



## Actividades socioeconómicas y transformaciones territoriales en Comalcalco, México †

### [Socioeconomic activities and territorial transformations in Comalcalco, Mexico]

Silvia del Carmen Ruiz-Acosta<sup>1</sup>, Luisa Fernanda Hernández-Gutiérrez<sup>1</sup>, Adalberto Galindo-Alcántara<sup>\*2</sup> and Miguel Ángel Palomeque-De la Cruz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México/IT Zona Olmeca. Prolongación de Ignacio Zaragoza S/N. Villa Ocuiltzapotlán, Centro, Tabasco, México. CP. 86270.

<sup>2</sup>División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Km 0.5 Carretera Villahermosa, Cárdenas. Entronque a Bosques de Saloya. Villahermosa, Tabasco, México. CP 86150. Email: [adalberto.galindo@ujat.mx](mailto:adalberto.galindo@ujat.mx)

\*Corresponding author

### SUMMARY

**Background:** Comalcalco stands out as one of the municipalities with the largest number of oil facilities in the state of Tabasco, Mexico. The expansion of human settlements, along with the growing demand for food, housing, services, and other needs in recent years, has exerted significant pressure on natural resources, leading to land-use changes that often have negative impacts on them. **Objective:** To analyze the dynamics of land use changes in the municipality during the periods 1986–2003 and 2023. **Methodology:** Landsat satellite images were classified and analyzed using the Land Change Modeler module in TerrSet. **Results:** The main findings indicate that land cover changes have been driven primarily by two transformative forces: government policies that strongly shape land use and the oil industry, which has been present in the municipal territory since the 1970s. **Implications:** Projections for 2035 reveal a continuous process of territorial transformation in the municipality, characterized by the expansion of human settlements and the reduction of natural cover. The significant loss of hydrophytic vegetation, grasslands, and arboreal vegetation implies a deterioration of ecosystem services and greater socio-environmental vulnerability. Although some gains are expected in mangroves and hydrophytic vegetation, these do not offset the pressure from urban growth. Consequently, the future territorial configuration points to a predominance of livestock and urban land uses, highlighting the need for public policies that balance socioeconomic development with the conservation of natural resources. **Conclusion:** The development of public policies is essential to ensure the sustainable use and management of natural resources in harmony with socioeconomic activities, thereby fostering regional development while conserving them.

**Key words:** Land Use Change; Oil Industry; Natural Resources.

### RESUMEN

**Antecedentes:** Comalcalco, destaca por ser uno de los municipios con la mayor cantidad de instalaciones petroleras en el estado de Tabasco, México. La expansión de los asentamientos humanos, así como la creciente demanda de alimentos, vivienda, servicios, entre otros, en los últimos años, ha ejercido una presión de uso importante sobre los recursos naturales ocasionando cambios en el uso del suelo que suelen tener efectos negativos sobre estos recursos. **Objetivo:** Este estudio tuvo como objetivo analizar la dinámica en los cambios de uso del suelo en el municipio para los periodos 1986-2003 y 2023. **Metodología:** Para ello se utilizaron imágenes de satélite Landsat, que se clasificaron y analizaron con el módulo Land Change Modeler de TerrSet. **Resultados:** Los principales resultados apuntan a que los cambios generados en las coberturas del suelo han sido ocasionados principalmente por dos fuerzas transformadoras del paisaje: la influencia de las políticas gubernamentales dirigidas que marcan de manera importante el uso del territorio y, por otra parte, la actividad petrolera que se desarrolla en el territorio municipal desde la década de los 70's. **Implicaciones:** Los resultados proyectados hacia 2035 evidencian un proceso continuo de transformación territorial en el municipio, caracterizado por la expansión de los asentamientos humanos y la reducción de las coberturas naturales. La pérdida significativa de vegetación hidrófita, pastizales y vegetación arbórea implica un deterioro de los

† Submitted August 25, 2025 – Accepted November 19, 2025. <http://doi.org/10.56369/taes.6561>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = S.delC. Ruiz-Acosta: <https://orcid.org/0000-0002-3319-0117>; L.F. Hernández-Gutiérrez: <https://orcid.org/0009-0000-0680-0808>; A. Galindo-Alcántara: <https://orcid.org/0000-0001-9628-982X>; M.A. Palomeque-de la Cruz: <https://orcid.org/0000-0002-0407-8476>

servicios ecosistémicos y una mayor vulnerabilidad socioambiental. Aunque se prevén algunas ganancias en manglar y vegetación hidrófita, estas no compensan la presión ejercida por el crecimiento urbano. En consecuencia, la configuración territorial futura muestra un predominio del uso ganadero y urbano, lo que plantea la necesidad de diseñar políticas públicas orientadas al equilibrio entre desarrollo socioeconómico y conservación de los recursos naturales. **Conclusión:** Se concluye que es fundamental el desarrollo de políticas públicas que contemplen el uso y manejo sostenible de los recursos naturales en armonía con las actividades socioeconómicas que den paso a las expectativas de desarrollo regional, al tiempo que se conservan los recursos naturales.

**Palabras clave:** Cambio en el uso del suelo; Actividad Petrolera; Recursos Naturales.

## INTRODUCCIÓN

El cambio de uso del suelo es un fenómeno complejo y multidimensional intrínsecamente ligado al crecimiento demográfico, al desarrollo económico global y a la interacción de factores ambientales, tecnológicos, culturales y sociales (Lambin *et al.*, 2001; Foley *et al.*, 2005; Gebbers y Adamchuk, 2010). El crecimiento en la población mundial incrementa la demanda de vivienda, alimentos, recursos naturales y servicios, impulsando la conversión de tierras naturales en áreas destinadas a otros usos (Lambin y Geist, 2008). Este proceso de conversión y manejo del territorio está fuertemente influenciado por políticas gubernamentales que promueven o restringen ciertos usos del suelo que determinan su uso y cómo se gestiona el terreno disponible (Borras y Franco, 2012; Plieninger *et al.*, 2013).

En México, el constante aumento de la población y las crecientes expectativas de desarrollo, generan una enorme presión de uso sobre los recursos naturales (Hernández Guerrero, 2024; García-Colín, 2025). El municipio de Comalcalco, Tabasco no está exento de esta problemática, dado que su territorio enfrenta problemas relacionados con los cambios de uso de suelo ocasionados por la expansión urbana que ha venido presentándose desde la década de los 70's. Esta situación resulta especialmente relevante si se considera que el municipio es reconocido como uno de los principales productores de cacao en el país y cuenta con una significativa actividad ganadera bovina, lo que lo convierte en un territorio estratégico tanto por su valor agrícola y cultural como por su aporte a la economía regional. La viabilidad económica y el impacto ambiental ocasionado por las actividades socioeconómicas en el municipio han sido objeto de críticas y debates. En este sentido, el presente estudio analiza las transformaciones ocurridas en el municipio de Comalcalco, Tabasco a partir de las actividades socioeconómicas desarrolladas en los períodos 1986-2003 y 2023 y su impacto a los recursos naturales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El análisis se realizó con imágenes multiespectrales *Landsat 5* (LT05-L2SP 1986), 7 (LE07-L1TP 2003) y 9 (LC09-L2SP 2023) descargadas del United States Geological Services (USGS, 2024). El procesamiento

en QGIS 3.36 (QGIS, 2024) incluyó correcciones atmosféricas y geométricas (LaSRC (USGS, 2023) y LEDAPS (Schmidt *et al.*, 2013)), delimitación del área y clasificación supervisada mediante el algoritmo de Máxima Verosimilitud en el complemento *Semi-Automatic Classification Plugin* (Congedo, 2023). En el análisis se consideraron las principales coberturas presentes en la subcuenca del río San Pedro, clasificadas en seis categorías de uso del suelo y vegetación: cuerpos de agua, manglar, vegetación hidrófita, vegetación arbórea, pastizales y asentamientos humanos. Las comprobaciones de las clases de uso de suelo y vegetación para las imágenes de 1986 y 2003 se realizaron con mapas disponibles en el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica de la División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) y para la imagen de 2024 se realizó la verificación en campo.

La dinámica del uso del suelo para los períodos 1986-2003 y 2003-2023 se analizó con el módulo *Land Change Modeler* (LCM) de TerrSet 2020® (Eastman y Toledano, 2018; Clarke University, 2023). LCM permite ubicar con gran precisión los cambios netos, las transiciones más sobresalientes, las pérdidas y ganancias entre dos fechas (Velásquez *et al.*, 2002; Pontius *et al.*, 2004; Pineda *et al.*, 2009). Las matrices de cambio generadas se validaron con el módulo Crosstab, mediante el cálculo de las probabilidades de V de Cramer y K=Kappa. Los coeficientes Kappa fueron 0.643 y 0.5721, indicando confiabilidad aceptable. Los resultados incluyen la superficie por categoría, las ganancias, las pérdidas, los cambios netos y las tasas anuales de variación.

Para el análisis prospectivo se utilizaron las matrices generadas y mediante cadenas de Markov y autómatas celulares se estableció el posible escenario al 2035 (Eastman y Toledano, 2018; 2018).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de los usos del suelo del área de estudio permitió determinar seis grandes categorías (Tabla 1) que se agruparon en: sistemas naturales y sistemas antropizados. Este estudio realizado para el periodo 1986-2023, revela una dinámica territorial significativa con transformaciones importantes en la

cobertura y ocupación del territorio, particularmente en coberturas naturales, usos agropecuarios y expansión urbana. Las tasas de cambio anual obtenidas permiten cuantificar la velocidad de estas transformaciones y resaltar las categorías con mayor presión o recuperación.

### Sistemas naturales

Los elementos que integran los sistemas naturales del municipio son los cuerpos de agua, el manglar y la vegetación hidrófita, todos ellos catalogados como humedales (Ramsar, 2016).

**Humedales.** - En 1986, el municipio de Comalcalco contaba con 31,997 ha de humedales, integradas por 2,513 ha de cuerpos de agua (Ca), 5,286 ha de manglar (Mg) y 24,198 ha de vegetación hidrófita (Vh), equivalentes al 41.2 % de la superficie municipal (Tabla 1). Para 2003, esta cobertura se redujo a 23,176 ha, con una pérdida de 8,822 ha y una tasa de cambio (Tc) de -1.88 % anual (Tablas 1–3). La disminución se asocia principalmente a la expansión de pastizales (17,239 ha) y asentamientos humanos (3,322 ha), según la matriz de transición (Tabla 4).

Durante el periodo 2003–2023, la reducción continuó, alcanzando 21,421 ha, con una pérdida neta de 1,753 ha y una Tc de -0.39 % anual (Tabla 2). Aunque los cuerpos de agua y manglares mostraron incrementos, la vegetación hidrófita mantuvo una tendencia negativa (-6,559 ha), lo que podría ser parte de un proceso de sustitución interna dentro del sistema de humedales. En conjunto, entre 1986 y 2023, los humedales perdieron 10,576 ha, equivalentes al 33 % de su superficie original, con una Tc promedio de -1.08 % anual (Tablas 1 y 2). Esta tendencia concuerda con lo observado en otras regiones del Golfo de México, donde la expansión ganadera, la urbanización y las alteraciones hidrológicas han reducido drásticamente la extensión y funcionalidad de los humedales costeros (Troche *et al.*, 2018; Rito, Maldonado y Morales, 2023).

**Vegetación hidrófita.** - La vegetación hidrófita está compuesta principalmente por asociaciones de popal-tular, características de suelos saturados durante la temporada de lluvias y húmedos en época seca. Estas áreas son tradicionalmente utilizadas para el cultivo del marceño, lo que implica la quema de humedales en abril y mayo para sembrar maíz y otros cultivos de temporal, lo que favorece su degradación (Mariaca-Méndez, 1996; Peraza-Villarreal *et al.*, 2019).

**Tabla 1. Cambios en el uso del suelo del municipio de Comalcalco, Tabasco para el periodo 1986-2035.**

Categorías	1986		2003		2023		2035	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Cuerpos de agua	2,513.3	3.2	3,324.0	4.3	5,559.1	7.2	6,399.3	8.2
Manglar	5,286.2	6.8	4,868.5	6.3	7,438.9	9.6	8,533.7	11.0
Vegetación hidrófita	24,197.8	31.1	14,982.6	19.3	8,423.3	10.8	7,178.6	9.2
Vegetación arbórea	20,778.7	26.7	14,923.9	19.2	11,131.2	14.3	9,848.7	12.7
Pastizal	21,397.7	27.5	32,752.3	42.1	31,289.0	40.3	29,587.0	38.1
Asentamientos humanos	3,553.2	4.6	6,875.3	8.8	13,885.2	17.9	16,179.4	20.8
Total	77,726.7	100.0	77,726.7	100.0	77,726.7	100.0	77,726.7	100.0

**Tabla 2. Cambio Neto y Tasas de cambio de usos del suelo en el municipio de Comalcalco para los periodos 1986 – 2003, 2003 – 2023 y 1986 – 2023.**

Categoría	Periodos									
	86-03		03-23		86-23		23-35		86-03	
	Cn	ha	Cn	ha	Cn	ha	Cn	ha	G	ha
Humedales	-8,822	-1,753	-10,575	690	11,214	20,036	12,353	14,107	5,130	4,440
C. agua	811	2,235	3,046	840	1,841	1,031	2,814	580	840	0
Manglar	-418	2,570	2,153	1,095	1,243	1,661	3,289	719	1,258	163
V. hidrófita	-9,215	-6,559	-15,774	-1,245	8,130	17,345	6,250	12,809	3,032	4,277
V. arbórea	-5,855	-3,793	-9,647	-1,283	3,315	9,170	3,976	7,768	676	1,958
Pastizal	11,355	-1,463	9,891	-1,702	17,239	5,884	9,719	11,182	1,569	3,271
A. humanos	3,322	7,010	10,332	2,294	3,322	0	7,010	0	2,294	-
Total	0	0	0	0	35,091	35,091	33,058	33,058	9,671	9,671

En 1986, esta categoría ocupaba 24,198 ha (31 %). Para 2003, perdió 17,345 ha, principalmente por su conversión a pastizales (12,053 ha) y vegetación arbórea (2,057 ha) (Tabla 4), aunque registró ganancias de 8,130 ha, derivadas de la regeneración natural. El balance neto fue de -9,215 ha, con una Tc de -2.78 % anual. Durante 2003–2023, la cobertura disminuyó a 8,423 ha, tras perder 12,809 ha y ganar solo 6,250 ha, con una Tc de -2.84 % (Tablas 2 y 3). Las pérdidas se concentraron en zonas ocupadas por asentamientos humanos (3,358 ha) y pastizales (3,839 ha) (Tabla 5). Para 2035, se proyecta una reducción adicional de 4,278 ha, con una Tc de -1.32 % anual, derivada del aumento de áreas urbanas, manglares y cuerpos de agua (Tablas 2 y 6).

**Tabla 3. Tasas de cambio de uso del suelo en el municipio de Comalcalco para los períodos 1986 – 2003, 2003 – 2023, 1986 – 2023 y 2023 – 2035.**

Categoría	86-03	03-23	86-23	23-35
	Tc	Tc	Tc	Tc
Humedales	-1.88	-0.39	-1.08	0.26
C. agua	1.66	2.60	2.17	1.18
Manglar	-0.48	2.14	0.93	1.15
V. hidrófita	-2.78	-2.84	-2.81	-1.32
V. arbórea	-1.93	-1.46	-1.67	-1.01
Pastizal	2.54	-0.23	1.03	-0.47
A. humanos	3.96	3.58	3.75	1.28

Estos resultados son consistentes con lo reportado en la literatura para los humedales del sureste de México, donde la conversión hacia pastizales y áreas agrícolas responde a la presión agropecuaria y al drenaje artificial (Sánchez, 2005; Rito *et al.*, 2023).

La vegetación hidrófita cumple un papel esencial en la regulación hidrológica de la planicie tabasqueña, ya que funciona como amortiguador ante las crecidas del sistema Grijalva–Usumacinta. Sin embargo, gran parte de estas zonas han sido transformadas para la urbanización: de las 13,885 ha de asentamientos humanos detectadas en 2023, cerca de 3,400 ha (24.5 %) se ubican sobre antiguos humedales. Esto implica que casi la mitad del crecimiento urbano del municipio ocurrido de 1986 al 2023 se produjo sobre zonas susceptibles a inundación, incrementando significativamente la vulnerabilidad social y ambiental de Comalcalco.

**Manglar.** - La cobertura de manglar en el municipio de Comalcalco presentó dinámicas contrastantes de pérdida y recuperación a lo largo del periodo 1986–2035. En 1986, esta categoría ocupaba 5,286.2 ha, equivalentes al 6.8 % del territorio municipal (Tabla 1). Durante el periodo 1986–2003, el manglar sufrió una pérdida neta de 418 ha, con una tasa de cambio (Tc) de -0.48 % anual (Tablas 2 y 3). Sin embargo, registró ganancias parciales de 1,243 ha que reflejan procesos de regeneración en zonas costeras y de transición hidrológica. Para 2003, la superficie total fue de 4,868.5 ha (6.3 %), evidenciando una ligera retracción inicial.

**Tabla 4. Pérdidas y ganancias en el cambio de usos del suelo en el municipio de Comalcalco para el periodo 1986 – 2003.**

1986 - 2003	Cuerpos de agua	Manglar	Vegetación hidrófita	Vegetación arbórea	Pastizal	Asentamientos humanos	Pérdidas
Cuerpos de agua	-	92	624	4	103	207	1,031
Manglar	133	-	764	403	243	118	1,661
Vegetación hidrófita	1,490	905	-	2,057	12,053	840	17,345
Vegetación arbórea	153	224	3,370	-	4,839	584	9,170
Pastizal	67	23	3,370	851	-	1,573	5,884
Asentamientos humanos	-	-	-	-	-	-	-
Ganancias	1,842	1,243	8,130	3,315	17,239	3,322	

**Tabla 5. Pérdidas y ganancias en el cambio de usos del suelo en el municipio de Comalcalco para el periodo 2003 – 2023.**

1986 - 2003	Cuerpos de agua	Manglar	Vegetación hidrófita	Vegetación arbórea	Pastizal	Asentamientos humanos	Pérdidas
Cuerpos de agua	0	156	205	50	154	15	580
Manglar	70	0	173	248	204	23	719
Vegetación hidrófita	1977	2595	0	1041	3839	3358	12809
Vegetación arbórea	130	150	573	0	5522	1393	7768
Pastizal	638	388	5299	2637	0	2220	11182
Asentamientos humanos	0	0	0	0	0	0	0
Ganancias	2815	3289	6250	3976	9719	7010	33058

**Tabla 6. Pérdidas y ganancias en el cambio de usos del suelo en el municipio de Comalcalco para el periodo 1923 – 2035.**

1986 - 2003	Cuerpos de agua	Manglar	Vegetación hidrófita	Vegetación arbórea	Pastizal	Asentamientos humanos	Pérdidas
Cuerpos de agua	0	0	0	0	0	0	0
Manglar	0	0	0	163	0	0	163
Vegetación hidrófita	840	1258	0	313	130	1736	4278
Vegetación arbórea	0	0	0	0	1439	520	1959
Pastizal	0	0	3033	200	0	38	3271
Asentamientos humanos	0	0	0	0	0	0	0
Ganancias	840	1258	3033	676	1569	2294	

A partir de 2003 y hasta 2023, la tendencia se revirtió: el manglar registró una ganancia neta de 2,153 ha, resultado de 3,289 ha ganadas y 719 ha perdidas (Tabla 2), con una Tc de +2.14 % anual (Tabla 3). Las principales áreas de expansión provinieron de la vegetación hidrófita (2,595 ha) (Tabla 5), lo que indica un proceso de conversión inversa hacia ecosistemas más estables y salinizados. Este cambio sugiere que la recuperación del manglar estuvo asociada con fluctuaciones hidrológicas favorables y acciones locales de restauración.

Para el escenario proyectado 2023–2035, se estima una ganancia adicional de 1,095 ha, alcanzando una superficie de 8,533.7 ha (11.0 %) y una Tc de +1.15 % anual (Tablas 1–3). Estas cifras reflejan una recuperación sostenida, aunque más moderada, consolidando una tendencia positiva hacia 2035.

La matriz de transición (Tablas 4–6) muestra que el manglar mantuvo un intercambio dinámico con la vegetación hidrófita, lo que evidencia su alta sensibilidad a los cambios hidrológicos. Este comportamiento se alinea con lo reportado por Osorio-Olvera y colaboradores (2023), quienes documentan que las tasas de recuperación son mayores en manglares localizados dentro de áreas naturales protegidas y en zonas alejadas de la infraestructura vial.

En el caso de Comalcalco, el incremento registrado podría atribuirse a la ejecución de programas de restauración ambiental, como el Pro-Árbol implementado entre 2006 y 2012 (Hernández *et al.*, 2016), y más recientemente, a las acciones derivadas del Programa Nacional de Restauración Ambiental 2025–2030 (CONAFOR, 2025), orientadas a la recuperación de manglares en las costas de Tabasco y Campeche. Asimismo, reportes locales indican iniciativas comunitarias de reforestación en la zona de Río Playa, promovidas por ejidatarios (Nava, 2022).

Aunque la expansión proyectada hacia 2035 es positiva, la proximidad de los manglares a la infraestructura urbana y petrolera implica riesgos

constantes de degradación y fragmentación (Romero-Berny *et al.*, 2015). Aun así, la recuperación observada tiene un alto valor ecológico, pues fortalece la protección costera, la captura de carbono, la biodiversidad y la amortiguación de inundaciones.

**Cuerpos de agua.** - Los cuerpos de agua en el municipio de Comalcalco muestran una tendencia sostenida de expansión a lo largo del periodo analizado (1986–2035). En 1986, esta categoría cubría 2,513.3 ha, equivalentes al 3.2 % del territorio municipal (Tabla 1). Para 2003, la superficie se incrementó a 3,324.0 ha (4.3 %), lo que representó una ganancia neta de 811 ha y una tasa de cambio (Tc) de 1.66 % anual (Tablas 2 y 3). Este crecimiento se originó principalmente a partir de la conversión de 1,490 ha de vegetación hidrófita, además de aportes menores provenientes de manglar y pastizal (Tabla 4).

Entre 2003 y 2023, el proceso de expansión se intensificó: los cuerpos de agua alcanzaron 5,559.1 ha (7.2 %), con ganancias totales de 2,814 ha y pérdidas de 580 ha, generando un cambio neto de +2,235 ha y una Tc de 2.60 % anual (Tablas 2 y 3). Las nuevas áreas se formaron principalmente sobre zonas de vegetación hidrófita (1,977 ha) y pastizales (638 ha) (Tabla 5), reflejando procesos de inundación permanente o pérdida de vegetación emergente debido a saturación del suelo.

Para el escenario proyectado 2023–2035, se prevé que los cuerpos de agua mantendrán su crecimiento, alcanzando 6,399.3 ha (8.2 %) con una ganancia proyectada de 840 ha y una Tc estimada en 1.18 % anual (Tablas 1, 2 y 3). Estas áreas corresponderían principalmente a terrenos antes ocupados por vegetación hidrófita (840 ha) (Tabla 6), lo que confirma la persistencia de procesos de anegamiento y aumento de la permanencia del espejo de agua.

En conjunto, entre 1986 y 2023, los cuerpos de agua aumentaron en 3,046 ha, con una Tc media de 2.17 % anual, siendo una de las coberturas con mayor incremento relativo en Comalcalco (Tabla 2).

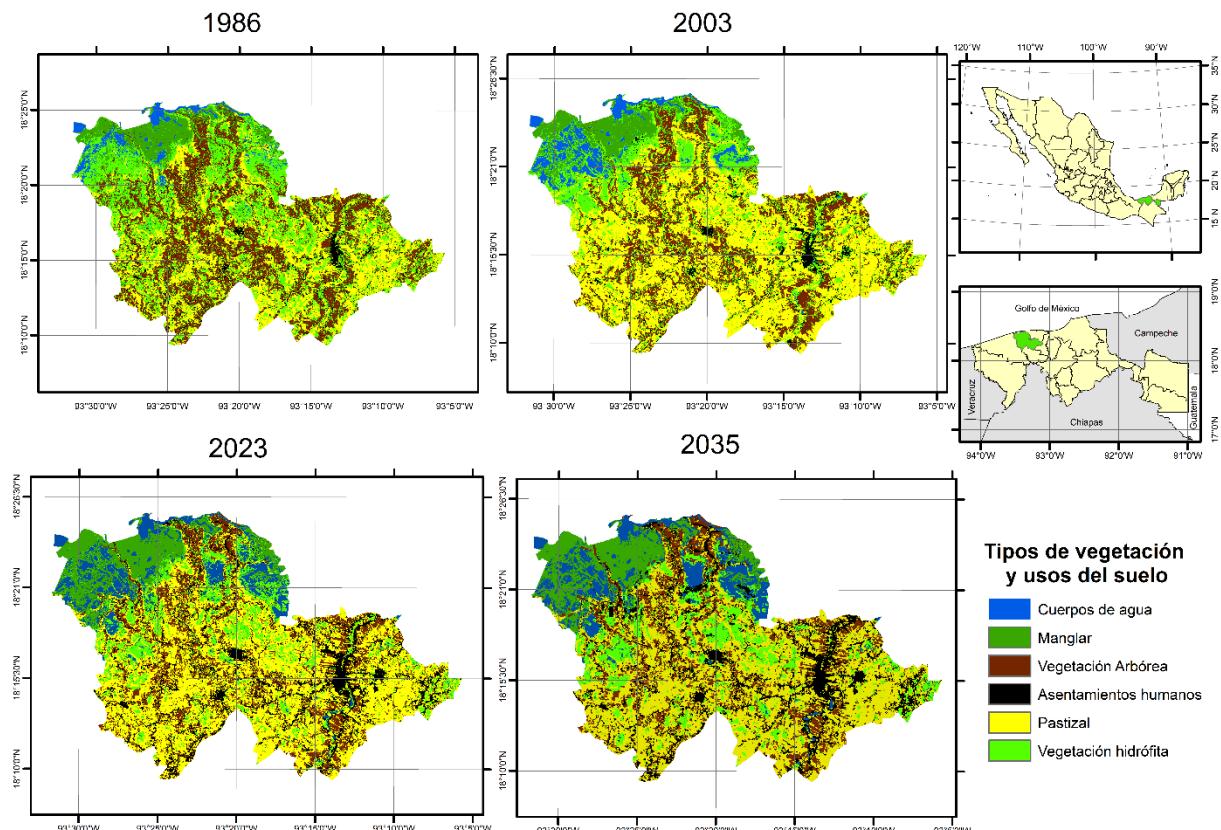
Este comportamiento coincide con lo reportado en los humedales costeros del Golfo de México y Centroamérica, donde las alteraciones hidrológicas y los cambios en la red de drenaje han favorecido la expansión de cuerpos de agua a expensas de vegetación hidrófita (García *et al.*, 2018; Quijandría, 2022; García y Guevara, 2025). En Comalcalco, dicha tendencia podría estar relacionada con procesos naturales de inundación, pero también con modificaciones antrópicas derivadas del Plan Hídrico Integral de Tabasco (PHIT), cuya obra principal —la derivación del río Mezcalapa hacia el Samaria— modificó la dinámica hidrológica regional, propiciando el aumento de las zonas húmedas en Nacajuca, Jalpa de Méndez, Comalcalco y Paraíso.

El incremento de los cuerpos de agua en Comalcalco responde a una combinación de factores naturales e inducidos por infraestructura hidráulica. Aunque esta expansión aumenta la superficie acuática, también revela una pérdida de vegetación hidrófita y una transformación estructural de los humedales que modifica su funcionalidad ecológica y su capacidad de regulación hídrica.

## Sistemas antropizados

*Vegetación arbórea.* - Los cuerpos de agua en el municipio de Comalcalco muestran una tendencia sostenida de expansión a lo largo del periodo analizado (1986–2035). En 1986, esta categoría cubría 2,513.3 ha, equivalentes al 3.2 % del territorio municipal (Tabla 1). Para 2003, la superficie se incrementó a 3,324.0 ha (4.3 %), lo que representó una ganancia neta de 811 ha y una tasa de cambio (Tc) de 1.66 % anual (Tablas 2 y 3). Este crecimiento se originó principalmente a partir de la conversión de 1,490 ha de vegetación hidrófita, además de aportes menores provenientes de manglar y pastizal (Tabla 4).

Entre 2003 y 2023, el proceso de expansión se intensificó: los cuerpos de agua alcanzaron 5,559.1 ha (7.2 %), con ganancias totales de 2,814 ha y pérdidas de 580 ha, generando un cambio neto de +2,235 ha y una Tc de 2.60 % anual (Tablas 2 y 3). Las nuevas áreas se formaron principalmente sobre zonas de vegetación hidrófita (1,977 ha) y pastizales (638 ha) (Tabla 5), reflejando procesos de inundación permanente o pérdida de vegetación emergente debido a saturación del suelo.



**Figura 1. Cambios de uso del suelo para el municipio de Comalcalco, periodo 1986-2024. Elaborado por los autores.**

Para el escenario proyectado 2023–2035, se prevé que los cuerpos de agua mantendrán su crecimiento, alcanzando 6,399.3 ha (8.2 %) con una ganancia proyectada de 840 ha y una Tc estimada en 1.18 % anual (Tablas 1, 2 y 3). Estas áreas corresponderían principalmente a terrenos antes ocupados por vegetación hidrófita (840 ha) (Tabla 6), lo que confirma la persistencia de procesos de anegamiento y aumento de la permanencia del espejo de agua.

En conjunto, entre 1986 y 2023, los cuerpos de agua aumentaron en 3,046 ha, con una Tc media de 2.17 % anual, siendo una de las coberturas con mayor incremento relativo en Comalcalco (Tabla 2).

Este comportamiento coincide con lo reportado en los humedales costeros del Golfo de México y Centroamérica, donde las alteraciones hidrológicas y los cambios en la red de drenaje han favorecido la expansión de cuerpos de agua a expensas de vegetación hidrófita (García *et al.*, 2018; Quijandría, 2022; García y Guevara, 2025). En Comalcalco, dicha tendencia podría estar relacionada con procesos naturales de inundación, pero también con modificaciones antrópicas derivadas del Plan Hídrico Integral de Tabasco (PHIT), cuya obra principal —la derivación del río Mezcalapa hacia el Samaria— modificó la dinámica hidrológica regional, propiciando el aumento de las zonas húmedas en Nacajuca, Jalpa de Méndez, Comalcalco y Paraíso.

El incremento de los cuerpos de agua en Comalcalco responde a una combinación de factores naturales e inducidos por infraestructura hidráulica. Aunque esta expansión aumenta la superficie acuática, también revela una pérdida de vegetación hidrófita y una transformación estructural de los humedales que modifica su funcionalidad ecológica y su capacidad de regulación hídrica.

*Pastizal.* - Los pastizales constituyen la cobertura de mayor expansión en Comalcalco durante el periodo analizado. En 1986 ocupaban 21,397.7 ha, equivalentes al 27.5 % del territorio municipal (Tabla 1). Para 2003, su superficie aumentó a 32,752.3 ha (42.1 %), con ganancias de 17,239 ha y pérdidas de 5,884 ha (Tabla 2). El cambio neto (Cn) fue de +11,355 ha, con una tasa de cambio (Tc) positiva de 2.54 % anual (Tabla 3). Este crecimiento se produjo principalmente a expensas de la vegetación hidrófita (12,053 ha) y la vegetación arbórea (4,839 ha) (Tabla 4), evidenciando una conversión masiva de humedales y zonas forestales hacia superficies destinadas a la ganadería extensiva.

Durante 2003–2023, el pastizal mostró una ligera contracción: registró ganancias de 9,719 ha y pérdidas de 11,182 ha, con un cambio neto de -1,463 ha y una Tc de -0.23 % anual (Tablas 2 y 3). Parte de estos

pastizales fueron sustituidos por vegetación arbórea secundaria (2,637 ha) y vegetación hidrófita (5,299 ha) (Tabla 5), lo que indica procesos de abandono de potreros y restauración natural en áreas con alta saturación hídrica. En la proyección 2023–2035, se estima una reducción adicional de 1,702 ha con una Tc de -0.47 %, manteniéndose, no obstante, como la cobertura dominante del municipio, con cerca del 38 % del territorio (Tablas 1 y 3).

El comportamiento observado refleja un patrón de expansión temprana y declive posterior, característico de las transformaciones ganaderas en la planicie costera del Golfo de México, donde la deforestación de humedales y selvas ha sido el principal motor del cambio de uso del suelo (González-Montagut, 1999). A nivel nacional, la ganadería mexicana ha experimentado transformaciones estructurales desde la década de 1980, marcadas por la degradación de pastizales, la concentración productiva y la apertura comercial, que han favorecido la expansión inicial y posterior deterioro de los paisajes ganaderos (Quiroz, Esquivel y Méndez, 2021).

En el ámbito local, la ganadería extensiva para producción de carne ha sido un pilar económico que impulsó la expansión del pastizal. Según (Castro, Tewolde y Nahed Toral, 2002), el crecimiento demográfico y la baja tecnificación de los sistemas productivos en el sureste de México promovieron la conversión de áreas forestales en pastizales. En Comalcalco, este proceso se intensificó con la llegada de población durante el boom petrolero, que incrementó la demanda de vivienda, alimentos y servicios, fomentando el desarrollo urbano y agropecuario a costa de dos coberturas naturales esenciales: la vegetación arbórea y, sobre todo, la vegetación hidrófita, que perdió más del 65 % de su superficie original.

El pastizal se consolidó como la matriz dominante del paisaje de Comalcalco, resultado directo de la expansión ganadera y del crecimiento económico regional. No obstante, su avance se logró en detrimento de los humedales y la vegetación arbórea, generando un cambio estructural profundo en la funcionalidad ecológica del territorio y en la capacidad natural de regulación hídrica del municipio.

*Asentamientos humanos.* - En 1986, los asentamientos humanos de Comalcalco ocupaban 3,553.2 ha, equivalentes al 4.6 % de la superficie municipal (Tabla 1). Para 2003, el área urbanizada casi se duplicó hasta 6,875.3 ha (8.8 %), con una ganancia de 3,322 ha y una tasa de cambio (Tc) de 3.96 % anual, la más alta registrada (Tablas 2 y 3). Esta expansión se realizó principalmente sobre pastizales (1,573 ha), vegetación hidrófita (840 ha) y vegetación arbórea (584 ha) (Tabla

4), reflejando un proceso de ocupación en zonas agropecuarias y humedales de baja altitud.

Durante el periodo 2003–2023, el crecimiento urbano continuó acelerado. La superficie de asentamientos aumentó a 13,885.2 ha (17.9 %), con una ganancia neta de 7,010 ha y una Tc de 3.58 % anual (Tablas 1–3). La expansión provino de la conversión de vegetación hidrófita (3,358 ha), pastizales (2,220 ha) y vegetación arbórea (1,393 ha) (Tabla 5). En el escenario 2023–2035, se prevé un incremento adicional de 2,294 ha, alcanzando 16,179.4 ha (20.8 %) con una Tc proyectada de 1.28 % anual (Tablas 1–3). En total, entre 1986 y 2023, los asentamientos humanos crecieron 10,332 ha, equivalente a un aumento del 290 %, con una Tc promedio de 3.75 % anual (Tabla 2).

Este proceso refleja una ocupación progresiva de humedales y planicies inundables, lo que incrementa la vulnerabilidad ante inundaciones y reduce la capacidad natural de regulación hídrica. Los humedales funcionan como amortiguadores naturales, regulando el flujo del agua y almacenando excedentes; su urbanización elimina estas funciones y aumenta el riesgo ante eventos hidrometeorológicos. En municipios como Comalcalco, situados en llanuras fluviales, esta tendencia compromete la seguridad de la población.

La planificación territorial es esencial para mitigar estos riesgos y orientar el crecimiento urbano hacia áreas seguras. Instrumentos como el Ordenamiento Ecológico del Territorio (OET), los Planes de Desarrollo Urbano (PDU) y los Atlas de Riesgos permiten identificar zonas inundables, vulnerables o afectadas por infraestructura petrolera, favoreciendo un desarrollo urbano resiliente y ambientalmente sostenible (United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2017; Lima, Vega y Garza, 2021)

Finalmente, la proximidad de la Refinería Olmeca en Paraíso ha intensificado la demanda de vivienda, bienes y servicios en Comalcalco, dado que este municipio ofrece terrenos más elevados ( $\approx$  6 msnm) frente a los 3 msnm promedio de Paraíso (IMP, 2019). Esta diferencia topográfica explica su creciente dinámica urbana, pero también subraya la necesidad de integrar la planeación ambiental y urbana para prevenir desastres y mantener la seguridad territorial.

El análisis multitemporal del uso del suelo en Comalcalco (1986–2024) muestra una alta dinámica territorial, con 87.6 % del municipio transformado y 68.1 mil ha que cambiaron de cobertura. Las mayores pérdidas ocurrieron en los sistemas naturales, especialmente en la vegetación hidrófita (23 %) y vegetación arbórea, sustituidas principalmente por pastizales. En conjunto, estos cambios representaron el

51 % de la superficie modificada, reflejando un proceso sostenido de degradación ambiental.

La expansión urbana ocupó el 15 % del total de los cambios, principalmente sobre antiguos humedales y áreas forestales, lo que incrementa la vulnerabilidad ante inundaciones. Las categorías de manglar y cuerpos de agua mostraron ligeras recuperaciones recientes, asociadas a ajustes hidrológicos y programas de restauración ambiental, aunque insuficientes para compensar las pérdidas.

El estudio revela que las políticas públicas y las presiones económicas han impulsado la reconversión del paisaje, favoreciendo la ganadería y el crecimiento urbano en detrimento de los sistemas agroforestales tradicionales. La reducción de la vegetación hidrófita y arbórea implica una pérdida significativa de servicios ecosistémicos. En síntesis, Comalcalco transita hacia un paisaje predominantemente antrópico, dominado por pastizales y zonas urbanas, lo que subraya la necesidad de fortalecer la planificación ecológica y la gestión integral del territorio.

## CONCLUSIONES

El territorio de Comalcalco muestra una transformación profunda derivada de la presión agropecuaria, urbana y petrolera. La pérdida sostenida de humedales y vegetación hidrófita evidencia un deterioro de la funcionalidad ecológica y de los servicios ecosistémicos, confirmando la vulnerabilidad de los humedales continentales del trópico húmedo mexicano. El manglar, tras una fase de degradación, muestra recuperación y tendencia positiva al 2035, dependiente de la conservación hidrológica y el control del crecimiento urbano. Los cuerpos de agua aumentan por inundación permanente y pérdida de vegetación emergente, mientras que el pastizal, favorecido por el abandono agrícola y la expansión ganadera, se consolidó como la matriz dominante del paisaje.

El crecimiento urbano ha sido acelerado y desordenado, avanzando sobre humedales y pastizales, incrementando la exposición al riesgo de inundaciones. A ello se suma la actividad petrolera, segunda fuerza transformadora del territorio desde los años setenta, que ha incentivado la migración, el abandono del campo y la presión sobre los recursos naturales. El auge energético, especialmente con la Refinería Olmeca, ha reconfigurado el uso del suelo, sustituyendo cultivos tradicionales por terrenos ganaderos o urbanos. En conjunto, estos procesos reflejan un modelo de desarrollo territorial insostenible que exige planificación ecológica y gestión integral urgente.

## Acknowledgments

Not applicable.

**Funding.** Not applicable.

**Conflict of Interest.** There is no conflict of interest.

**Ethical Standards Compliance.** No living beings were used in this study.

**Data Availability.** Data are available from the corresponding author upon reasonable request.

**Author Contribution Statement (CRediT).** **L.F. Hernández Gutiérrez** – Data curation and analysis. **S.delC. Ruiz Acosta** – Conceptualization, writing, review, and editing of the manuscript. **A. Galindo Alcántara** – Conceptualization, methodology, project administration and supervision, data analysis, review, and editing of the manuscript. **M.Á. Palomeque de la Cruz** – Software and data analysis.

## REFERENCES

- Borras, Jr.S.M. and Franco, J.C., 2012. Global Land Grabbing and Trajectories of Agrarian Change: A Preliminary Analysis. *Journal of Agrarian Change*, 12(1), pp.34–59. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0366.2011.00339.x>.
- Castro, H., Tewolde, A. and Nahed Toral, J., 2002. Análisis de los sistemas ganaderos de doble propósito en el centro de Chiapas, México (Analysis of dual purpose cattle production systems in Chiapas, Mexico). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 10, pp.175–183.
- Clarke University, 2023. *Terrset*. Available at: <https://www.clarku.edu/centers/geospatial-analytics/terrset/download/>
- CONAFOR, 2025. *Introducción Programa Nacional de Restauración Ambiental*. [online] gob.mx. Available at: <http://www.gob.mx/semarnat%7Crestauracionambiental/articulos/introduccion-398834?idiom=es> [Accessed 14 October 2025].
- Congedo, L., 2023. *Semi-Automatic Classification Plugin (8.0.1)*. Available at: [https://plugins.qgis.org/plugins/SemiAutomaticClassificationPlugin/?utm\\_source=chatgpt.com#plugin-versions](https://plugins.qgis.org/plugins/SemiAutomaticClassificationPlugin/?utm_source=chatgpt.com#plugin-versions)
- Eastman, J.R. and Toledano, J., 2018. A Short Presentation of the Land Change Modeler (LCM). In: M.T. Camacho Olmedo, M. Paegelow, J.-F. Mas and F. Escobar, eds. *Geomatic Approaches for Modeling Land Change Scenarios*, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. [online] Cham: Springer International Publishing. pp.499–505. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-60801-3\\_36](https://doi.org/10.1007/978-3-319-60801-3_36)
- Foley, J.A., DeFries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., Chapin, F.S., Coe, M.T., Daily, G.C., Gibbs, H.K., Helkowski, J.H., Holloway, T., Howard, E.A., Kucharik, C.J., Monfreda, C., Patz, J.A., Prentice, I.C., Ramankutty, N. and Snyder, P.K., 2005. Global Consequences of Land Use. *Science*, 309(5734), pp.570–574. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>
- García, A.E. and Guevara, B.A.M., 2025. Modelo hidrológico conceptual para la caracterización dinámica del humedal Parque Nacional Palo Verde, Costa Rica. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 8, pp.e445–e445. <https://doi.org/10.46380/rias.v8.e445>
- Garcí-a, M.J., Aguilera, A.L., Guzmán-Flores, G.D., Rodríguez, D.I. and González, V.R., 2018. Dinámica temporal de la disponibilidad de agua y microclima en aguadas del biotopo protegido Dos Lagunas, Petén, Guatemala. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 5(2), pp.99–110. <https://doi.org/10.36829/63CTS.v5i2.361>
- García-Colín, K.G., 2025. Nuestra forma de consumo está destruyendo el planeta. *Revista CienciaUANL*, 28(133), pp.26–35. <https://doi.org/10.29105/cienciauanl28.133-3>
- Gebbers, R. and Adamchuk, V.I., 2010. Precision Agriculture and Food Security. *Science*, 327(5967), pp.828–831. <https://doi.org/10.1126/science.1183899>
- González-Montagut, R., 1999. Factors That Contributed to the Expansion of Cattle Ranching in Veracruz, Mexico. *Mexican Studies*, 15(1), pp.101–130. <https://doi.org/10.2307/1051944>
- Hernández Guerrero, J.A., 2024. Índice de presión urbana sobre áreas naturales protegidas en México. *Revista Cartográfica*, (109), pp.55–78. <https://doi.org/10.35424/rcarto.i109.5785>
- Hernández Melchor, G.I., Sol Sánchez, Á., Ruiz Rosado, O., Valdez Hernández, J.I., López Collado, J.C., Reta Mendiola, J.L., Hernández Melchor, G.I., Sol Sánchez, Á., Ruiz Rosado, O., Valdez Hernández, J.I., López Collado, J.C. and Reta Mendiola, J.L., 2016.

- Diagnóstico del proceso de reforestación en manglares de la costa de Tabasco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(SPE14), pp.2883–2894.
- IMP, 2019. *Evaluación de Impacto Social. Refinería Dos Bocas*. Available at: [https://dosbocas.energia.gob.mx/Documentos/Documentos%20Dos%20Bocas/8.-%20Impacto%20Social/20190301\\_Apartado%20I%20VP%202.pdf](https://dosbocas.energia.gob.mx/Documentos/Documentos%20Dos%20Bocas/8.-%20Impacto%20Social/20190301_Apartado%20I%20VP%202.pdf)
- Lambin, E.F. and Geist, H.J., 2008. *Land-Use and Land-Cover Change: Local Processes and Global Impacts*. Springer Science & Business Media.
- Lambin, E.F., Turner, B.L., Geist, H.J., Agbola, S.B., Angelsen, A., Folke, C., Bruce, J.W., Coomes, O.T., Dirzo, R., George, P.S., Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Li, X., Moran, E.F., Mortimore, M., Ramakrishnan, P.S., Richards, J.F., Steffen, W., Stone, G.D., Svedin, U. and Veldkamp, T.A., 2001. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, 11, pp.261–269.
- Lima, P.T., Vega, P.T. and Garza, G.C., 2021. Asentamientos informales y resiliencia comunitaria. Itinerarios para su evaluación ante riesgos de desastres. *Revista Ciudades, Estados y Política*, 8(1), pp.129–146. <https://doi.org/10.15446/cep.v8n1.91947>
- Mariaca-Méndez, R., 1996. El ciclo marceño en tierras bajas pantanosas de Tabasco: producción tradicional de maíz altamente eficiente. *Agrociencia*, 30(2), pp.279–286.
- Nava, D., 2022. *David contra Goliat: la búsqueda de una comunidad por devolver manglar a Tabasco*. [online] Expansión. Available at: <https://expansion.mx/empresas/2022/06/29/edidatarios-luchan-conservar-manglar-tabascodos-bocas> [Accessed 18 July 2024].
- Osorio-Olvera, L., Rioja-Nieto, R., Torres-Irineo, E. and Guerra-Martínez, F., 2023. Natural Protected Areas effect on the cover change rate of mangrove forests in the Yucatan Peninsula, Mexico. *Wetlands*, 43(5), p.52. <https://doi.org/10.1007/s13157-023-01697-0>
- Peraza-Villarreal, H., Casas, A., Lindig-Cisneros, R. and Orozco-Segovia, A., 2019. The Marceño Agroecosystem: Traditional Maize Production and Wetland Management in Tabasco, Mexico. *Sustainability*, 11(7), p.1978. <https://doi.org/10.3390/su11071978>
- Plieninger, T., Dijks, S., Oteros-Rozas, E. and Bieling, C., 2013. Assessing, mapping, and quantifying cultural ecosystem services at community level. *Land Use Policy*, 33, pp.118–129. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.12.013>
- QGIS, 2024. *QGIS Geographic Information System (Version 3.36)*. Available at: <<https://www.qgis.org>>.
- Quijandría, J.R.M., 2022. Situación del humedal Chocón debido al crecimiento urbano en Junín. *Prospectiva Universitaria en Ingeniería y Tecnología*, 19(1), pp.23–27. <https://doi.org/10.26490/uncp.prospectivauniversitaria.2022.19.1948>
- Quiroz, J.F.E., Esquivel, V.A.E. and Méndez, D.M., 2021. Rehabilitación de praderas degradadas en el trópico de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 12, pp.243–260. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12s3.5876>
- Ramsar, 2016. *Manual de la Convención de Ramsar 5ed. Introducción a la convención sobre humedales*. 5ta edn. Cooperación internacional sobre los humedales. [online] Gland, Suiza: Secretaría de la Convención de Ramsar. Available at: [https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/handbook1\\_5ed\\_introductiontocovention\\_s\\_final.pdf](https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/handbook1_5ed_introductiontocovention_s_final.pdf) [Accessed 2 November 2018].
- Rito, A.I.V., Maldonado, J.R. and Morales, M.J., 2023. Cambios de Uso del Suelo y Vegetación en los Humedales del Sistema Lagunar de Catazajá, Chiapas en México 2015-2023. *Revista de Investigación Cañetana*, 2(2), pp.92–99. <https://doi.org/10.60091/ric.2023.v2n2.05>
- Romero-Berny, E.I., Acosta-Velázquez, J., Tovilla-Hernández, C., Schmook, B. and Gómez-Ortega, R., 2015. Cambios de cobertura y fragmentación de manglares en la región del Soconusco, Chiapas, México, 1994-2011. *Revista Geográfica de América Central*, 1(54), pp.153–169. <https://doi.org/10.15359/rgac.1-54.7>
- Sánchez Munguia, A., 2005. *Uso del suelo agropecuario y desforestación en Tabasco 1950-2000*. 1st edn. [online] Villahermosa, Tabasco: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Colección José N. Rovirosa. Biodiversidad, desarrollo sustentable y Trópico Húmedo. Available at:

- Schmidt, G., Jenkerson, C.B., Masek, J., Vermote, E. and Gao, F., 2013. *Landsat ecosystem disturbance adaptive processing system (LEDAPS) algorithm description*. [online] *Open-File Report*. U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/ofr20131057>
- Troche, C., Priego-Santander, Á.G., Manent, M.B. and Ressl, R., 2018. Paisajes físico-geográficos de humedales costeros continentales en dos áreas naturales protegidas del Golfo de México. *Terra digitalis*, 2(1), pp.1–6. <https://doi.org/10.22201/igg.terradigitalis.2018.1.41>
- United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2017. Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles. In: *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2017*, 1ra edn. [online] New York, USA: United Nations Department of Economic and Social Affairs. pp.40–41. <https://doi.org/10.18356/845ca1b0-es>
- USGS, 2023. *Landsat Collection 2 Surface Reflectance* | U.S. Geological Survey. [online] Landsat Collection 2 Surface Reflectance. Available at: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collection-2-surface-reflectance> [Accessed 23 October 2025].
- USGS, 2024. *EarthExplorer*. United States Geological Survey. Available at: <https://earthexplorer.usgs.gov/> [Accessed 30 October 2024].