



Dinámica espacial de la Zona Metropolitana de la Ciudad de Villahermosa, Tabasco (México).

Un estudio de escenarios futuros y pasados

Simbología

Humedales

Urban Dynamics and
Land Use in Villahermosa,
Tabasco (Mexico):
A Study of Past and Future Scenarios

Dinâmica urbana e uso
do solo em Villahermosa,
Tabasco (México):
um estudo de cenários passados e
futuros

Dynamiques urbaines
et utilisation des sols à
Villahermosa, Tabasco
(Mexique) :
une étude des scénarios passés et futurs

Fuente: Autoría propia

Autores

PUBLICACIÓN ANTICIPADA EN LÍNEA:

El Comité Editorial de la Revista Bitácora Urbano Territorial aprobó este artículo para publicación según los veredictos emitidos por los pares evaluadores.

Se publica anticipadamente en versión PDF de forma provisional con base en la última versión electrónica del artículo. Siéntase libre de descargar, usar, distribuir y citar esta versión preliminar tal y como lo indicamos, pero recuerde que la versión final puede ser diferente.

Paginación por definir

Recibido: 28/04/2025

Aprobado: 04/12/2025

Cómo citar este artículo:

Ruiz-Acosta, S.C., Palomeque-de la Cruz, M.A.,
Galindo-Alcántara, A. y Ramos-Reyes, R. (2025).
Dinámica espacial de la Zona Metropolitana de
la Ciudad de Villahermosa, Tabasco (México).
Un estudio de escenarios futuros y pasados.
Bitácora Urbano Territorial, 36(1): XX-XX.
<https://doi.org/10.15446/bitacora.v36n1.120060>

Adalberto Galindo
Alcántara

Universidad Juárez Autónoma de
Tabasco/División Académica de
Ciencias Biológicas

Adalberto.galindo@ujat.mx
<https://orcid.org/0000-0001-9628-982X>

Silvia del Carmen Ruiz
Acosta

Tecnológico Nacional de México/IT
Zona Olmenca

Silvia.ra@zolmeca.tecnm.mx
<https://orcid.org/0000-0002-3319-0117>

Miguel Ángel Palomeque
de la Cruz

Universidad Juárez Autónoma de
Tabasco/División Académica de
Ciencias Biológicas

migueldacbiol@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-0407-8476>

Rodimiro Ramos Reyes

Universidad Popular de la Chontalpa

rrreyes73@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-3957-8160>

Resumen

Este estudio analiza la dinámica espacio-temporal del cambio de uso del suelo (CUS) en la Zona Metropolitana de Villahermosa, Tabasco (México), espacio socioeconómico y político crucial en la región sureste de México, mediante clasificación multitemporal (2000, 2008, 2017) y modelación prospectiva CA-Markov para 2027 y 2037. Los resultados muestran una intensa transformación territorial dominada por la expansión urbana, que aumentó 10,000 ha entre 2000 y 2017, principalmente a costa de humedales, vegetación arbórea y pastizales. Los humedales exhiben redistribución y pérdidas recurrentes asociadas a presiones urbanas e intervenciones hidrológicas, mientras que la vegetación arbórea presenta una tendencia sostenida de fragmentación. Las proyecciones indican reducciones adicionales de humedales (-1.14 % anual) y vegetación arbórea (-1.27 %), así como un crecimiento urbano del 113 % hacia 2037. Estos patrones confirman un proceso de transformación acelerada que compromete funciones ecológicas críticas y aumenta la vulnerabilidad a inundaciones, comprometiendo la seguridad de la población y subrayando la necesidad de una planificación territorial basada en criterios de sostenibilidad y gestión del riesgo.

Palabras clave: CUS, autómatas celulares, cadenas de Markov, humedales, inundaciones, urbanización

Autores

Adalberto Galindo Alcántara

Autor de correspondencia: Doctor en Ciencias Geográficas. Desde 1988 es profesor-investigador en la División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). En 1999 establece el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica del cual es responsable hasta la fecha. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNII) y líder del Cuerpo Académico de Ordenamiento Ecológico y Análisis Socioambiental, su trabajo se orienta al estudio del territorio y la dinámica socioambiental, el ordenamiento territorial y la gestión del riesgo integrando enfoques interdisciplinarios para el desarrollo sostenible.

Silvia del Carmen Ruiz Acosta

Bióloga de formación, con Doctorado en Ciencias de la Educación. Es Investigadora Nivel II del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores y Profesora Titular del Tecnológico Nacional de México, campus Zona Olmeca. Su trabajo está enfocado en el ordenamiento, uso y manejo sostenible del territorio. Ha participado en la elaboración de planes de ordenamiento territorial, gestión del riesgo, evaluación de áreas naturales protegidas y en programas de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas. Desarrolla investigación y docencia orientadas a fortalecer la gestión socioambiental en la región Sureste de México.

Miguel Ángel Palomeque de la Cruz

Doctor en Ecología y Manejo de Sistemas Tropicales. Adscrito a la División Académica de Ciencias Biológicas de la UJAT, se especializa en ordenamiento ecológico y territorial, cambio de uso del suelo, teledetección y geomática. Ha participado en múltiples estudios sobre pérdida de humedales, urbanización y escenarios futuros de uso del territorio, aportando insumos científicos para políticas de conservación y gestión ambiental. Ha coordinado proyectos sobre modelación espacial, decisiones multicriterio y participación comunitaria. Es miembro del Cuerpo Académico de Ordenamiento Ecológico y del SNII Nivel 1.

Rodimiro Ramos Reyes

Adscrito a la Universidad Popular de la Chontalpa (UPCH) y al Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Unidad Villahermosa. Doctor en Ciencias en Ecología y Manejo de Sistemas Tropicales de la UJAT. Miembro del SNII Nivel II. Sus líneas de investigación son: Sistemas de Información Geográfica, cambio de uso del suelo, vulnerabilidad costera, cambio climático, humedales, inundaciones y análisis de imágenes de satélite.

Abstract

This study analyzes the spatiotemporal dynamics of land use change (LUC) in the Villahermosa Metropolitan Area, Tabasco (Mexico), a crucial socioeconomic and political space in southeastern Mexico, using multitemporal classification (2000, 2008, 2017) and CA-Markov prospective modeling for 2027 and 2037. The results show intense territorial transformation dominated by urban expansion, which increased by 10,000 hectares between 2000 and 2017, primarily at the expense of wetlands, tree cover, and grasslands. Wetlands exhibit redistribution and recurring losses associated with urban pressures and hydrological interventions, while tree cover shows a sustained trend of fragmentation. Projections indicate further reductions in wetlands (-1.14 % annually) and tree vegetation (-1.27 %), as well as urban growth of 113 % by 2037. These patterns confirm an accelerated transformation process that compromises critical ecological functions and increases vulnerability to flooding, jeopardizing the safety of the population and underscoring the need for territorial planning based on sustainability and risk management criteria.

Keywords: LUC, cellular automata, Markov chains, wetlands, floods, urbanization

Résumé

Cette étude analyse la dynamique spatio-temporelle des changements d'occupation des sols dans la zone métropolitaine de Villahermosa, à Tabasco (Mexique), un espace socio-économique et politique crucial du sud-est du Mexique. Elle utilise une classification multitemporelle (2000, 2008, 2017) et une modélisation prospective CA-Markov pour 2027 et 2037. Les résultats révèlent une transformation territoriale intense, dominée par l'expansion urbaine, qui a augmenté de 10 000 hectares entre 2000 et 2017, principalement au détriment des zones humides, du couvert forestier et des prairies. Les zones humides subissent une redistribution et des pertes récurrentes liées aux pressions urbaines et aux interventions hydrologiques, tandis que le couvert forestier présente une fragmentation persistante. Les projections indiquent de nouvelles réductions des zones humides (-1.14 % par an) et de la végétation arborée (-1.27 %), ainsi qu'une croissance urbaine de 113 % d'ici 2037. Ces tendances confirment un processus de transformation accéléré qui compromet des fonctions écologiques essentielles et accroît la vulnérabilité aux inondations, mettant en péril la sécurité de la population et soulignant la nécessité d'une planification territoriale fondée sur des critères de durabilité et de gestion des risques.

Resumo

Este estudo analisa a dinâmica espaço-temporal da mudança no uso da terra (MUT) na Região Metropolitana de Villahermosa, Tabasco (México), um espaço socioeconômico e político crucial no sudeste do México, utilizando classificação multitemporal (2000, 2008, 2017) e modelagem prospectiva CA-Markov para 2027 e 2037. Os resultados mostram uma intensa transformação territorial dominada pela expansão urbana, que aumentou em 10,000 hectares entre 2000 e 2017, principalmente em detrimento de áreas úmidas, cobertura arbórea e pastagens. As áreas úmidas apresentam redistribuição e perdas recorrentes associadas às pressões urbanas e intervenções hidrológicas, enquanto a cobertura arbórea mostra uma tendência sustentada de fragmentação. As projeções indicam novas reduções nas zonas úmidas (-1.14 % ao ano) e na vegetação arbórea (-1.27 %), bem como um crescimento urbano de 113 % até 2037. Esses padrões confirmam um processo de transformação acelerado que compromete funções ecológicas críticas e aumenta a vulnerabilidade a inundações, colocando em risco a segurança da população e ressaltando a necessidade de um planejamento territorial baseado em critérios de sustentabilidade e gestão de riscos.

Palavras-chave: uso do solo, autômatos celulares, cadeias de Markov, pântano, inundações, urbanização



**Dinámica espacial de la Zona
Metropolitana de la Ciudad de
Villahermosa, Tabasco (México).**
Un estudio de escenarios futuros y pasados

Mots-clés : changement d'usage du sol, automates cellulaires, chaînes de Markov, zones humides, inondations, urbanisation

Introducción

La población mundial continúa en expansión. Según proyecciones de las Naciones Unidas, se prevé que este crecimiento persista durante las próximas décadas, pasando de 8,200 millones de habitantes en 2024 a aproximadamente 10,300 millones hacia mediados de la década de 2080 (United Nations Department of Economic and Social Affairs [UN-DESA], 2024). Desde 2007, la población urbana superó a la rural y, para 2025, se estima que alrededor de 3,600 millones de personas en el mundo residan en zonas urbanas, las cuales concentrarán la mayor parte del incremento demográfico global (UN-DESA, 2025), lo que aumentará la demanda de infraestructura, servicios, vivienda y espacios para el desarrollo económico de más de 2 mil millones de habitantes urbanos adicionales.

La pérdida acelerada de coberturas forestales y acuáticas se asocia principalmente al crecimiento urbano insostenible, que transforma los ecosistemas mediante cambios de uso del suelo, disminución de agua subterránea, pérdida de hábitats, reducción de biodiversidad, deforestación y degradación edáfica (Angeoletto et al., 2015). Comprender estas transformaciones requiere analizar la dinámica espacio-temporal del territorio para evaluar sus efectos ambientales y orientar acciones de restauración. En este marco, la modelación del cambio de uso del suelo ha cobrado relevancia por su utilidad para identificar variables de presión y proyectar escenarios futuros (Purvis et al., 2018).

En México, la expansión metropolitana responde a diversos factores macroeconómicos. En la década de 1970, el descubrimiento de yacimientos petroleros impulsó el crecimiento de ciudades del sureste como Villahermosa, Campeche y Coatzacoalcos (Bazant, 2010) esta ha sido posible porque las tierras agrícolas peri-urbanas han dejado de producir y se han vuelto especulativas - y el régimen de tenencia de la tierra ejidal o comunal ha facilitado que este proceso de conversión del suelo rural a urbano se haya dado de manera atomizada e irregular (ilegal. Para 2005, las regiones sur, este y peninsular concentraban 24,700 millones de habitantes, de los cuales el 53.3 % residía en áreas urbanas (Garza, 2010).

En la zona metropolitana de Villahermosa, las actividades agropecuarias, industriales y petroleras han impulsado su consolidación regional. Sin embargo, el crecimiento urbano acelerado y la expansión de infraestructura han promovido la ocupación de zonas ambientalmente frágiles, modificando la fisiografía local y aumentando la vulnerabilidad a inundaciones. La impermeabilización del suelo y la conversión de selvas, humedales y ecosistemas fluviales en tierras de usos agrícolas, ganaderos o urbanos han reducido de forma significativa la cobertura vegetal y los servicios ecosistémicos (Areu-Rangel et al., 2019; Ramos y Palomeque, 2023).

Este proceso también ha generado impactos socioculturales, como la transculturación, el abandono del patrimonio histórico y la pérdida de prácticas tradicionales (Guzman et al., 2018) reforzados por políticas urbanas e inmobiliarias que priorizan la expansión de infraestructura sobre los intereses comunitarios (Kolb et al., 2013). A pesar del valor ecológico de los ecosistemas urbanos, la disponibilidad de información actualizada sobre la cobertura vegetal y los humedales sigue siendo limitada, lo que destaca la necesidad de estudios recientes para apoyar la planificación metropolitana (Mas y Flamenco-Sandoval, 2011).

El objetivo de este estudio fue analizar los patrones de cambio de uso del suelo asociados al crecimiento urbano en la zona metropolitana de Villahermosa, Tabasco, México, mediante modelos espacio-temporales, predicción probabilística y generación de escenarios. Se evaluaron los principales cambios ocurridos en 2000-2008-2017 y se proyectaron escenarios para 2027 y 2037.

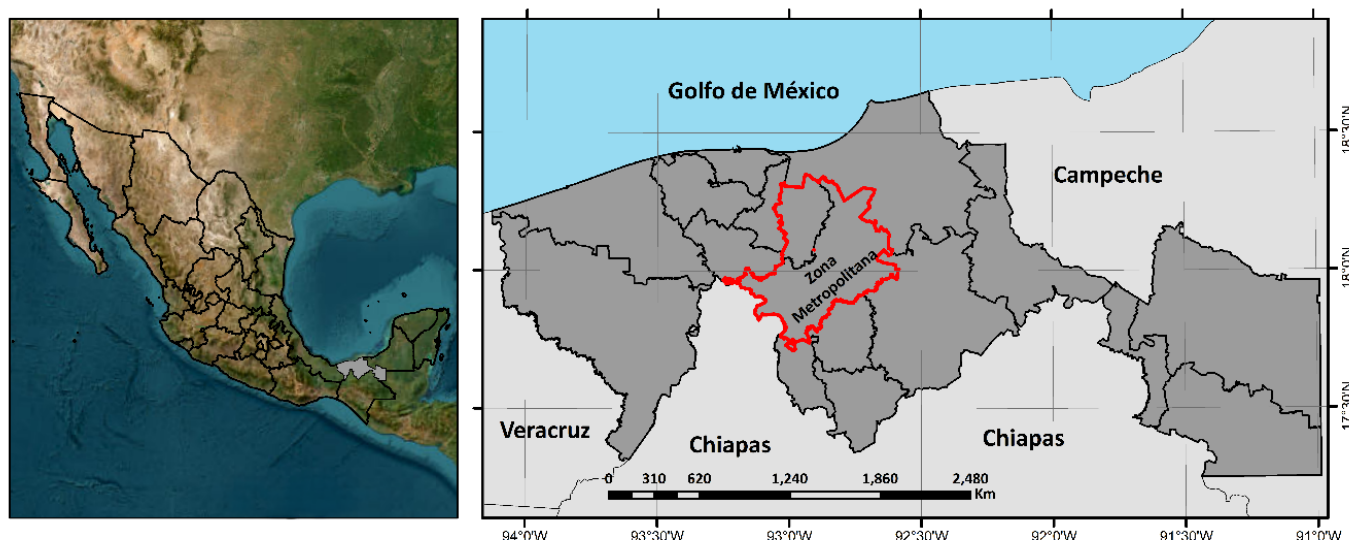


Figura 1. Mapa de localización de la Zona Metropolitana de la Ciudad de Villahermosa

Fuente: Elaboración propia.

El objetivo de este estudio fue analizar los patrones de cambio de uso del suelo asociados al crecimiento urbano en la zona metropolitana de Villahermosa, Tabasco, México, mediante modelos espacio-temporales, predicción probabilística y generación de escenarios. Se evaluaron los principales cambios ocurridos en 2000-2008-2017 y se proyectaron escenarios para 2027 y 2037.

Metodología

Área de Estudio

La zona metropolitana de Villahermosa, integrada por los municipios de Centro y Nacajuca en Tabasco, abarca 2,258.7 km². Limita con Centla, Jalpa de Méndez, Cunduacán, Teapa, Jalapa, Reforma (Chiapas) y Macuspana (ver Figura 1). Es la principal zona político-económica del estado, concentrando 833 mil habitantes, el 34.6 % de la población estatal (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2021).

Preparación de la Base de Datos

Se utilizaron ortofotografías blanco y negro de 2000 y 2008 (Escala 1:10,000) para crear un mosaico fotográfico del área de estudio. Estas fueron foto interpretadas y rodalizadas en pantalla clasificando manualmente las diferentes clases basándose en criterios de forma, textura, tamaño y color, y validada mediante supervisión de campo y fuentes cartográficas utilizadas en el estudio.

El análisis de la cobertura y uso del suelo 2017 se realizó a partir de una imagen Sentinel-2 Nivel 2^a (2017/03/29), obtenida del Copernicus Browser (Copernicus, 2018). La imagen se seleccionó considerando condiciones atmosféricas favorables y baja presencia de nubosidad.

El preprocesamiento se efectuó en QGIS (versión 3.32.3). Inicialmente, las bandas espectrales de 10 y 20 m de resolución fueron re-muestreadas a 10 m mediante interpolación cúbica para asegurar consistencia espacial. Posteriormente, se llevó a cabo un recorte del área de interés a partir del límite vectorial del sitio de estudio.

Se efectuó una verificación y ajuste geométrico adicional utilizando puntos de control terrestre (GCP) y se aplicó un ajuste polinomial de primer orden mediante las herramientas de georreferenciación de QGIS. El error posicional fue evaluado mediante el *Error Cuadrático Medio* (RMSE por sus siglas en inglés), manteniéndose dentro de tolerancias aceptables para análisis a escala regional (RMSE 1 pixel).

La clasificación supervisada se realizó mediante el *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP; Congedo, 2023), utilizando áreas de entrenamiento definidas a partir de puntos GPS, observaciones de campo y análisis visual de composiciones espectrales en color verdadero y falso color. La clasificación se efectuó mediante el algoritmo *Random Forest*, seleccionado por su eficiencia en el manejo de datos multiespectrales y su desempeño robusto en estudios de cambio de uso del suelo.

La validación de los resultados se realizó mediante un conjunto independiente de puntos de verificación levantados con GPS, a partir de los cuales se construyó una matriz de confusión para el cálculo de la precisión global, la precisión por clase y el coeficiente Kappa. Estos indicadores permitieron evaluar de manera objetiva la calidad y confiabilidad del mapa temático obtenido.

En el área de estudio se identificaron seis clases principales de uso del suelo. Los humedales comprenden ecosistemas acuáticos como lagunas, pantanos y márgenes de ríos, dominados por vegetación hidrófila como popales, tulares y carrizales. La vegetación arbórea incluye fragmentos de selva mediana, selva baja de tinto y acahuales. El área urbana abarca las zonas de influencia de Villahermosa, Nacajuca y sus periferias. Los terrenos baldíos son suelos sin uso definido dentro del entorno urbano. La zona industrial corresponde a infraestructura y pozos asociados a actividades petroleras. Por último, el pastizal agrupa tanto los de origen natural como los habilitados para actividad pecuaria.

Análisis del Cambio de Usos del Suelo

El análisis del cambio de uso y cobertura del suelo se realizó mediante una aproximación integrada que combinó técnicas de análisis multitemporal, tasas de cambio y modelación prospectiva, utilizando el módulo *Land Change Modeler* (LCM) del software *TerrSet* (Eastman, 2024).

En una primera etapa, el análisis del cambio de uso del suelo se llevó a cabo en el LCM mediante la comparación por pares de mapas sucesivos (2000–2008 y 2008–2017). Este procedimiento permitió identificar las principales transiciones entre clases, así como cuantificar las ganancias, pérdidas y persistencia de cada categoría, generando matrices de cambio que describen la magnitud y dirección de las transformaciones territoriales observadas (Pineda et al., 2009). Para validar la precisión, se empleó el estadístico Kappa, obteniendo valores promedio de Kappa de 0.92 para el 2000, 0.96 para el 2008 y 0.94 para el 2017, lo que confirma que las proyecciones son confiables.

Posteriormente, se calculó la tasa anual de cambio de uso del suelo para cada clase utilizando la Fórmula (1) propuesta por Palacio-Prieto y colaboradores (2004), la cual expresa la variación relativa de superficie entre dos fechas en función del tiempo transcurrido. Esta tasa permitió estandarizar los cambios observados y comparar la intensidad de los procesos de transformación entre clases y periodos, proporcionando un indicador sintético del ritmo de cambio del paisaje.

Fórmula 1

$$TC = \left(\left[\frac{S_2}{S_1} \right]^{1/n} - 1 \right) * 100$$

donde:

TC = tasa de cambio anual (%), S_1 = área cubierta al inicio del periodo (ha), S_2 = área cubierta al final del periodo (ha), y n = número de años del periodo.

Finalmente, la prospección de escenarios futuros se realizó para los años 2027 y 2037 mediante la integración de cadenas de Markov y autómatas celulares, implementada en el LCM (Eastman, 2024; Palomeque de la Cruz et al., 2017; Reyes et al., 2019). Las cadenas de Markov se utilizaron para estimar las probabilidades de transición entre clases y proyectar los cambios futuros en términos de cantidad (área esperada por clase), a partir de las tendencias históricas observadas (Reyes et al., 2019). Estas proyecciones fueron posteriormente integradas con el enfoque de autómatas celulares, el cual permitió asignar espacialmente los cambios en función de reglas de vecindad y potenciales de transición, generando mapas prospectivos que combinan consistencia temporal y coherencia espacial (Palomeque et al., 2017).

La calibración de los modelos CA–Markov se realizó mediante simulaciones retrospectivas, utilizando periodos históricos conocidos para evaluar la capacidad del modelo en reproducir tanto la magnitud como la localización del cambio observado. El componente Markov fue calibrado a partir de la evaluación de matrices de transición y su anualización, mientras que el componente de autómatas celulares fue ajustado mediante la definición de vecindades, reglas de transición y potenciales espaciales. La consistencia del modelo fue evaluada mediante métricas de similitud espacial y coeficientes Kappa, seleccionándose los parámetros finales con base en la maximización de congruencia entre los mapas simulados y observados.

Este enfoque permitió construir escenarios plausibles de cambio de uso del suelo útiles para el análisis territorial y la planeación a mediano y largo plazo. La validación de la precisión arrojó valores promedio del coeficiente Kappa de 0.94 para el escenario 2027 y 0.95 para el escenario 2037, lo que indica un alto nivel de concordancia y confirma la confiabilidad de las proyecciones generadas.

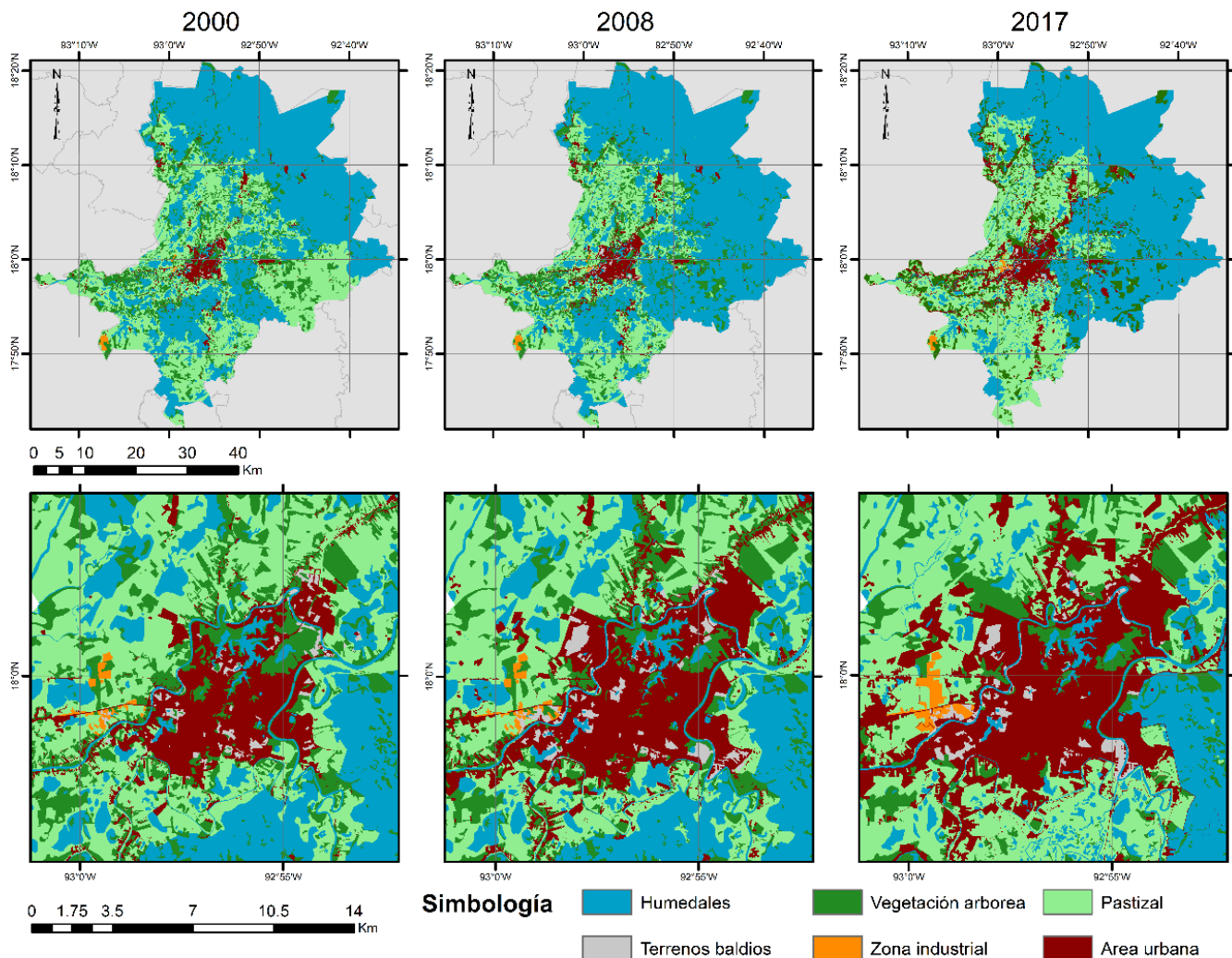


Figura 2. Mapas de usos del suelo de la Zona Metropolitana de la Ciudad de Villahermosa para los periodos 2000, 2008 y 2017

Fuente: Elaboración propia.

Resultados y Discusión

El análisis multitemporal realizado en la zona metropolitana de Villahermosa revela una expansión urbana sobre áreas de alta sensibilidad ecológica que han reducido significativamente coberturas con funciones de regulación hidrológica. De igual manera, revela la persistencia en la dinámica de crecimiento actual sobre la ocupación de zonas con capacidad limitada de drenaje natural.

Dinámica Espacio Temporal de la Zona Metropolitana

La clasificación de los usos del suelo en la Zona Metropolitana de Villahermosa se estructuró en tres grandes grupos: áreas naturales, que comprenden a los humedales

y a la vegetación arbórea; áreas agropecuarias, representadas por los pastizales; y áreas antropizadas, integradas por zonas urbanizadas, zonas industriales y lotes baldíos (ver Figura 2).

Humedales.

El componente más importante por la superficie que ocupa en el área de la Zona Metropolitana son los humedales. Tan solo para el año 2000 se registró una total de 115,000 ha de zonas con presencia de humedales equivalente a aproximadamente el 51.5 % del total del área estudiada (ver Tabla 1).

Estos humedales se pueden clasificar en: a) humedales perennes lóticos caracterizados por presencia de agua y corriente permanente (ríos y arroyos de gran caudal); b) humedales perennes lénticos sin vegetación superficial,

Categoría	2000	2008	2017	Cambio Neto			Tasa de cambioTC		
				00-08	08-17	00-17			
	ha	ha	ha	ha	ha	ha	00-08	08-17	00-17
Humedales	115,019	130,895	115,669	15,876	-15,226	650	1.63	-1.36	0.03
V. Arbórea	32,630	31,007	27,276	-1,623	-3,730	-5,354	-0.64	-1.41	-1.05
Z. Urbana	6,107	9,696	16,207	3,589	6,511	10,100	5.95	5.87	5.91
L. baldíos	346	752	649	406	-103	303	10.19	-1.62	3.77
Z. Industrial	442	450	578	7	129	136	0.20	2.84	1.59
Pastizal	68,860	50,605	63,025	-18,255	12,420	-5,835	-3.78	2.47	-0.52
Total	223,404	223,404	223,404						

Tabla 1. Cambios en el uso del suelo de la Zona Metropolitana de Villahermosa (2000 – 2017)

Fuente: Elaboración propia.

que mantienen agua todo el año, pero con corrientes de baja velocidad y sin vegetación superficial enraizada; c) humedales perennes lénticos de baja profundidad con vegetación superficial enraizada y d) humedales de temporal con vegetación enraizada.

En términos de superficie, los humedales tipo a y b constituyen alrededor del 10 % y el 15 % del total de humedales, mientras que el 90 % restante corresponde a humedales permanentes de baja profundidad con vegetación enraizada dominados por especies como *Typha latifolia* y *Thalia geniculata* y a humedales temporales asociados a pastizales que se anegan estacionalmente durante el periodo de lluvias. La distribución espacial de estos dos últimos tipos es característica, los humedales tipo c se localizan principalmente en la zona norte, dentro del ámbito de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, en tanto que los humedales de temporal predominan en la zona sur, en correspondencia con áreas de uso agropecuario.

Para 2008, la superficie de humedales en la Zona Metropolitana de Villahermosa registró un incremento neto de 15,800 ha, resultado de una ganancia de 17,900 ha y una pérdida de 2,000 ha, alcanzando un total estimado de 130,895 ha y una tasa anual de cambio del 1.63 %. El análisis espacial revela que, para ese año, los humedales se concentraron principalmente en zonas bajas y periurbanas previamente ocupadas por coberturas agropecuarias y pastizales.

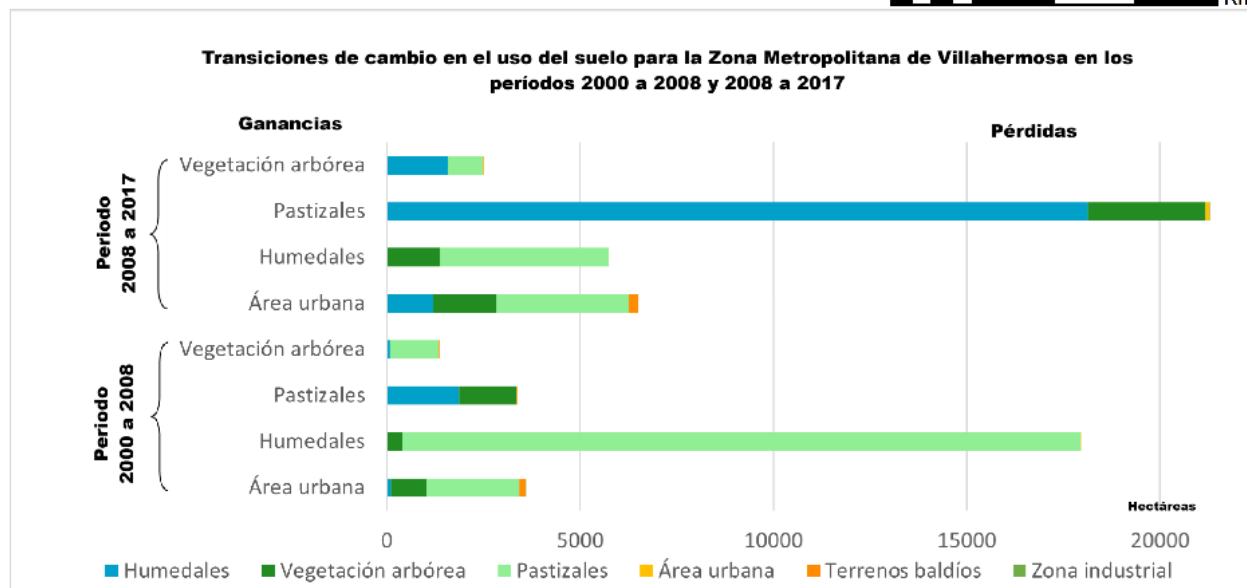
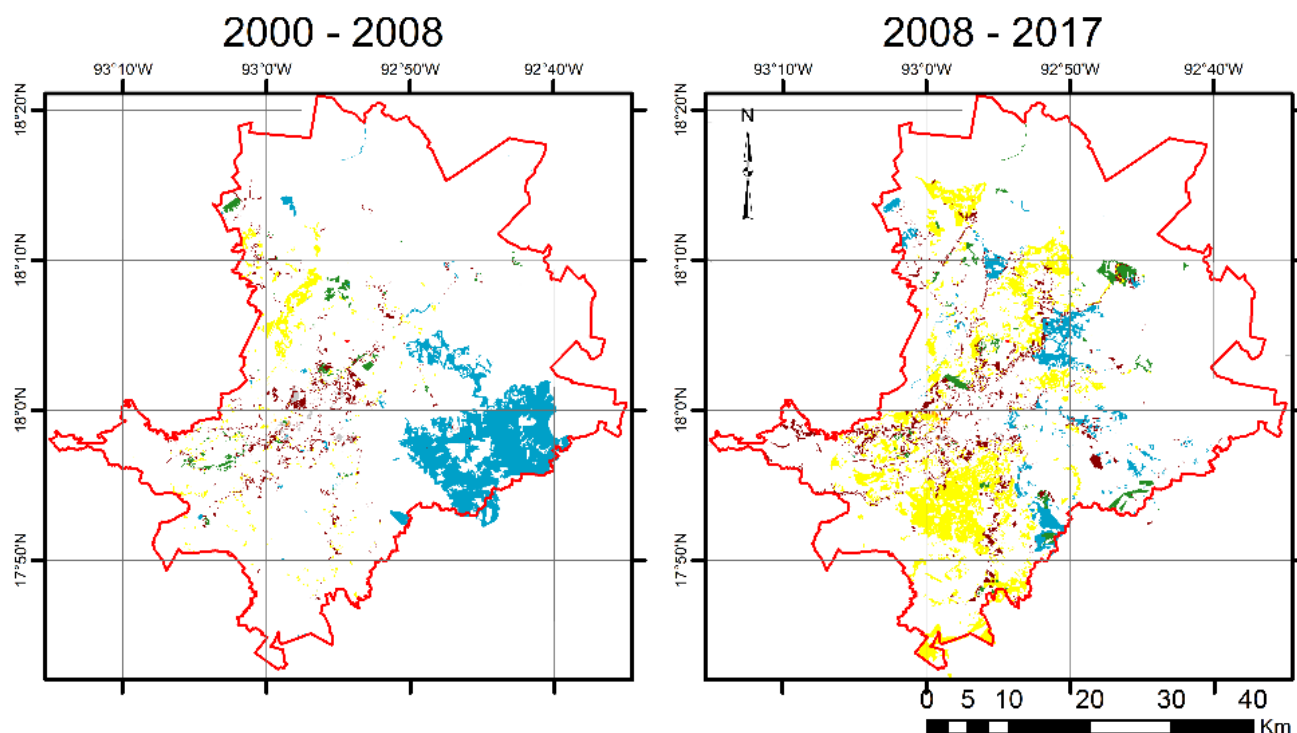
Esta reconfiguración espacial se vincula con las precipitaciones extraordinarias de 2007, cuyo impacto hidrológico generó inundaciones extensas en la zona metropolitana y favoreció la recuperación y expansión temporal de estos ecosistemas (ver Figura 3) (Ramos y Palomeque, 2019). La concentración y configuración espacial de humedales observada en 2008 evidencia la sensibilidad de

estos sistemas a la dinámica hídrica y a eventos climáticos extremos, en concordancia con estudios que documentan su alta vulnerabilidad frente a fluctuaciones hidrológicas e inundaciones en la cuenca baja del sistema fluvial regional (Areu-Rangel et al., 2019; Horton et al., 2021).

Para 2017, el análisis multitemporal indica que la cobertura de humedales en la zona de estudio retornó a aproximadamente 115 ha. Esta superficie refleja un patrón de ganancia de alrededor de 5,700 ha y una pérdida de 20,900 ha respecto al periodo anterior, lo que se traduce en una reducción neta de 15,200 ha y una tasa de cambio anual de -1.36 %. Entre 2000 y 2017, la variación neta muestra un modesto incremento de 650 ha, con una TC general de 0.03 %, la más baja registrada en el área.

Aunque este balance podría interpretarse como un equilibrio entre procesos de ganancia y pérdida, el análisis espacial detallado revela que gran parte de las pérdidas se concentraron en la región sur de la zona metropolitana, donde los humedales fueron sustituidos por pastizales, lo que representa un posible reacomodo espacial de la cobertura de humedales.

El aparente equilibrio en la superficie total de humedales, junto con su redistribución hacia zonas remanentes y la conversión de áreas originales en pastizales, concuerda con las tendencias observadas en Tabasco. Palomeque et al., (2017) la investigación plantea el seguimiento, desde una doble perspectiva, histórica y predictiva, de los cambios en la superficie de los humedales y en la deforestación progresiva entorno a Villahermosa, la urbe más importante de la cuenca del río Grijalva, en el Estado de Tabasco (México señalan que la periurbanización y la expansión urbana han favorecido la pérdida de humedales y otros ecosistemas, incrementando su vulnerabilidad a inundaciones y degradación. Asimismo, Domínguez



Simbología



Humedales



Vegetación arborea



Pastizal



Terrenos baldios



Zona industrial



Area urbana

Figura 3. Mapas de transiciones de cambios en el uso del suelo para la Zona Metropolitana de Villahermosa para los periodos 2000-2008 y 2008 - 2017

Fuente: Elaboración propia.

et al., (2019) registran una disminución de humedales y de funciones ecológicas esenciales en áreas periurbanas cercanas a Villahermosa entre 2000 y 2017, evidenciando el impacto del cambio de uso del suelo.

Estos antecedentes indican que las transformaciones territoriales no sólo disminuyen la extensión de humedales, sino que modifican su distribución y funcionalidad. En este contexto, el “reacomodo” detectado en 2017 sugiere que intervenciones de infraestructura y acciones como las del Plan Hídrico Integral de Tabasco (PHIT), pudieron alterar las condiciones hidrológicas locales, desplazando humedales hacia zonas menos favorables y comprometiéndolo su capacidad de regulación ante eventos extremos.

Vegetación Arbórea.

La vegetación arbórea constituye un componente ecológico esencial por su contribución a la captura de carbono y a la provisión de servicios ambientales, incluidos la regulación climática, el aporte de hábitat para la biodiversidad y la mejora del paisaje urbano y rural (López et al., 2022). En la Zona Metropolitana, este tipo de vegetación ha perdido en gran medida sus asociaciones naturales; salvo por remanentes encontrados como bosques de tinto (*Haematoxylum campechianum*) y vegetación riparia, predomina una mezcla de especies locales y exóticas de uso maderable, frutal y ornamental, entre ellas *Samán pithecellobium*, *Ceiba pentandra*, *Tabebuia rosea*, *Guaiacum officinale*, *Ficus benjamina*, *Mangifera indica* y *Tamarindus indica*.

En el 2000, la vegetación arbórea ocupaba 32,600 ha (14.6 % de la superficie metropolitana) (ver Tabla 1), con una distribución amplia y no sujeta a un patrón espacial definido, salvo por los cordones de vegetación riparia observados a orillas de algunos arroyos. Para 2008, la cobertura disminuyó a 31,000 ha que representaron el 13.8 % del área de estudio, con una tasa de cambio anual de -0.64 %, la más baja para la vegetación arbórea en el periodo analizado. Esta reducción se concentró en zonas periurbanas y en áreas adyacentes a corredores de expansión urbana (ver Figura 2), asociada a la consolidación de nuevas áreas urbanizadas y al avance de pastizales sobre coberturas forestales.

En 2017, la pérdida se intensificó, reduciendo la superficie a 27,200 ha y elevando la tasa de cambio anual a -1.41 %. La magnitud de la pérdida representó una aceleración del proceso de fragmentación y reducción de cobertura arbórea respecto al periodo anterior. En el periodo 2000–2017, la TC promedio fue de -1.05 %, con una pérdida neta de 5,300 ha. La Figura 2 evidencia que la disminución se acentuó en la periferia sur y suroeste de la Zona

Metropolitana, donde la urbanización, la expansión de infraestructura y la conversión a pastizal fueron más dinámicas.

Aunque la cubierta de vegetación arbórea total mostró ligeras oscilaciones, la conversión espacial registrada revela una tendencia sostenida de reducción y fragmentación, desplazando la vegetación arbórea hacia zonas con menor presión urbana. Las mayores pérdidas se concentraron en zonas de transición urbano-rurales, vulnerables a los cambios de uso del suelo. Estos resultados coinciden con estudios que identifican la urbanización y la infraestructura como factores principales de la pérdida de vegetación natural, especialmente en áreas periurbanas (Gómez y Faggi, 2023). Asimismo, la reducción observada entre 2008 y 2017 indica un posible deterioro de funciones ecológicas como la regulación hídrica y el almacenamiento de carbono (Domínguez et al., 2019), particularmente en sitios donde la conversión a pastizal fue más acelerada.

Zonas Agropecuarias (Pastizal).

La actividad agropecuaria en la zona metropolitana incluye sistemas de autoconsumo, principalmente huertos familiares con alta diversidad de especies nativas y exóticas de uso alimentario y medicinal, y unidades de producción comercial dominadas por la ganadería bovina, que emplea pastos introducidos como *Cynodon nlemfuensis*, *Panicum maximum*, *Digitaria decumbens* y especies de *Brachiaria* (*B. decumbens*, *B. humidicola*).

En 2000, los pastizales cubrían 68,800 ha; para 2008 se redujeron a 50,600 ha, lo que implicó una pérdida neta de 18,200 ha y una TC anual de -3.78 %. Este descenso sugiere una conversión significativa del uso del suelo hacia otras categorías, como se observa en la Tabla 1 y la Figura 2. Para 2017, la superficie aumentó a 63 mil ha (28.2 % del área metropolitana), con una ganancia neta de 12,400 ha y una TC anual de 2.47 %. Este repunte indica que parte de las áreas transformadas retornaron a usos agropecuarios. Su distribución espacial, concentrada en zonas periféricas de la mancha urbana, sugiere un desplazamiento de estas actividades hacia áreas menos presionadas por la expansión urbana.

A pesar de la recuperación parcial, el saldo neto para 2000–2017 muestra una pérdida de 5,800 ha (TC de -0.52 %), evidenciando una ligera reducción global del uso de suelo agropecuario. La marcada disminución entre 2000 y 2008 coincide con estudios previos que documentan la conversión de pastizales hacia usos urbanos o no agrícolas en Tabasco (Ramos et al., 2016). Un factor que pudo contribuir al abandono de extensas áreas de pastizal cul-

tivado y su sustitución por pastizales naturales fue la caída del Frigorífico y Empacadora de Tabasco ocurrida en 2014, ya que redujo la rentabilidad de la ganadería (Guzmán, 2014). El incremento posterior parece responder a procesos de reordenamiento territorial, en los que las actividades agropecuarias se desplazan hacia periferias menos demandadas por el crecimiento urbano (Palomeque et al., 2021) Agrícolas y Pecuarias (INIFAP. En conjunto, estos resultados indican que, aunque existe recuperación en el segundo periodo, la actividad agropecuaria continúa perdiendo superficie, lo que podría afectar la capacidad productiva regional, los medios de vida rurales y la estructura del paisaje.

Suelos Antropizados.

Los usos del suelo sin vegetación aparente asociados a actividades económicas o asentamientos humanos se clasificaron como usos antrópicos, integrados por tres categorías: urbano, industrial y lotes baldíos. El uso urbano corresponde a áreas ocupadas por asentamientos humanos; las zonas industriales incluyen bodegas, talleres y complejos fabriles, como el Complejo Petrolero Nuevo Pemex en el suroeste de la ZM; mientras que los lotes baldíos abarcan superficies sin vegetación ni uso definido.

En el 2000, las zonas antropizadas sumaban 6,800 ha (3.1 % de la ZM), de las cuales el 88.5 % correspondía a áreas urbanas (6,100 ha). Para 2008, la superficie urbana aumentó a 9,600 ha (4.3 % de la ZM), reflejando un crecimiento absoluto de 3,500 ha y una TC de 5.95 %, la segunda más alta del estudio. En 2017, la superficie urbana alcanzó 16,200 ha (7.25 %), con un incremento neto de 6,500 ha y una TC de 5.87 %. En conjunto, entre 2000 y 2017, el crecimiento urbano en la ZM sumó 10,100 ha, con una TC promedio de 5.91 %. Las zonas industriales aumentaron de 442 ha en el 2000 a 450 ha en 2008 (TC de 0.2 % anual), y posteriormente a 578 ha en 2017, con una TC de 2.84 %. En total, entre 2000 y 2017, estas áreas crecieron 136 ha, con una TC promedio de 1.59 %.

Principales Transiciones

Entre 2000 y 2017, las coberturas de la Zona Metropolitana de Villahermosa registraron un volumen acumulado de pérdidas y ganancias cercano a 63,000 ha, equivalente a casi el 30 % de su superficie total. Este valor evidencia una dinámica espacial particularmente intensa, dominada por las transiciones entre humedales, pastizales y áreas urbanas (ver Figura 3). Las zonas industriales como las áreas de baldíos presentan pequeñas transiciones que no son representativas en el contexto de la zona metropolitana.

Durante el periodo 2000 al 2008, las áreas en transición sumaron ligeramente más de 26,800 ha. Las transformaciones más relevantes incluyeron la pérdida de más de 21 mil ha de pastizal, que derivaron en el incremento de 2,396 ha de superficie urbana, la conversión de más de 17,500 ha hacia humedales y la transición de alrededor de 1,200 ha de pastizal a vegetación arbórea (ver Tabla 2). En cuanto a los humedales, aproximadamente 1,800 ha fueron transformados, principalmente hacia cobertura de pastizal (ver Tabla 2).

En este mismo periodo, la vegetación arbórea perdió cerca de 3,000 ha, de las cuales el 50 % se transformó en pastizal y 31 % en áreas urbanas cuyas ganancias en el periodo sumaron más de 3,500 ha. Este crecimiento urbano de 58.75 % en ocho años, se sustentó principalmente en la conversión de pastizales y coberturas arbóreas. El resto de las transiciones incluyó cambios de pastizal a lotes baldíos y de humedales a zonas urbanas.

En el periodo 2008 – 2017, la superficie transformada alcanzó 36,000 ha, con transiciones dominadas nuevamente por humedales, pastizales, vegetación arbórea y áreas urbanas. Los humedales perdieron más de 20,000 ha, de las cuales 18,000 se convirtieron en pastizal, 1,500 ha en vegetación arbórea y casi 1,200 ha en superficie urbana. Los pastizales, por su parte, registraron una pérdida de 8,700 ha; cerca del 50 % se transformó en humedales y el 10 % en vegetación arbórea. La vegetación arbórea perdió 6,200 ha, reemplazadas por 3,000 ha de pastizal y 1,300 ha de humedales. Las áreas urbanas crecieron en más de 6,500 ha, principalmente a costa de pastizales (52.3 %), vegetación arbórea (25 %) y humedales (18 %), mientras que otras transiciones incluyeron la conversión de lotes baldíos a áreas urbanas y de pastizales a zonas industriales.

En el balance 2000–2017, los humedales registraron una pérdida acumulada de 23,000 ha, de las cuales 20,000 se convirtieron en pastizal. Por su parte, el pastizal fue la categoría con mayores pérdidas netas (30,000 ha), de ellas 21,800 ha transitó a humedales y 5,800 ha a áreas urbanas (ver Tabla 2). El pastizal presentó una ganancia de 24,500 ha para los 17 años analizados. Tanto los humedales como la vegetación (incluido el pastizal) mantienen una capacidad de resiliencia que les permite recuperarse ante diferentes circunstancias. Sin embargo, el déficit de 5,800 ha que presenta el pastizal corresponden a las zonas transformadas en áreas urbanas, por lo que no se recuperarán en el futuro.

En conjunto, la expansión urbana aumentó en 10,000 ha, sustentada principalmente en la conversión de pastizales (58 %), vegetación arbórea (25.7 %) y humedales (13 %). Este proceso implicó la pérdida de 3,800 ha de vegetación arbórea y humedales, ambos proveedores de

Transición		00-08		08-17		00-17	
De	a	ha	%	ha	%	ha	%
Humedales (Hu)	ZU	112.91	5.5	1,190.52	5.7	1,303.43	5.7
	Pz	1,874.63	90.9	18,133.75	86.5	20,008.38	86.9
	LB	0	0	41.31	0.2	41.31	0.2
	VgA	75.49	3.7	1,579.79	7.5	1,655.28	7.2
	ZI		0	8.98	0	8.98	0
	Total	2,063.03	100	20,954.35	100	23,017.38	100
Pastizales (Pz)	ZU	2,396.57	11.1	3,406.31	38.9	5,802.88	19.1
	Hu	17,532.96	81.1	4,344.54	49.6	21,877.5	72
	LB	419.7	1.9	24.52	0.3	444.22	1.5
	VgA	1,263.41	5.8	909.33	10.4	2,172.74	7.2
	ZI	8.04	0	77.71	0.9	85.75	0.3
	Total	21,620.68	100	8,762.41	100	30,383.09	100
Vegetación Arbórea (VgA)	ZU	917.52	31	1,657	26.6	2,574.52	28
	Hu	406.45	13.7	1,383.35	22.2	1,789.8	19.5
	Pz	1,475.24	49.8	3,047.53	49	4,522.77	49.2
	LB	158.35	5.3	83.41	1.3	241.76	2.6
	ZI	5.91	0.2	52.85	0.8	58.76	0.6
	Total	2,963.47	100	6,224.14	100	9,187.61	100

Tabla 2. Principales transiciones en el uso del suelo para la Zona Metropolitana de Villahermosa en los periodos 2000-2008 y 2008-2017

Nota: ZU, Zona urbana; Hu, Humedales; Pz, Pastizales; LB, Lotes baldíos; ZI, Zonas industriales.

Fuente: Elaboración propia.

servicios ecosistémicos esenciales para el territorio metropolitano que van desde regulación climática y captura de carbono hasta almacenamiento de agua e infiltración, y primordialmente como zonas de amortiguamiento de los pulsos de inundación.

Las series espaciales analizadas evidencian una marcada tendencia de urbanización orientada principalmente hacia la ocupación de humedales y pastizales, datos que coinciden con estudios en los que se afirma que, desde la década de 1970, la mancha urbana se ha dirigido hacia esas zonas, dinámica intensificada durante el auge petrolero de los años ochenta, cuando la conversión del territorio avanzó con escasa planificación (Capdepon-Ballina y Marín-Olán, 2014). La reducción significativa de coberturas con importantes funciones de regulación hidrológica ha incrementado la exposición de la ciudad de Villahermosa a pulsos de inundación, efecto que Perevochtchikova y De La Torre, (2010) afirman que se amplifica bajo las condiciones actuales de variabilidad climática.

A la pérdida de los servicios ecosistémicos que proveen los humedales y vegetación, se suma la creciente ocupación de los humedales para el establecimiento de áreas urbanas, que implica el riesgo de una potencial inundación asociada al fallo o a la superación de la capacidad

de los sistemas de desagüe de la ZM. Riesgo particularmente relevante dado el volumen de agua que llueve en lugares con alta pluviosidad estacional, como el estado de Tabasco (Perevochtchikova y De La Torre, 2010). En este contexto, se estima que, al menos 13 % de la superficie urbana incorporada a la zona metropolitana de la ciudad de Villahermosa entre 2000 y 2017 fue desarrollada sobre zonas con potencial de inundación, lo que subraya la vulnerabilidad derivada del cambio de uso del suelo.

Un hallazgo relevante es el aparente equilibrio en la superficie ocupada por humedales a lo largo del periodo con 23,600 ha ganadas y 23,000 ha perdidas. Este balance se explica, en parte, por las obras del Plan Integral Contra Inundaciones (PICI)(CONAGUA, 2008) y del Plan Hídrico Integral de Tabasco (PHIT), que bajo el enfoque de una visión integral consideró la interrelación de las cuencas del río Grijalva, La Sierra y Usumacinta (CONAGUA, 2012). Las obras implementadas orientadas a mitigar el riesgo de inundación de la ciudad de Villahermosa y otras poblaciones modificaron la dinámica hidrológica regional. En este sentido destacan el control de escurrimientos del río Carrizal mediante la compuerta El Macayo y el desvío de excedentes del río de La Sierra a través de los humedales del sector oriente de la ZM (Ochoa, 2013). Estas intervenciones alteraron el flujo natural de los escurri-

Categoría	Periodos			Cambio Neto			Tasa de cambio		
	2017	2027	2037	17-27	27-37	17-37	17-27	27-37	17-37
	ha	ha	ha	ha	ha	ha	%	%	%
Humedales	115,645	102,296	92,024	-13,349	-10,272	-23,621	-1.22	-1.05	-1.14
V. Arbórea	27,285	24,075	21,112	-3,210	-2,975	-6,185	-1.24	-1.30	-1.27
Z. Urbana	15,711	25,206	32,911	7,468	7,755	15,222	4.84	2.70	3.77
L. Baldíos	532	339	188	-193	-151	-344	-4.41	-5.73	-5.07
Z. Industrial	584	598	623	-14	-13	-27	0.24	0.41	0.32
Pastizal	63,647	70,890	76,546	9,298	5,656	14,954	1.08	0.77	0.93
Total	223,404	223,404	223,404						

Tabla 3. Proyecciones de cambio en el uso del suelo para la Zona Metropolitana de Villahermosa para el periodo 2017-2027 y 2027-2037

Fuente: Elaboración propia.

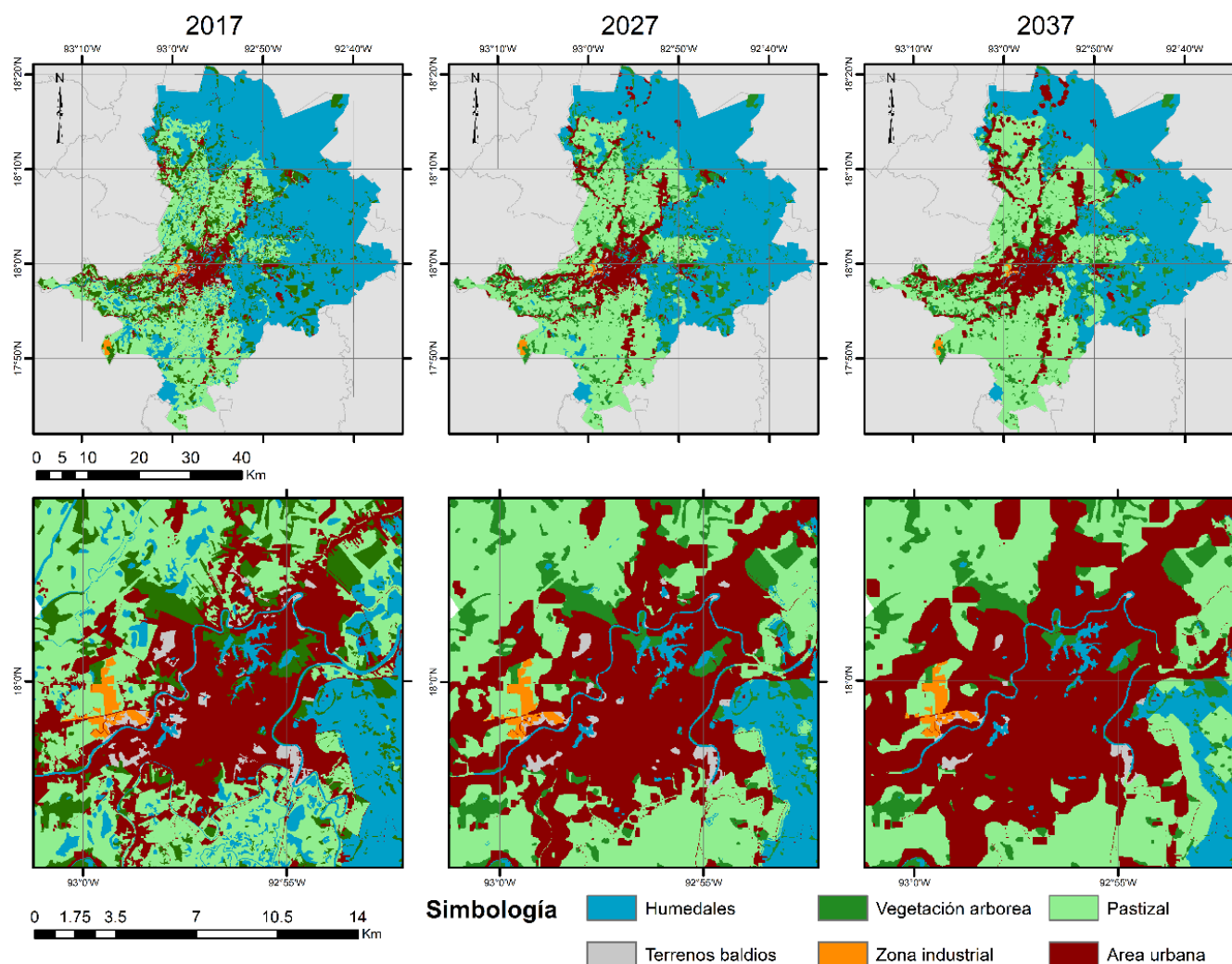
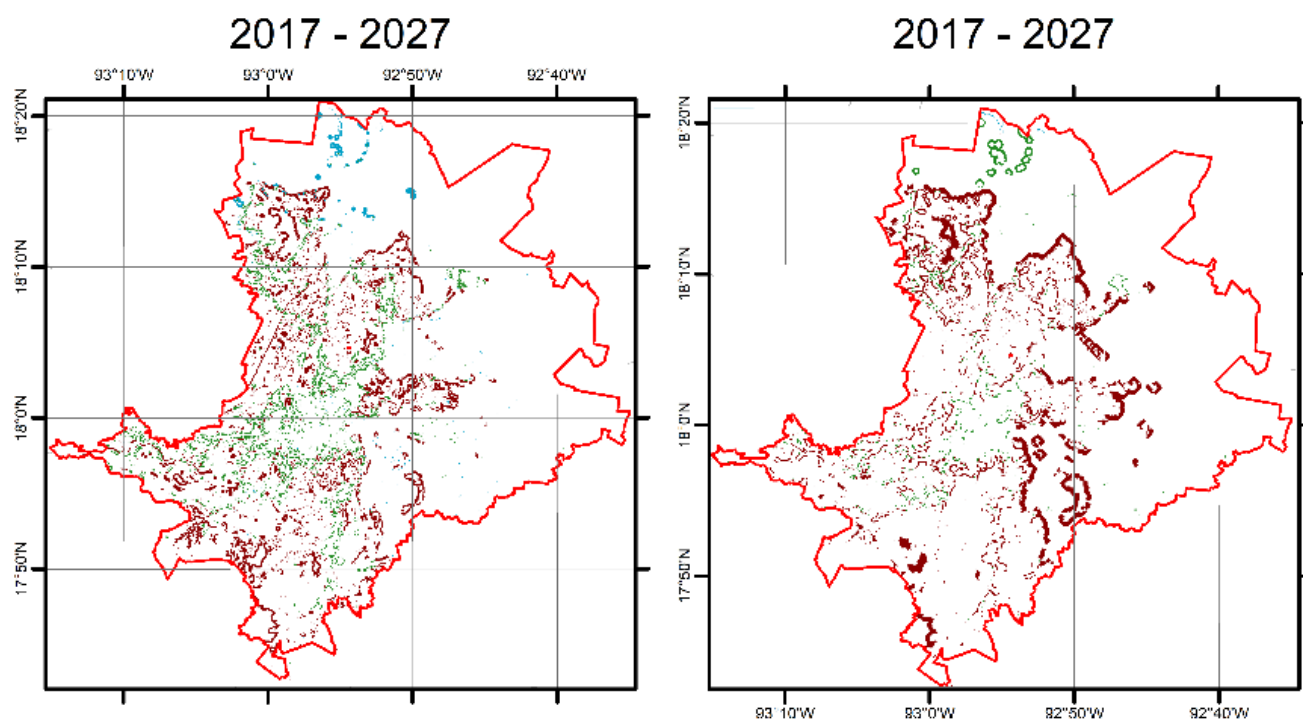
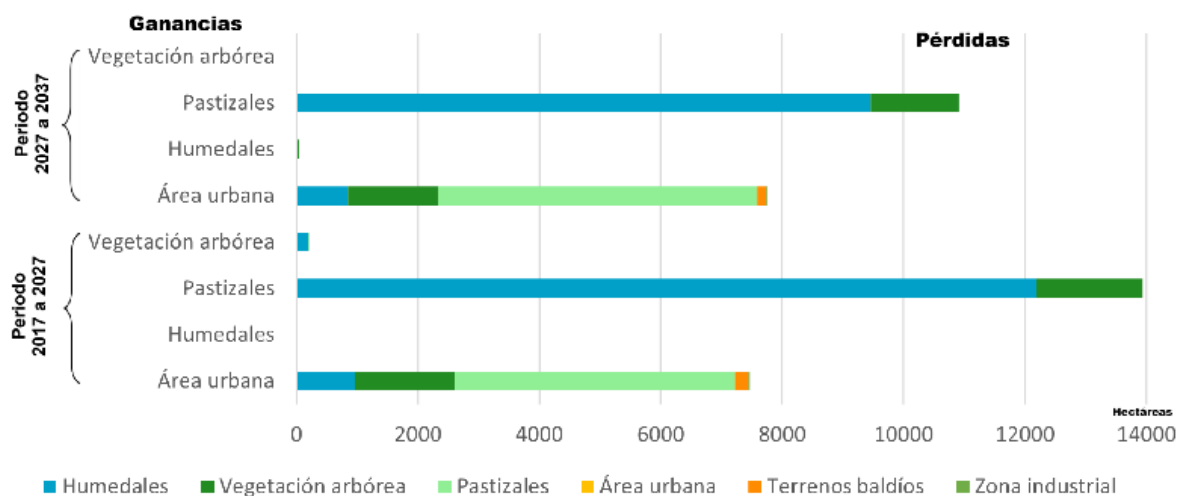


Figura 4. Escenarios de cambio de uso del suelo para la Zona Metropolitana de la Ciudad de Villahermosa para los periodos 2027 y 2037

Fuente: Elaboración propia.



Transiciones de cambio en el uso del suelo para la Zona Metropolitana de Villahermosa en los periodos 2017 a 2027 y 2027 a 2037



Simbología



Figura 5. Mapas de transiciones de cambio de usos del suelo esperados para la Zona Metropolitana de la Ciudad de Villahermosa para los periodos 2017 - 2027 y 2027 - 2037

Fuente: Elaboración propia.

mientos pluviales, reubicaron zonas de amortiguamiento y modificaron la profundidad, extensión y temporalidad de los cuerpos de agua, condicionando así los patrones de ganancia y pérdida de los humedales.

La pérdida de vegetación arbórea, el desplazamiento de humedales, la conversión irreversible de pastizales a áreas urbanas, la pérdida de servicios ambientales esenciales y la persistente ocupación de zonas sensibles con una limitada capacidad de drenaje natural, refuerzan procesos de vulnerabilidad que precisan ser atendidos mediante estrategias de planificación territorial sólidas, eficaces y de largo alcance.

Proyecciones de Cambio en los Usos del Suelo para la ZM

Los escenarios de cambio de uso del suelo (ver Tabla 3 y Figura 4) evidencian modificaciones significativas en tres categorías principales: humedales, pastizales y zona urbana. Entre ellas, los humedales muestran la reducción más pronunciada. Se estima una pérdida de 13,300 ha para 2027 (TC = -1.22 %) y de 10,200 ha adicionales para 2037 (TC = -1.05 %), lo que resultaría en una superficie remanente de 92,000 ha (41.2 % del área total) y una tasa de cambio global de -1.14 % para el periodo 2017-2037.

La vegetación arbórea presenta también una tendencia sostenida de disminución. Entre 2017 y 2027, esta categoría perdería 3,200 ha (TC = -1.24 %), una magnitud comparable a la registrada para los humedales. Para 2037, la reducción continuaría hasta alcanzar 21,100 ha (TC = -1.30 %), equivalente a una pérdida adicional de 2,900 ha entre 2027 y 2037. En total, la vegetación arbórea disminuiría en 6,100 ha durante las dos décadas analizadas, con una TC global de -1.27 %, ocupando apenas el 9.5 % de la superficie de la ZM al final del periodo (ver Tabla 3 y Figura 5).

En contraste, los pastizales muestran una dinámica de expansión. Para 2027 se proyecta un incremento neto de 9,200 ha (TC = 1.08 %) con respecto a 2017, alcanzando 70,800 ha, lo que equivale al 31.7 % de la superficie de la ZM. Esta tendencia de crecimiento se mantendría para 2037, cuando la superficie de pastizal alcanzaría 76,500 ha, tras un aumento adicional de 5,600 ha (TC = 0.77 %) y una cobertura del 34.3 % de la superficie de la ZM. En conjunto, el periodo 2017-2037 refleja un incremento acumulado de 14,900 ha (ver Figura 5) y una TC global de 0.93 %, consolidando al pastizal como la categoría de mayor expansión relativa.

Finalmente, la zona urbana experimentaría el crecimiento porcentual más acelerado. Entre 2017 y 2037 se proyecta un incremento de 15,200 ha (TC = 3.77 %), resul-

tado de aumentos de 7,400 ha en 2017-2027 y 7,700 ha en 2027-2037. De esta manera, la superficie urbana pasaría de 15,700 ha en 2017 a 32,900 ha en 2037, lo que representa un crecimiento acumulado del 113 % en dos décadas.

En conjunto, estos resultados evidencian un proceso de transformación territorial caracterizado por la reducción acelerada de humedales y vegetación arbórea, junto con una marcada expansión de los pastizales y de la superficie urbana, patrones que sugieren presiones crecientes sobre los ecosistemas naturales de la Zona Metropolitana de Villahermosa.

Conclusiones

El análisis multitemporal y los escenarios prospectivos evidencian que el crecimiento urbano es el principal impulsor del cambio de uso del suelo en la Zona Metropolitana de Villahermosa. Entre 2000 y 2017, y de acuerdo con las proyecciones a 2037, la expansión urbana continúa avanzando sobre humedales, pastizales y vegetación arbórea, modificando la estructura ecológica regional y reduciendo la capacidad del territorio para regular inundaciones.

Los humedales, aunque mostraron un balance casi neutro en superficie durante el periodo histórico, experimentaron una redistribución condicionada por intervenciones hidrológicas y presiones urbanas. Las proyecciones indican una disminución sostenida, lo que compromete sus funciones de amortiguamiento y almacenamiento hídrico. La vegetación arbórea presenta una tendencia continua de pérdida y fragmentación, especialmente en áreas periurbanas, mientras que los pastizales, pese a recuperar superficie en etapas recientes, mantienen pérdidas irreversibles asociadas a la conversión urbana.

Las proyecciones para 2027 y 2037 refuerzan estas tendencias: disminución acelerada de humedales y vegetación arbórea, crecimiento sostenido de pastizales y un incremento urbano que duplicará su extensión en dos décadas. Este patrón confirma un proceso de transformación territorial que incrementa la vulnerabilidad ambiental y el riesgo de inundación.

Los resultados subrayan la necesidad de integrar criterios de sostenibilidad ecológica y gestión del riesgo en la planificación territorial, con el fin de mitigar los impactos del cambio de uso del suelo y fortalecer la resiliencia de la zona metropolitana frente a escenarios futuros.

Referencias

- ANGEOLETTO, F., ESSY, C., RUIZ SANZ, J. P., SILVA, F. F. DA ALBERTIN, R. M., Y SANTOS, J. W. M. C. (2015). Ecología Urbana: la ciencia interdisciplinaria del planeta ciudad. *Desenvolvimento em Questão*, 13(32), 6. <https://doi.org/10.21527/2237-6453.2015.32.6-20>
- AREU-RANGEL, O. S., CEA, L., BONASIA, R., & ESPINOSA-ECHAVARRIA, V. J. (2019). Impact of urban growth and changes in land use on river flood hazard in Villahermosa, Tabasco (Mexico). *Water*, 11(2), 304. <https://doi.org/10.3390/w11020304>
- BAZANT, J. (2010). Expansión urbana incontrolada y paradigmas de la planeación urbana. *Espacio Abierto*, 19(3), <https://produccioncientificailuz.org/index.php/espacio/article/view/1405>.
- CAPDEPONT-BALLINA, J. L., Y MARÍN-OLÁN, P. (2014). La economía de Tabasco y su impacto en el crecimiento urbano de la ciudad de Villahermosa (1960-2010). *LiminaR. Estudios Sociales y Humanísticos*, 12(1), 144-160. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1665-80272014000100010&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- CONAGUA. (2008). *Plan Hídrico Integral de Tabasco (PHIT) – Primera Etapa 2008* (No. Primer etapa 2008). Comisión Nacional del Agua. <https://www.gob.mx/conagua/documentos/plan-hidrico-integral-de-tabasco-phit>
- CONAGUA. (2012). *Plan Hídrico Integral de Tabasco (PHIT)*. Comisión Nacional del Agua. <https://www.gob.mx/conagua/documentos/plan-hidrico-integral-de-tabasco-phit-45023>
- CONGEDO, L. (2023). *Semi-Automatic Classification Plugin (8.0.1)* (Versión 8.01) [Software]. https://plugins.qgis.org/plugins/SemiAutomaticClassificationPlugin/?utm_source=chatgpt.com#plugin-versions
- COPERNICUS. (2018). *Copernicus Open Access Hub*. Copernicus Open Acces Hub. <https://browser.dataspace.copernicus.eu/?zoom=5&lat=50.16282&lng=20.78613&demSource3D=%22MAPZEN%22&cloudCoverage=30&dateMode=SINGLE>
- DOMÍNGUEZ BAUTISTA, R. J., TOBÍAS BAEZA, A., RUÍZ ACOSTA, S. DEL C., SALVADOR MORALES, P., GALINDO ALCÁNTARA, A., ARRIETA RIVERA, A., & SÁNCHEZ HERNÁNDEZ, R. (2019). Storage of carbon and water in a periurban area of Tabasco. *Terra Latinoamericana*, 37(2), 197-208. <https://doi.org/10.28940/terra.v37i2.452>
- EASTMAN, J. R. (2024). *Land Change Modeler* (Versión 19.0.8) [Terrset]. <https://www.clarku.edu/centers/geospatial-analytics/terrset-liberagis-features/land-change-modeler/>
- GARZA, G. (2010). *Desarrollo urbano y regional*. En Garza, G. y Schteingart, M. (Coords). *Los grandes problemas de México*. <https://2010.colmex.mx/16tomos/II.pdf>
- GÓMEZ, V., Y FAGGI, A. (2023). Avance de las urbanizaciones en el piedemonte mendocino: Importancia de la pérdida de vegetación. *Proyección*, 17(33), 171-196. <https://doi.org/10.48162/rev.55.041>
- GUZMAN, A. (2014, SEPTIEMBRE 2). En quiebra, la otrora poderosa Unión Ganadera Regional de Tabasco. PROCESO. <https://www.proceso.com.mx/nacional/estados/2014/9/2/en-quiebra-la-otrora-poderosa-union-ganadera-regional-de-tabasco-136762.html>
- GUZMAN, P., RODERS, A. R. P., & COLENBRANDER, B. (2018). Impacts of Common Urban Development Factors on Cultural Conservation in World Heritage Cities: An Indicators-Based Analysis. *Sustainability*, 10(3), 853. <https://doi.org/10.3390/su10030853>
- HORTON, A. J., NYGREN, A., DIAZ-PERERA, M. A., & KUMMU, M. (2021). Flood severity along the Usumacinta River, Mexico: Identifying the anthropogenic signature of tropical forest conversion. *Journal of Hydrology X*, 10, 100072. <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2020.100072>
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA [INEGI] (2021). XIV Censo de Población y Vivienda 2020. *Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/default.html>
- KOLB, M., JEAN-FRANÇOIS, M., & GALICIA, L. (2013). Evaluating drivers of land-use change and transition potential models in a complex landscape in Southern Mexico. *International Journal of Geographical Information Science*, 27(9). <https://doi.org/10.1080/13658816.2013.770517>
- LÓPEZ SERRANO, P. M., VEGA NIEVA, D. J., CORRAL RIVAS, J. J., BRISEÑO REYES, J., ANTÚNEZ, P., LÓPEZ SERRANO, P. M., VEGA NIEVA, D. J., CORRAL RIVAS, J. J., BRISEÑO REYES, J., Y ANTÚNEZ, P. (2022). Diversidad e importancia ecológica de la vegetación arbórea en el Parque El Tecuán, Durango, México. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 13(74), 34-53. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i74.1273>
- MAS, J. F., Y FLAMENCO-SANDOVAL, A. (2011). Modelación de los cambios de coberturas/uso del suelo en una región tropical de México. *GeoTropico*, 5(1), http://www.geotropico.org/NS_5_1_Mas-Flamenco.pdf
- OCHOA, R. (2013). Secretos en el Macayo. *Construcción y Tecnología en Concreto*, 14, 1-8. <https://www.imcyc.com.mx/revista-cyt>
- PALACIO-PRieto, J. L., SÁNCHEZ SALAZAR, M. T., CASADO IZQUIERDO, J. M., PROPIN FREJOMIL, E., DELGADO CAMPOS, J., VELÁZQUEZ MONTES, A., CHIAS BECERRIL, L., ORTIZ ALVAREZ, M. I., GONZÁLEZ SÁNCHEZ, J., NEGRETE FERNÁNDEZ, G., MORALES, G. J., Y MÁRQUEZ HUITZIL, R. (2004). *Indicadores para la Caracterización y Ordenamiento del Territorio*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, y Secretaría de Desarrollo Social. <https://publicaciones.geografia.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/161/149/818>
- PALOMEQUE DE LA CRUZ, M. Á., GALINDO ALCÁNTARA, A., SÁNCHEZ, A. J., Y ESCALONA MAURICE, J. (2017). Pérdida de humedales y vegetación por urbanización en la cuenca del río Grijalva, México. *Investigaciones Geográficas*, 68, 151-172. <https://doi.org/10.14198/INGEO2017.68.09>
- PALOMEQUE DE LA CRUZ, M. A., GALINDO ALCÁNTARA, A., SÁNCHEZ, E., SÁNCHEZ MARTÍNEZ, A. DE J., Y ESCALONA MAURICE, J. (2017). Modelos geomáticos con base en transición para el análisis espacial en Villahermosa, Tabasco. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(2), 253-267. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i2.48>
- PALOMEQUE DE LA CRUZ, M. A., RUIZ ACOSTA, S. DEL C., RAMOS REYES, R., MAGAÑA ALEJANDRO, M., Y GALINDO ALCÁNTARA, A. (2021). Modelación de cambios de coberturas y uso de suelo en Nacajuca, Tabasco. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(4), 655-669. <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/2622>
- PEREVOCHTCHIKOVA, M., Y DE LA TORRE, L. J. L. (2010). Causas de un desastre: Inundaciones del 2007 en Tabasco, México. *Journal of Latin American Geography*, 9(2), 73-98. <https://doi.org/10.1353/lag.2010.0010>
- PINEDA JAIMES, N. B., BOSQUE SENDRA, J., GÓMEZ DELGADO, M., Y PLATA ROCHA, W. (2009). Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes. Una aproximación a los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas*, 69, 33-52. <https://www.investigacionesgeograficas.unam.mx/index.php/rig/article/view/18003>
- PURVIS, A., NEWBOLD, T., DE PALMA, A., CONTU, S., HILL, S. L., SANCHEZ-ORTIZ, K., PHILLIPS, H. R., HUDSON, L. N., LYSENKO, I., BÖRGER, L., & SCHARLEMANN, J. P. (2018). Modelling and Projecting the Response of Local Terrestrial Biodiversity Worldwide to Land Use and Related Pressures: The PREDICTS Project. *Advances in Ecological Research*, 58, 201-241. <https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2017.12.003>
- RAMOS REYES, R., Y PALOMEQUE DE LA CRUZ, M. A. (2019). La gran inundación del 2007 en Villahermosa, Tabasco, México: Antecedentes y avances en materia de control. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 39(2), 387-413. <http://dx.doi.org/10.5209/AGUC.66944>
- RAMOS, REYES, R., Y PALOMEQUE, DE LA CRUZ, M. Á. (2023). Cambio de uso del suelo y escenarios prospectivos en el Estado de Tabasco (México). *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 43(1), 185-209. <https://doi.org/10.5209/aguc.85944>
- RAMOS-REYES, R., SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ, R., Y GAMA-CAMPILLO, L. M. (2016). Análisis de cambios de uso del suelo en el municipio costero de Comalcalco, Tabasco, México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 3(8), 151-160. <https://era.ujat.mx/rera/article/view/746>
- REYES, R. R., CRUZ, M. Á. P. DE LA, NÚÑEZ, J. C., Y HERNANDEZ, R. S. (2019). Análisis geomático espacial del cambio de uso del suelo en Huimanguillo, Tabasco (2000-2010-2030). *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(53). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i53.555>
- United Nations Department of Economic and Social Affairs. (2024). *World Population Prospects 2024: Summary of Results*. https://population.un.org/wpp/assets/Files/WPP2024_Summary-of-Results.pdf
- United Nations Department of Economic and Social Affairs. (2025). *World Urbanization Prospects 2025: Summary of Results*. https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/undesa_pd_2025_wup2025_summary_of_results.pdf