viviendas, construcción de locales y compra de vehículos, estimulando la desecación y urbanización de territorios hidro-sociales en municipio de Atenco.

Con la convicción de que el aeropuerto dejaría de construirse, se dejó de especular sobre el valor de la tierra en las zonas cercanas y la fragmentación ilegal de tierras cedió. Sin embargo, de acuerdo con las entrevistas, se reconoce a Texcoco como un lugar agradable para vivir, por lo que aún se contempla un valor alto de la tierra en el municipio.

El tránsito de vehículos de carga en las comunidades generaba no solo contaminación en el aire, sino también auditiva. Moreno-Sánchez (2018) menciona que en la construcción entraban y salían más de 1400 vehículos con impacto ambiental en polución, contaminación de aire, tierra y agua. Por otro lado, la edificación de nuevas vialidades no sólo afectó el suelo donde se construyeron, en algunos casos también provocó deforestación, daño a la vegetación y pérdida de fauna silvestre, lo que se intensificó con la extracción minera.

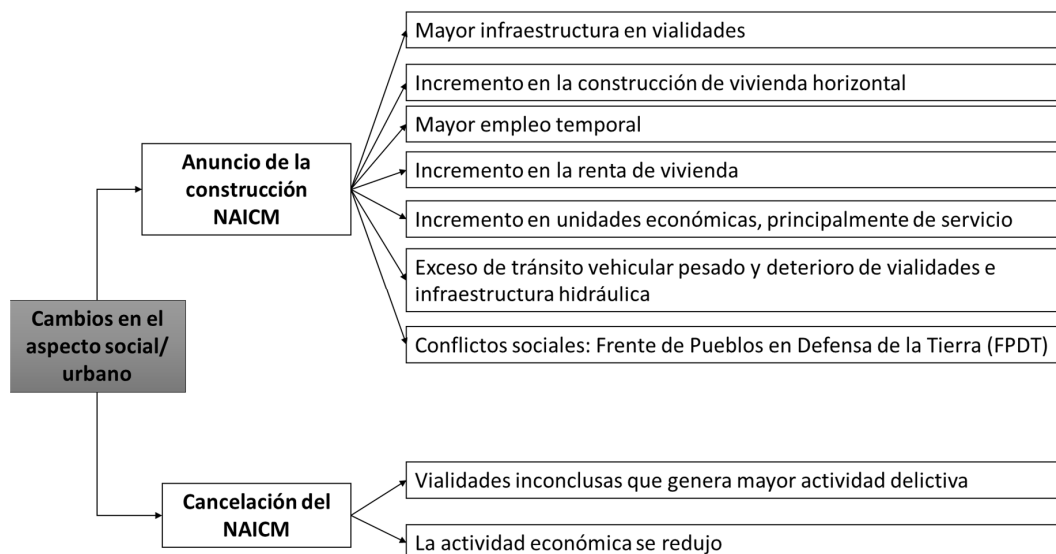


Figura 6. Principales cambios percibidos en los aspectos social y urbano.
Figure 6. Main perceived changes in social and urban aspects.

Se destaca la manifestación de movimientos sociales que demandaban el apoyo para retirar lodos provenientes de la construcción del aeropuerto, lo que coincide con lo mencionado por Cabrera *et al.*(2020) quien argumenta que dentro de los impactos sociales se presentaron movimientos localizados que exigían alto a la destrucción ecológica y a la explotación irracional de ecosistemas.

El anuncio de la cancelación redujo el tránsito vehicular pesado y aunque aún hay vehículos de carga que continúan retirando material del aeropuerto, el número es menor a los que transitaban anteriormente.

Aspecto Social y Urbano

Con el anuncio de la construcción del aeropuerto, el crecimiento urbano fue de los principales efectos en la zona de estudio, generado principalmente por el incremento en la construcción de vivienda e infraestructura vial. Al respecto, Vázquez-García (2021) menciona que la transformación del territorio fue favorecido por el Estado al apoyar la compra de tierras por inversionistas y por otro lado por los ejidatarios quienes destinaron el dinero de las ventas a construcción de vivienda, locales comerciales y vehículos de motor. Dichos los factores socioeconómicos, derivados de las condiciones de la tierra inducidas por el hombre dominan el cambio de uso de la tierra (Li, 2012).

De acuerdo con las entrevistas, las autoridades estatales y federales eran muy herméticas respecto al proyecto aeroportuario al no revelar información sobre el ordenamiento y obras a realizar en el municipio, generando mayor especulación en la población, lo que coincide con Moreno-Sánchez *et al.* (2020) quienes sostienen que no existía evidencia documental de la construcción del aeropuerto en el plan de desarrollo urbano de Texcoco. Además, como lo destaca Espejel-Mena (2019) la discreción, débil posición o traslape de las instituciones municipales y federales han fomentado el cambio de uso de suelo y el mercado inmobiliario.

Por otro lado, la puesta en marcha del proyecto aeroportuario generó empleo temporal y demanda de personal para trabajar dentro de éste, lo que incrementó el comercio de vivienda para las personas que provenían de otros lugares.

Los nuevos habitantes necesitaban cubrir ciertas necesidades por lo que las unidades económicas incrementaron, principalmente aquellas del sector terciario que ofrecían servicios como alimentación y recreación.

Todos los entrevistados coincidieron en que el exceso de tránsito vehicular pesado que transportaba material para la construcción del aeropuerto provocó deterioro acelerado y destrozos en las vialidades e infraestructura hidráulica en toda la región.

Finalmente, con la cancelación del aeropuerto, las principales percepciones en el aspecto social y económico destacan la reducción de la actividad económica debido al decremento en el número de trabajadores en el proyecto aeroportuario. Y una externalidad negativa que dejó la cancelación fueron vialidades inconclusas que permitirían mayor conectividad con el aeropuerto. Algunas de estas vialidades inconclusas y en mal estado se perciben como lugares que generan mayor actividad delictiva, al reducir el flujo vehicular y carecer de alumbrado público en la zona.

CONCLUSIONES

En este estudio, el análisis de imágenes satelitales y los SIG permitieron monitorear y cuantificar el cambio de uso de suelo en la zona donde se construiría el NAICM. Aunque existe un crecimiento “natural” de la población y por tanto del área urbana, se pudo observar que existió un mayor crecimiento urbano impulsado por el anuncio de la construcción del aeropuerto, que favoreció la venta de tierras agrícolas para otros usos.

En efecto, las tierras fueron desplazadas por el crecimiento urbano, lo que afectó la producción agrícola. Es posible que la actividad secundaria y terciaria sigan desplazando a la actividad primaria y que el uso de suelo desnudo y con vegetación continúen siendo desplazados por el suelo urbano, pero a una tasa de crecimiento menor que con la puesta en marcha del aeropuerto.

El NAICM provocó disgustos en la población por las afectaciones al ambiente y los riesgos sociales que ocasionó, destacando principalmente los disturbios ambientales y sociales por el tránsito de vehículos pesados. Como resultado de la cancelación del aeropuerto queda el suelo desnudo por la gran explotación de minas y, en el aspecto de movilidad, la inseguridad vehicular y peatonal ocasionada por las vialidades inconclusas.

La inversión en el proyecto aeroportuario impulsó un crecimiento económico en Texcoco y las zonas aledañas debido a que existió mayor construcción de vivienda e incremento en los servicios; sin embargo, no existió un plan de ordenamiento territorial que impulsara un adecuado crecimiento y desarrollo económico, ya que la población de la región desconocía los cambios que detonarían de la construcción aeroportuaria y, por tanto, existía especulación sobre las posibles vialidades e infraestructura que se derivarían generando un crecimiento urbano desordenado.

El proyecto del aeropuerto trajo consigo cambios inminentes en los aspectos señalados. En efecto, se percibieron ventajas y desventajas con la puesta en marcha y cancelación de la construcción que detonaron cambios en el uso de suelo de la región. Por ello, ante la implementación de un proyecto tan grande es necesario una planeación no sólo de la obra como tal, sino en las regiones que de manera directa o indirecta serán afectadas, para que la población pueda adecuarse a los cambios venideros y no sólo exista especulación que genere un crecimiento urbano inadecuado con pérdidas en suelo agrícola, sino que se fomente un crecimiento económico que unifique todos los sectores.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No existe un comité de ética en la región, sin embargo, siempre se entrevistó bajo el consentimiento y aprobación de los actores clave, haciendo énfasis en el manejo confidencial de la información.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los conjuntos de datos utilizados o analizados durante el estudio actual están disponibles del autor correspondiente a solicitud razonable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FONDOS

La investigación se llevó a cabo mediante un apoyo del Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología, a través del programa "Cátedras COMECYT EDOMÉX".

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización: A.R.P. y M.H.J. Metodología: A.R.P. y M.H.J. Software: A.R.P. Validación: A.R.P. Análisis formal: A.R.P. Investigación: A.R.P. Recursos: A.R.P. y M.H.J. Escritura: preparación del borrador original, A.R.P. Escritura: revisión y edición, A.R.P. y M.H.J. Visualización, A.R.P. y M.H.J. Supervisión, MHJ; administración del proyecto, A.R.P. y M.H.J.; adquisición de fondos, A.R.P. y M.H.J.

AGRADECIMIENTOS

No aplicable.

LITERATURA CITADA

- Cabrera, V. O., Corona, N. L. G., & Rios, S. E. (2020). Turismo, patrimonio cultural, sustentabilidad y el megaproyecto del NAIM, una perspectiva desde el valle de Teotihuacán, México. *Brazilian Journal of Development*, 6(11), 93429-93443. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n11-672>
- Chen, W., Liu, L., Zhang, C., Wang, J., Wang, J., & Pan, Y. (2004). Monitoring the seasonal bare soil areas in Beijing using multi-temporal TM images. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 5(3), 3379-3382. <https://doi.org/10.1109/igarss.2004.1370429>
- Congalton, R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37(1), 35-46. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90048-B](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90048-B)
- Crist, E. P., & Cicone, R. C. (1984). A Physically-Based Transformation of Thematic Mapper Data—The TM Tasseled Cap. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 3, 256-263. <https://doi.org/10.1109/TGRS.1984.350619>
- Deng, C., & Wu, C. (2012). BCI: A biophysical composition index for remote sensing of urban environments. *Remote Sensing of Environment*, 127, 247-259. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.09.009>
- Encinas-Rodríguez, A. (2014). *El Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México. Política, negocios y poder* (2nd ed.). México: Senado de la República.
- ESA (European Space Agency). (2021). *Copernicus Open Access Hub*. Consultado el 15 enero, 2021, desde <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>
- Espejel-Mena, J. (2019). La Zona Metropolitana del valle de México: arreglos formales y fragmentación. *Economía Sociedad y Territorio*, 19(60), 241-271. <https://doi.org/10.22136/est20191335>

- Galindo, L. M., Escalante, R., & Asuad, N. (2004). El proceso de urbanización y el crecimiento económico en México. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 19(2), 289-312.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza-Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Ciudad de México, México: McGraw-Hill. ISBN: 978-1-4562-6096-5
- Index DataBase. (2021). *A database for remote sensing indices*. The IDB-Project. Consultado el 15 enero, 2021, desde https://www.indexdatabase.de/db/is.php?sensor_id=96
- Izarraraz, R. A., Guízar-Vázquez, F., & Vizcarra-Bordi, I. (2011). El traslado fallido del aeropuerto internacional de la Ciudad de México a Texcoco. *Argumentos*, 24(65), 295-319.
- Kawamura, M., Jayamanna, S., & Tsujiko, Y. (1996). Relation between social and environmental conditions in Colombo Sri Lanka and the urban index estimated by satellite remote sensing data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 31, 321-326.
- Kuri-Pineda, E. (2010). El movimiento social de Atenco: Experiencia y construcción de sentido. *Andamios, Revista de Investigación Social*, 7(14), 321-345. <https://doi.org/10.29092/uacm.v7i14.110>
- 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. (2018). El nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México en el exlago de Texcoco, Estado de México: problemática socioterritorial y ambiental. *Revista CS*, 26, 203-235. <https://doi.org/10.18046/recs.i24.2396>
- Moreno-Sánchez, E., Velázquez-Martínez, M. Á., & 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.
- Moreno-Sánchez, E. (2014). Atenco, a diez años del movimiento social por el proyecto del aeropuerto. Análisis sociourbano y político. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 29(3), 541-578. <https://doi.org/10.24201/edu.v29i3.1471>
- Murayama, Y., Simwanda, M., & Ranagalage, M. (2021). Spatiotemporal analysis of urbanization using GIS and remote sensing in developing countries. *Sustainability*, 13(7), 1-5. <https://doi.org/10.3390/su13073681>
- Pérez-Orozco, L. (2019). Estudio jurídico-ambiental sobre la construcción del nuevo aeropuerto internacional de la Ciudad de México. *Actualidad Jurídica Ambiental*, 88, 1-30.
- Phiri, D., Simwanda, M., Salekin, S., Nyirenda, V. R., Murayama, Y., & Ranagalage, M. (2020). Sentinel-2 data for land cover/use mapping: A review. *Remote Sensing*, 12(14), 2291. <https://doi.org/10.3390/rs12142291>
- QGIS org. (2020). *QGIS Desktop User Guide/Manual (QGIS 3.16)*. Hannover, Germany: QGIS Org.
- Ramos-Reyes, R., Palomeque-De la Cruz, M. Á., Megia-Vera, H. J., & Pascual-Landeros, D. (2021). Modelo del cambio de uso de suelo en el sistema lagunar Carmen-Pajonal-Machona, México. *Terra Latinoamericana*, 39, 1-13. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.587>
- Rashid, Y., Rashid, A., Warraich, M. A., Sabir, S. S., & Waseem, A. (2019). Case Study Method: A Step-by-Step Guide for Business Researchers. *International Journal of Qualitative Methods*, 18, 1-13. <https://doi.org/10.1177/1609406919862424>
- Rasul, A., Balzter, H., Ibrahim, G. R. F., Hameed, H. M., Wheeler, J., Adamu, B., ... Najmaddin, P. M. (2018). Applying built-up and bare-soil indices from Landsat 8 to cities in dry climates. *Land*, 7(3). <https://doi.org/10.3390/land7030081>
- Romero-Padilla, A., Santoyo-Cortés, V. H., Marqués-Berber, S. R., Ayala-Garay, A. V., & Altamirano-Cárdenas, J. R. (2021). Farm management succession by heritage: a central Mexico case study. *Agronomía Colombiana*, 39(2), 282-292. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v39n2.94999>
- Rouibah, K., & Belabbas, M. (2020). Applying multi-index approach from sentinel-2 imagery to extract urban areas in dry season (Semi-arid land in north east algeria). *Revista de Teledeteccion*, 56, 89-101. <https://doi.org/10.4995/raet.2020.13787>
- Shi, L., Taubenböck, H., Zhang, Z., Liu, F., & 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>
- Streule, M., Karaman, O., Sawyer, L., & Schmid, C. (2020). Popular Urbanization: Conceptualizing Urbanization Processes Beyond Informality. *International Journal of Urban and Regional Research*, 44(4), 652-672. <https://doi.org/10.1111/1468-2427.12872>
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127-150. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)
- Van Deventer, A. P., Ward, A. D., Gowda, P. H., & Lyon, J. G. (1997). Using thematic mapper data to identify contrasting soil plains and tillage practices. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63(1), 87-93.
- Vázquez-García, V. (2020). Venta de tierras y transformación del waterscape en San Salvador Atenco, Estado de México. *Cuicuilco. Revista de Ciencias Antropológicas*, 27(77), 183-206.
- Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), 3025-3033. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>