

Clasificación de Uso del Suelo y Vegetación de Marismas Nacionales, México, 2022[☆]

Classification of Land Use and Vegetation in Marismas Nacionales, Mexico, 2022

Carlos Iván Salinas Espinosa^{*a,b}, Juan Pablo Rivera Caicedo^c, Ricardo Eaton González^d, Jushiro Cepeda Morales^{b,e}, Carlos Francisco Ortiz-Paniagua^f, Oscar Ubisha Hernández Almeida^g

^aUniversidad Autónoma de Nayarit, Posgrado en Ciencias Biológico-Agropecuarias, Xalisco, Nayarit, México.

^bUniversidad Autónoma de Nayarit, Centro Nayarita de Innovación y Transferencia de Tecnología, Tepic, Nayarit, México.

^cUniversidad Autónoma de Nayarit, Tepic, Nayarit, México.

^dUniversidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Marinas, Ensenada, Baja California, México.

^eUniversidad Autónoma de Nayarit, Unidad Académica de Agricultura, Xalisco, Nayarit, México.

^fUniversidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales, Morelia, Michoacán, México.

^gUniversidad Autónoma de Nayarit, Laboratorio de Oceanografía Biológica, Tepic, Nayarit, México.

Resumen

En las últimas décadas, las imágenes satelitales y los SIG han transformado el análisis de uso del suelo, permitiendo estudios más precisos y accesibles. En México existen esfuerzos como el Inventario Nacional Forestal y de Suelos, las Series de INEGI y los inventarios de manglares, aunque presentan limitaciones que generan inconsistencias en zonas como Marismas Nacionales. En esta región, las clasificaciones oficiales no coinciden con la realidad, al identificar como vegetación áreas destinadas a agricultura o acuicultura. Este estudio elaboró una actualización del uso del suelo 2022 mediante imágenes Landsat 8, clasificadas con métodos supervisados y edición manual, integrando trabajo de campo y validación. Se definieron 19 clases de cobertura y se evidenció un paisaje transformado, dominado por agricultura, pero con ecosistemas clave como manglares, humedales y selvas. Como resultado, se generó un mapa interactivo para consulta pública y apoyo a la toma de decisiones ambientales.

Palabras clave: clasificación de uso del suelo, Landsat, Marismas Nacionales, coberturas de uso del suelo

Abstract

In recent decades, satellite imagery and GIS technologies have transformed land-use analysis, enabling more precise and accessible studies. In Mexico, efforts such as the National Forest and Soil Inventory, INEGI's Land Use and Vegetation Series, and mangrove inventories provide key information, although they present limitations that generate inconsistencies in areas such as Marismas Nacionales. In this region, official classifications do not match current on-the-ground conditions, often identifying agricultural or aquaculture areas as natural vegetation. This study produced an updated 2022 land-use map using Landsat 8 imagery, classified through supervised methods and manual editing, integrating fieldwork and accuracy assessment. A total of 19 land-cover classes were defined, revealing a highly transformed landscape dominated by agriculture but still containing key ecosystems such as mangroves, wetlands, and tropical forests. As a final product, an interactive digital map was developed for public consultation and to support environmental decision-making processes.

Keywords: land use classification, Landsat, Marismas Nacionales, land use cover

[☆]© C. I. Salinas Espinosa, J. P. Rivera Caicedo, R. Eaton González, J. Cepeda Morales, C. F. Ortiz-Paniagua, Oscar Ubisha Hernández Almeida. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), which permits non-commercial sharing of the work and adaptations, provided the original work is properly cited and the new creations are licensed under identical terms.

*E-mail address: cise0407@gmail.com

1. Introducción

En las últimas décadas, el uso de herramientas de percepción remota y sistemas de información geográfica (SIG) ha cambiado la forma en la cual se realizan los análisis de uso del suelo y vegetación (Lillesand and Kiefer, 2014; Macarringue et al., 2022), con el paso de los años y con los avances tecnológicos se generan mayores posibilidades de realizar análisis de uso del

suelo de una forma más económica y con un alcance mayor al de principios del nuevo milenio, donde las escenas satelitales tenían un costo para el usuario y que con la consiguiente liberación de manera gratuita a los usuarios de estas imágenes, fue posible realizar análisis más detallados y de zonas con una mayor cobertura espacial (Hemati et al., 2021).

El desarrollo y la aplicación de nuevas tecnologías han permitido realizar clasificaciones digitales del uso del suelo y la vegetación con mayor precisión, facilitando el monitoreo de los paisajes y la evaluación de los impactos derivados de las actividades antrópicas (Macarringue et al., 2022; Chen et al., 2024). Estas clasificaciones constituyen herramientas fundamentales en distintos niveles de análisis, ya que proporcionan información esencial para la planificación de estrategias de conservación, el ordenamiento territorial y la mitigación del cambio climático (Chen et al., 2024; Liu y Zhang, 2024). Por ello, contar con clasificaciones detalladas y actualizadas resulta indispensable para una toma de decisiones eficaz en materia de manejo y conservación de los recursos naturales.

En México existen diversos esfuerzos nacionales orientados a la clasificación del uso del suelo y la vegetación mediante el análisis de imágenes satelitales y la validación de campo. Entre ellos destacan el Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), elaborado cada cinco años (Ricker, Villela and Mondragón, 2020); las Series Cartográficas de Uso del Suelo y Vegetación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), actualizadas periódicamente (INEGI, 2021); y los trabajos sobre la Distribución de manglares en México desarrollados desde 2005 (CONABIO, 2022) por la Comisión Nacional de Biodiversidad (CONABIO). Si bien estos esfuerzos representan una valiosa fuente de información para la toma de decisiones ambientales en el país, presentan limitaciones asociadas al alto requerimiento de recursos humanos y materiales necesarios para realizar una validación de campo exhaustiva que garantice la confiabilidad de las clasificaciones satelitales. Como consecuencia, algunas zonas del territorio nacional pueden no ser clasificadas con precisión, lo que, al tratarse de información oficial, puede conducir a errores en la gestión y planificación del uso del suelo y la vegetación ya que debido a que no se ha realizado una evaluación rigurosa de su fiabilidad abre la puerta a cuestionamientos y polémicas acerca de la calidad de los datos generados (Mas, Velázquez and Couturier, 2009).

Asimismo, existen diversos inventarios de uso del suelo y vegetación desarrollados de manera puntual en la costa del Pacífico mexicano, impulsados por instituciones académicas, gubernamentales y organizaciones no gubernamentales. Entre los más relevantes destacan el Inventario Estatal de Jalisco (IDEFOR, 2025), los monitoreos de cobertura del suelo y deforestación del estado de Michoacán (Bocco, Mendoza and Masera, 2001) y Baja California (Rosete, Damián and Bocco, 2008), así como, a nivel nacional, el Inventario de Humedales elaborado por la asociación civil Ducks Unlimited de México A.C. (DUMAC), que ha aportado información significativa sobre la distribución y extensión de los humedales en el país.

Estos esfuerzos temáticos y locales evidencian que, aunque en México existen importantes iniciativas nacionales para la clasificación del uso del suelo y la vegetación, aún resultan insuficientes. Para una adecuada toma de decisiones a escala local, es indispensable fortalecer y complementar la información generada a nivel nacional, garantizando su precisión y actualización espacial.

Una de las regiones del noroeste de México donde los datos oficiales generados por instituciones gubernamentales presentan inconsistencias en la interpretación del uso del suelo es el Sitio Ramsar Marismas Nacionales, ubicado en los estados de Nayarit y Sinaloa. En esta zona costera, la Serie VII de Uso del Suelo y Vegetación del INEGI muestra áreas clasificadas como vegetación halófila y manglar que, en la realidad, corresponden a granjas camaroneras o terrenos agrícolas. Estas discrepancias evidencian la falta de correspondencia entre la información cartográfica oficial y las condiciones actuales del territorio, lo que puede afectar la precisión de la toma de decisiones en materia de manejo y planificación ambiental.

En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo elaborar un mapa de clasificación del uso del suelo y la vegetación correspondiente al año 2022 para los municipios ubicados dentro del Sitio Ramsar Marismas Nacionales. Para ello, se emplearon imágenes satelitales del sensor Landsat 8, procesadas mediante algoritmos de clasificación supervisada y complementadas con una etapa de edición manual. Además, se desarrolló una plataforma interactiva de consulta, accesible a todo tipo de usuarios, que permite visualizar de manera sencilla y amigable la información relativa a la extensión, ubicación y tipo de uso del suelo y vegetación en la zona de estudio.

2. Métodos

2.1. Descarga y clasificación de imágenes

Para clasificar las imágenes y generar los usos de suelo correspondientes a cada uno de los periodos de estudio, se utilizó información satelital proveniente de la misión Landsat en su serie 8, obtenidas del servidor web del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) (<https://www.usgs.gov>). Las satelitales seleccionadas para su descarga, debían de tener un porcentaje de nubosidad menor al 10 % para evitar la pérdida de información.

Asimismo, para clasificar las imágenes, se emplearon escenas obtenidas durante la estación seca (invierno-primavera) y en la estación de lluvias (verano-otoño). Esto se realizó para evitar sesgos en zonas de humedales que no son perceptibles durante la estación seca del año. En total, se trabajaron 8 escenas Landsat, es decir, cuatro por cada periodo, para cubrir el área de estudio fueron necesarias cuatro escenas con el path y row 31/45, 30/45, 31/44 y 30/44, todas las escenas utilizadas cuentan con una resolución espacial de 30 metros.

Posterior a la descarga, se les aplicó un preprocesamiento a las imágenes satelitales, lo que incluyó correcciones radiométricas y el agrupamiento en un compuesto RGB utilizando

una combinación en bandas satelitales que incluyó Infrarrojo Cercano (NIR), Infrarrojo de Onda Corta (SWIR 1) y Rojo (Red), esto fue utilizando el software QGIS 3.3 y el plug-in Semi-Automatic Classification (Congedo, 2021).

Para realizar el proceso de clasificación de imágenes satelitales, se empleó un procedimiento de clasificación híbrida combinando clasificación digital e interpretación manual de polígonos, para lo cual se empleó un proceso de clasificación supervisada mediante el algoritmo Maximum Likelihood (Patil, Desai and Umrikar, 2012) incorporado en el software Erdas Imagine, versión 2015. Para ello, se utilizaron sitios de entrenamiento basados en trabajo de campo y conocimiento previo de la zona.

Después de hacer el primer proceso de clasificación supervisada esta fue simplificada mediante filtros que eliminaban zonas menores al Área Mínima Cartografiada (AMC), que, de acuerdo con las imágenes satelitales Landsat y la escala de interpretación, corresponde a 4 hectáreas (Salitchev, 1979). Después del proceso de filtrado, se realizó una edición manual de polígonos mediante fotointerpretación, siguiendo los criterios establecidos por Peña (2003), en los que se interpretan tonos, texturas y patrones sobre la escena satelital.

2.2. Leyenda

Uno de los pasos más relevantes en un análisis de uso del suelo y vegetación es la selección de una leyenda de cobertura adecuada a la escala y a los objetivos específicos de cada estudio (Bocco, Mendoza and Masera, 2001). En este trabajo, la leyenda se definió a partir de una combinación de observaciones de campo, conocimiento previo de la zona y la clasificación de Uso del Suelo y Vegetación, Serie VII del INEGI (INEGI, 2021) con el propósito de realizar posteriormente una comparación y evaluar las diferencias entre dicha clasificación y la obtenida en el presente estudio.

La Serie VII del INEGI para la zona de estudio incluye 55 clases, por lo que se decidió agruparlas en categorías distintivas de uso del suelo y vegetación, considerando la terminología empleada local y regionalmente. En el caso de los humedales, se adoptó como referencia el sistema de clasificación de Cowardin et al. (1979) modificado para las condiciones ecológicas particulares de la región de Marismas Nacionales.

3. Resultados y discusión

Las 55 clases de la capa de uso del suelo y vegetación del INEGI fueron agrupadas en 19 clases, conforme a la tabla 1. En ella, la columna izquierda muestra las clases originales reportadas en los polígonos de uso del suelo del INEGI, mientras que la columna derecha presenta las clases propuestas en esta reclasificación. Como se observa, algunas categorías, como las granjas camaroneras, se encontraban únicamente dentro de la clase acuícola; en contraste, otras categorías, como la selva baja y el bosque mixto, integran 8 y 11 clases originales del INEGI, respectivamente. Asimismo, se identificaron clases propuestas en este trabajo que no tienen una correspondencia directa con ninguna de las clases previamente definidas por el INEGI.

3.1. Clasificación de uso del suelo y vegetación

El análisis de la extensión territorial muestra que el área de estudio abarca un total de 905,352 hectáreas (Tabla 2), distribuidas en diversas clases de uso de suelo y cobertura vegetal. La actividad agrícola representa la categoría dominante, con 387,969 hectáreas (42.85 %).

En segundo lugar, la Selva Mediana ocupa 192,047 hectáreas (21.21 %), constituyendo el principal remanente de vegetación natural y un elemento clave en la conservación de la biodiversidad local, ya que es de los pocos remanentes de selva mediana o bosque tropical subcaducifolio en buenas condiciones dentro de todo México (Rzedowski and Huerta, 1978).

Las Llanuras Costeras Inundables y los Manglares también presentan extensiones significativas, con 9.67 % y 7.67 % del área total, respectivamente, lo que subraya la importancia de los ecosistemas asociados a zonas húmedas y costeras, así como, la identificación de más de 3,600 hectáreas de manglar muerto (0.40 %).

Otras coberturas, como el Bosque de Encino (4.94 %), la Selva Baja (3.62 %) y los Bosques Mixtos (2.57 %), reflejan una menor representación en el paisaje, posiblemente debido a la expansión agropecuaria. Los humedales estuarinos con vegetación emergente (2.14 %) destacan por su relevancia ecológica, así como la actividad económica obtenida por las granjas camaroneras que representa un (1.95 %) del territorio. Finalmente, respecto a los usos del suelo y vegetación antrópicos, destaca que esta zona no es altamente urbana pues los asentamientos humanos ocupan apenas un 1.39 % del territorio equivalentes a 12,541 hectáreas.

4. Conclusiones y discusión

El análisis territorial en Marismas Nacionales evidencia una marcada transformación del paisaje natural hacia actividades productivas, principalmente agrícolas, que abarcan el 42.85 % del área de estudio (387,969 ha). Esta cifra supera significativamente los datos oficiales del SIAP (2022) y del INEGI, lo que sugiere discrepancias en la información institucional y una expansión reciente de la frontera agrícola.

La Selva Mediana, con 192,047 ha (21.21 %), representa el principal remanente de vegetación natural y un refugio clave para la biodiversidad, al ser uno de los pocos bosques tropicales subcaducifolios en buen estado de conservación en México. Por su parte, los ecosistemas costeros como Llanuras Costeras Inundables (9.67 %) y Manglares (7.67 %) cumplen un papel ecológico esencial en la regulación hidrológica, a pesar de sus más de 3,600 ha de manglar muerto, derivado de los cambios hidrológicos ocasionados por la apertura del canal de Cuautla, eleva la extensión total estimada en este estudio a más de 73,000 hectáreas, es decir, una diferencia de más de 2,000 hectáreas con respecto a los datos oficiales, esto es un equivalente a alrededor del 7.5 % de los manglares de México (CONABIO, 2020). Los humedales costeros abarcan 182,865 ha, superando las estimaciones de Blanco y Correa et al. (2011), lo que podría deberse a una mayor precisión metodológica o a cambios recientes en la dinámica estuarina de la región.

Tabla 1: Equivalencia de clases de uso del suelo y vegetación empleadas en este trabajo / Table1. Equivalence of land use and vegetation classes used in this work.

Clase en serie VII de Uso del Suelo y Vegetación INEGI	Clase propuesta
Acuícola	Granjas camaroneras
Agricultura de Riego Anual Agricultura de Riego Anual y Permanente Agricultura de Riego Anual y Semipermanente Agricultura de Riego Permanente Agricultura de Temporal Anual Agricultura de Temporal Anual y Permanente Agricultura de Temporal Anual y Semipermanente Agricultura de Temporal Permanente Agricultura de Temporal Semipermanente y Permanente Pastizal Cultivado Pastizal Inducido	Agricultura
Urbano Construido	Asentamientos humanos
Selva Baja Caducifolia Selva Baja Espinosa Caducifolia Vegetación Secundaria Arbórea de Selva Baja Caducifolia Vegetación Secundaria Arbórea de Selva Baja Espinosa Caducifolia Vegetación Secundaria Arbórea de Selva Baja Subcaducifolia Vegetación Secundaria Arbustiva de Selva Baja Caducifolia Vegetación Secundaria Arbustiva de Selva Baja Espinosa Caducifolia Sabanoide	Selva Baja
Selva Mediana Subcaducifolia Selva Mediana Subperennifolia Vegetación Secundaria Arbórea de Selva Mediana Subcaducifolia Vegetación Secundaria Arbórea de Selva Mediana Subperennifolia Vegetación Secundaria Arbustiva de Selva Mediana Subcaducifolia Vegetación Secundaria Arbustiva de Selva Mediana Subperennifolia Vegetación Secundaria Herbácea de Selva Mediana Subcaducifolia Vegetación Secundaria Herbácea de Selva Mediana Subperennifolia	Selva Mediana
Palmar Natural	Palmar
Bosque de Encino Vegetación Secundaria Arbórea de Bosque de Encino Vegetación Secundaria Arbustiva de Bosque de Encino Vegetación Secundaria Herbácea de Bosque de Encino	Bosque de Encino
Bosque de Pino Bosque Mesófilo de Montaña Vegetación Secundaria Arbórea de Bosque Mesófilo de Montaña Vegetación Secundaria Arbustiva de Bosque Mesófilo de Montaña Bosque de Encino-Pino Bosque de Pino-Encino Vegetación Secundaria Arbórea de Bosque de Encino-Pino Vegetación Secundaria Arbórea de Bosque de Pino-Encino Vegetación Secundaria Arbustiva de Bosque de Encino-Pino Vegetación Secundaria Arbustiva de Bosque de Pino-Encino Vegetación Secundaria Herbácea de Bosque de Pino-Encino	Bosque Mixto
Agua	Cuerpos de Agua Dulce (Artificial)

Llanura Costera Inundable	
Manglar	Manglar
Vegetación Secundaria Arbórea de Manglar	
Vegetación Secundaria Arbustiva de Manglar	Manglar muerto
Popal	Humedales con Vegetación Acuática
Pastizal Halófilo	Humedales con Vegetación Emergente
Tular	
Vegetación Halófila Hidrófila	
Vegetación de Galería	Río
Área Desprovista de Vegetación	Barra Arenosa
Sin Vegetación Aparente	
Vegetación de Dunas Costeras	
Tular	Tular
No existe	Mar
No existe	Selva inundable

Tabla 2: Superficie por clase de uso del suelo y vegetación en el área de estudio / Table 2. Area by land use class and vegetation in the study area

Clase	Extensión	
	Hectáreas	%
Agricultura	387,969	42.85
Selva Mediana	192,047	21.21
Llanura Costera Inundable	87,507	9.67
Manglar	69,457	7.67
Bosque de Encino	44,747	4.94
Selva Baja	32,796	3.62
Bosque Mixto	23,307	2.57
Humedales Estuarinos con Vegetación Emergente	19,369	2.14
Granjas Camaroneras	17,666	1.95
Asentamientos Humanos	12,541	1.39
Río	3,900	0.43
Manglar muerto	3,602	0.40
Palmar	2,307	0.25
Selva Inundable	2,237	0.25
Tulares	2,000	0.22
Barra Arenosa	1,331	0.15
Cuerpos de Agua Dulce (Artificial)	1,192	0.13
Humedales Estuarinos con Vegetación Acuática	693	0.08
Mar	686	0.08
Total	905,352	100

En contraste, coberturas como el Bosque de Encino (4.94 %), la Selva Baja (3.62 %) y los Bosques Mixtos (2.57 %) muestran menor representación, probablemente por la expansión agropecuaria. Las granjas camaroneras, que ocupan 1.95 % del territorio, destacan tanto por su relevancia económica como por su papel en la transformación del paisaje y que de acuerdo con Salinas et al. (2025), ha sido una de las actividades que más han modificado el territorio en las últimas décadas.

En conjunto, los resultados evidencian un paisaje altamente antropizado en Marismas Nacionales, en el que las actividades agrícolas y acuícolas predominan sobre las coberturas naturales. No obstante, aún persisten ecosistemas estratégicos, como humedales, manglares y selvas, que desempeñan funciones esenciales en la regulación ambiental y en la provisión de servicios ecosistémicos. Resulta necesario realizar análisis actualizados de cambio de uso del suelo en la región, mediante metodologías que incorporen imágenes satelitales y técnicas de clasificación, de modo que esta información contribuya a mejorar la toma de decisiones por parte de los responsables del manejo de los recursos naturales.

La importancia de este trabajo radica en ofrecer una actualización integral y detallada del uso del suelo y la cobertura vegetal de Marismas Nacionales, empleando técnicas de clasificación y análisis espacial que permiten comparar y precisar los datos existentes. Esta información constituye una herramienta clave para fortalecer la gestión ambiental, la planificación territorial y la toma de decisiones orientadas a la conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales en la región. Además, aporta evidencia técnica para reducir las discrepancias entre las fuentes oficiales y mejorar los sistemas nacionales de monitoreo de ecosistemas costeros y humedales.

Finalmente, como producto de este estudio se desarrolló un mapa digital interactivo y de uso amigable, accesible al público en general, que permitirá la consulta libre y visualización del estado actual del uso del suelo y la vegetación de Marismas Nacionales, promoviendo la transparencia y el acceso abierto a la información ambiental, así como su consulta dinámica para tomadores de decisiones.

Software

Para el procesamiento y análisis de la información espacial se emplearon distintos softwares especializados en teledetección y sistemas de información geográfica (SIG). En una primera etapa, las imágenes satelitales fueron preprocesadas mediante el software QGIS 3.3, un entorno SIG de código abierto que permite realizar análisis espaciales y manipulación de datos geográficos. A través del complemento Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) (Congedo, 2021). La clasificación de las imágenes satelitales se realizó mediante un enfoque híbrido, que combinó la clasificación digital supervisada y la interpretación visual de polígonos. Implementado en el software Erdas Imagine 2015. Finalmente, los resultados de la clasificación fueron integrados y visualizados en ArcGIS Dashboard, herramienta de la plataforma ArcGIS que facilita la presentación interactiva de datos

espaciales mediante paneles de control dinámicos. Este software permitió sintetizar, interpretar y comunicar los resultados cartográficos, facilitando la comprensión de la distribución espacial de las diferentes clases de cobertura en el área de estudio.

Agradecimientos y financiamiento

Este trabajo fue posible con el apoyo financiero de la Fundación David y Lucile Packard (Proyecto: 2022-74138), el Acta Norteamericana para la Conservación de Humedales (Proyecto: F21AP0135), la Fundación Gonzalo Río Arronte (Proyecto A-0496) y la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación de México (CVU 479733). Finalmente, agradezco las valiosas observaciones de una colaboradora de la Facultad de Biología de la Universidad Autónoma de Sinaloa en Culiacán, quien prefirió no aparecer en estos agradecimientos ni figurar como coautora.

Referencias

- Blanco y Correa Magallanes, M. (Ed.), 2011. Diagnóstico Funcional de Marismas Nacionales. Universidad Autónoma de Nayarit, Comisión Nacional Forestal, Reino Unido.
- Bocco, G., Mendoza, M., Masera, O. R., 2001. La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas* 1 (44), 18–38, <https://doi.org/10.14350/rig.59133>.
- Bocco, G., Vergés, F. A. R., Damián, J. L. P., 2008. Cambio de uso del suelo y vegetación en la Península de Baja California, México. *Investigaciones Geográficas* 1 (67), <https://doi.org/10.14350/rig.17989>.
- Chen, C., Yuan, X., Gan, S., Kang, X., Luo, W., Li, R., Bi, R., Gao, S., 2024. A new strategy based on multi-source remote sensing data for improving the accuracy of land use/cover change classification. *Scientific Reports* 14 (1), 26855, <https://doi.org/10.1038/s41598-024-75329-w>.
- CONABIO, 2020. Distribución de los manglares en México.
- CONABIO, 2022. Extensión y distribución de manglares. Sistema de Monitoreo de Manglares de México (SMMM).
- Congedo, L., 2021. Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. *Journal of Open Source Software* 6 (64), 3172, <https://doi.org/10.21105/joss.03172>.
- Cowardin, L. M., Carter, V., Golet, F. C., LaRoe, E. T., 1979. Classification of Wetlands and Deepwater Habitats of the United States. U. S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service.
- Hemati, M., Hasanlou, M., Mahdianpari, M., Mohammadimanesh, F., 2021. A Systematic Review of Landsat Data for Change Detection Applications: 50 Years of Monitoring the Earth. *Remote Sensing* 13 (15), 2869, <https://doi.org/10.3390/rs13152869>.
- IDEFOR, 2025. Plataforma geoespacial de datos forestales. CONAFOR, available at: https://idefor.cnf.gob.mx/?utm_source=chatgpt.com.
- INEGI, 2021. Serie VII. Uso del Suelo y Vegetación. Escala 1:250,000.
- Lillesand, T., Kiefer, R. W., 2014. Remote sensing and image interpretation. Wiley.
- Liu, L., Zhang, X., 2024. Algorithm, Progresses, Datasets and Validation of GLC_fcs30d: the first global 30 m land-cover dynamic product with fine classification system from 1985 to 2022. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* X-2-2024, 137–143, <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-2-2024-137-2024>.
- Macarringue, L. S., Bolfe, E. L., Pereira, P. R. M., 2022. Developments in Land Use and Land Cover Classification Techniques in Remote Sensing: A Review. *Journal of Geographic Information System* 14 (1), 1–28, <https://doi.org/10.4236/jgis.2022.141001>.

- Mas, J. F., Velázquez, A., Couturier, S., 2009. La evaluación de los cambios de cobertura/ uso del suelo en la República Mexicana. *Investigación ambiental* 1 (1), 23–39.
- Patil, M. B., Desai, C. G., Umrikar, B N., 2012. Image classification tool for land use / land cover analysis: a comparative study of maximum likelihood and minimum distance method. *International Journal of Geology, Earth and Environmental Sciences* 2 (3), 189–196.
- Ricker, M., Villela, S. A., Mondragón, E., 2020. Información por conglomerado del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFyS) de México. CONAFOR.
- Rzedowski, J., Huerta, L., 1978. *Vegetación de México*. Limusa.
- Salinas Espinosa, C. I., Cepeda Morales, J., Hernandez Almeida, O. U., Rivera Caicedo, J. P., Eaton Gonzalez, B. R., Ortiz Paniagua, C. F., Quintero Morales, M. A., 2025. Land use change for shrimp aquaculture ponds and its impact on water use in Marismas Nacionales, Mexico. *Wetlands Ecology and Management* 33 (2), 31, <https://doi.org/10.1007/s11273-025-10048-1>.
- Salitchev, K. A., 1979. *Cartografía*. Editorial Pueblo y Educación.

This article accompanies the following material:

Static map: [10.22201/igg.25940694e.2025.2.136.257](https://doi.org/10.22201/igg.25940694e.2025.2.136.257)

Interactive map: [10.22201/igg.25940694e.2025.2.136.61](https://doi.org/10.22201/igg.25940694e.2025.2.136.61)