

Delimitación de la cobertura de manglar en el municipio de Tuxpan, Veracruz

Delimitation of mangrove coverage in the municipality of Tuxpan, Veracruz

Limón-Salvador Francisco¹, González-Mendoza América¹, López-Loyde Martha Fabiola²

¹Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Veracruzana. Carretera Tuxpan-Tampico Km. 7.5 Col. Universitaria. C.P. 92860. Tuxpan, Veracruz, México. ²Colegio de Bachilleres del Estado de Veracruz (COBAEV) Plantel 14. Carretera Tihuatlán-Álamo Km. 1, Col. Magisterial, 92900 Tihuatlán, Veracruz, México.

NOTA SOBRE LOS AUTORES

Francisco Limón-Salvador: flimon@uv.mx;  <https://orcid.org/0000-0001-9634-5318>

América González-Mendoza: americaglez00@gmail.com;  <https://orcid.org/0000-0001-5318-9634>

Martha Fabiola López-Loyde: fabyloydeth@gmail.com;  <https://orcid.org/0000-0002-8955-4223>

Esta investigación fue financiada con recursos de los autores.

Los autores no tienen ningún conflicto de interés al haber hecho esta investigación.

Remita cualquier duda sobre este artículo a Francisco Limón-Salvador

RESUMEN

Los manglares, vitales ecosistemas en México, destacan por su biodiversidad y servicios ecosistémicos. Debido a su extensión y dificultad de acceso, la percepción remota y los Sistemas de Información Geográfica facilitan su estudio a escala de paisaje. Con el objetivo de delimitar y estimar el área que ocupa el manglar en Tuxpan, Veracruz, el presente estudio usó imágenes de satélite de alta resolución del servicio PlanetScope. La escena se procesó con el software ENVI v5.3, previo al análisis, la imagen se trabajó con una corrección atmosférica, ortorrectificada y en proyección cartográfica. Se realizó un análisis de clasificación supervisado usando el algoritmo de

Recibido: 10/06/2023

Aceptado: 05/10/2023

Publicado: 30/12/2023



Copyright © 2023 Limón-Salvador Francisco, González-Mendoza América, López-Loyde Martha Fabiola.
Esta obra está protegida por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

máxima verosimilitud. El ecosistema de manglar en Tuxpan se reporta con una superficie de 47.8 km², lo cual representa el 5% de extensión relativo al tamaño del municipio. Esta investigación ofrece mayor detalle sobre la extensión de los manglares de Tuxpan y sirve como base para estudios que comparen los cambios de cobertura de manglar a través del tiempo, así como para proyectos de restauración y conservación de los manglares.

Palabras clave: Ecosistema de Manglar, Norte de Veracruz, Percepción Remota, PlanetScope

ABSTRACT

Mangroves, vital ecosystems in Mexico, stand out for their biodiversity and ecosystem services. Due to their extension and difficulty of access, remote sensing and Geographic Information Systems facilitate their study at a landscape scale. In order to delimit and estimate the area occupied by mangroves in Tuxpan, Veracruz, this study used high-resolution satellite images from the PlanetScope service. The scene was processed with ENVI v5.3 software, prior to analysis, the image was worked with an atmospheric correction, orthorectified and in cartographic projection. A supervised classification analysis was performed using the maximum likelihood algorithm. The mangrove ecosystem in Tuxpan is reported to have an area of 47.8 km², which represents 5% of the area relative to the size of the municipality. This research provides more detail on the extent of Tuxpan's mangroves and serves as a basis for studies comparing changes in mangrove cover over time, as well as for mangrove restoration and conservation projects.

Keywords: Mangrove Ecosystem, Northern Veracruz, PlanetScope, Remote Sensing.

INTRODUCCIÓN

En México, los humedales, especialmente los manglares, destacan como ecosistemas clave debido a su diversidad y sus múltiples roles: actúan como barreras naturales contra la entrada de agua salina e inundaciones; previenen la erosión costera, filtran nutrientes y toxinas; también contribuyen a la captura de carbono, disminuyendo los efectos del cambio climático (Lee *et al.*, 2014; Pham *et al.*, 2019; Valderrama-Landeros *et al.*, 2018; Vázquez-Lule *et al.*, 2019).

Los manglares son hábitats cruciales para peces, crustáceos y moluscos, también albergan especies amenazadas y en peligro de extinción, lo que en suma los convierte en elementos cruciales para la sostenibilidad (Borges *et al.*, 2017; Jakovac *et al.*, 2020; Lacerda *et al.*, 2019; Romañach *et al.*, 2018; Valderrama-Landeros *et al.*, 2020). No solo desempeñan un papel esencial en el ambiente, sino también en el bienestar económico de las comunidades locales tanto a través de actividades pesqueras como del turismo, aportando valor cultural y recreativo, especialmente

en zonas del Caribe (Agraz-Hernández *et al.*, 2006; Kumagai *et al.*, 2020; Vázquez-Lule *et al.*, 2019).

Desde la valoración del ecosistema hasta el cumplimiento de compromisos internacionales, el uso, la gestión y la conservación de los manglares se basan mayormente en la información acerca de la extensión de los manglares. En particular, el área de los manglares es una métrica que se usa como referencia para alcanzar compromisos internacionales de conservación (pej. la Convención de RAMSAR, Objetivos de Desarrollo Sostenible, entre otros), sin embargo, el estudio de la cobertura de los ecosistemas de manglar puede ser complicado de abordar, debido a su amplia extensión territorial y sus dificultades para acceder localmente.

Dadas las complicaciones en el acceso que impone el trabajo de campo en zonas intermareales y costeras, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la Percepción Remota (es decir, la tecnología utilizada para tomar muestras de radiación electromagnética e interpretar datos geoespaciales), brindan oportunidades para el análisis de la cobertura del paisaje (Pettorelli *et al.*, 2014), permitiendo que se produzcan resultados importantes para el estudio de la vegetación.

Se estima que la superficie de manglar es de 135,881.65 km², distribuidos a lo largo de aproximadamente 120 países y territorios, cubriendo alrededor de 12% de la línea de costa mundial (Bunting *et al.*, 2022). Los manglares de México abarcan 9050.86 km² de superficie (Velázquez-Salazar *et al.*, 2021), por lo que representan el 6.7% de la cobertura mundial y colocan a nuestro país en el cuarto lugar en cuanto a superficie de estos ecosistemas, por debajo de Indonesia, Australia y Brasil. Veracruz como estado tiene un extenso litoral, con más de 745 km, siendo el más largo del Golfo de México y el quinto a nivel nacional. En superficie, los manglares cubren 426.96 km² y más de la mitad se distribuyen en los municipios de Alvarado, Tamiahua, Tuxpan y Acula (Velázquez-Salazar *et al.*, 2021).

Un diagnóstico realizado en los manglares de Veracruz describió como principales fuentes de contaminación e impacto ambiental a los asentamientos humanos y actividad turística, industria petrolera y desarrollo industrial, actividades agropecuarias y forestales; en particular su destrucción se transformó para desarrollar actividades agrícolas o ganaderas (Moreno Casasola & Infante Mata, 2016; Ricaño Soriano, 2013). Otro estudio realizó la estimación de cambios espaciotemporales en el Ecosistema de Manglar de Jácome perteneciente al sitio Ramsar 1602 en Tuxpan, Ver., en los años 2000 y 2011, en este trabajo se tomaron en cuenta seis clases; manglar, cuerpo de agua, desarrollo antrópico, otros humedales, otra vegetación y sin vegetación. Se observó que la clase de manglar aumento ligeramente para 2011 con respecto a 2000 aproximadamente 42 ha en 11 años (Salas-Aquino, 2018).

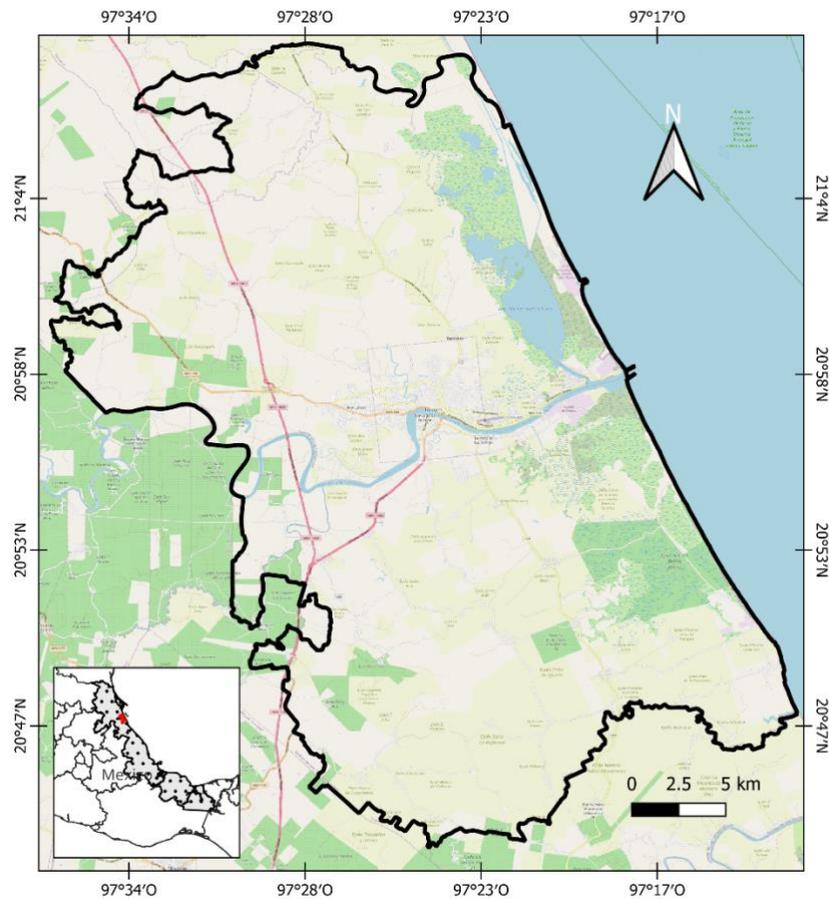
Los anteriores estudios demuestran los beneficios de las herramientas de percepción remota en el estudio de los manglares, sin embargo, su implementación requiere un entrenamiento especializado y el acceso a imágenes de alta resolución espacial, suele ser complicado. El servicio de PlanetScope dispone de imágenes de satélite con resolución espacial de 3 metros, resolución superior a la que tradicionalmente se ha aplicado para el análisis en estudios de cobertura vegetal. Los objetivos del presente estudio son a) delimitar la zona cubierta por manglar en el municipio de Tuxpan, Veracruz y b) conocer el área total del manglar en la región de Tuxpan, Veracruz, empleando técnicas de percepción remota con herramientas de los Sistemas de Información Geográfica a partir de la constelación de satélites de PlanetScope. La realización de esta investigación permitirá disponer de información con alto nivel de detalle espacial sobre los manglares del municipio de Tuxpan, Veracruz, así como para futuros proyectos sobre restauración y como base para estudios posteriores que den seguimiento a los cambios en la superficie de manglar a través del tiempo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en Tuxpan de Rodríguez Cano, Veracruz, México, abarcando toda la extensión conocida de superficie de manglar, la cual, debido a la ecología de este ecosistema, se encuentra asociado al litoral costero del municipio (Figura 1). Para realizar la delimitación de la cobertura de manglar se trabajó con la constelación de satélites PlanetScope. Se consultó el catálogo de escenas disponibles y se eligió una escena con las siguientes características: libre de nubes o máximo 5% de ellas, cubriendo toda el área de interés y que sea la más reciente al momento de realizar el análisis.

Figura 1. Área de estudio correspondiente al municipio de Tuxpan, Veracruz, México.



Clasificación de la cobertura

Previo al análisis, la escena recibió un preprocesamiento con correcciones atmosféricas y geométricas de ortorrectificado, con una corrección atmosférica escalada a la radiancia en la superficie de la atmósfera (Top of Atmosphere Radiance) y en una proyección cartográfica, en este caso en el sistema WGS 84 UTM Zona 14N. El sensor integra ocho bandas espectrales las cuales miden diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético, incluyendo longitudes tanto del espectro visible, como del infrarrojo cercano (Cuadro1).

Cuadro 1. Bandas espectrales del satélite PlanetScope PSB.SD usadas para la delimitación de la cobertura de manglar en el municipio de Tuxpan, Veracruz.

Bandas espectrales	Longitud de onda
Coastal Blue	431-452 nm
Blue	465-515 nm
Green I	513-549 nm
Green II	547-583 nm
Yellow	600-620 nm
Red	650-680 nm
Red-Edge	697-713 nm
NIR (Near-infrared)	845-885 nm

En la delimitación de la zona cubierta por manglar en el municipio de Tuxpan por medio de percepción remota, se utilizó la escena previamente seleccionada y dentro del software ENVI v5.3 (L3Harris Technologies, 2019), se realizó un análisis de clasificación supervisado. Para ello se hizo a priori una clasificación con cinco categorías: urbanización, cuerpos de agua, suelo desnudo, otra vegetación y manglar, con éstas categorías se construyeron Regiones de Interés (ROI) considerando 10 cuadrantes por cada categoría, con tamaños similares y repartidos a lo largo de toda el área de estudio, esto permitió el cálculo de las estadísticas y caracterizar cada tipo de cobertura conforme a sus atributos asociados y a sus firmas espectrales de las ocho bandas. En el proceso de clasificación se usó el algoritmo de máxima verosimilitud (Maximun Likelihood). Tras la clasificación de las cinco coberturas, solo se ocupó la correspondiente a manglar debido a los objetivos del estudio. Dicha cobertura fue convertida de formato ráster a vectorial para facilitar la digitalización. Se aplicó un suavizado (smooth kernel size, 3) y una agregación de los polígonos (aggregate minnimum size, 9) con la finalidad de agrupar fragmentos con las mismas características y hacer menos redundante el despliegue de los polígonos.

La validación de la exactitud de la clasificación se estimó con el procedimiento descrito por Congalton y Green (2019) que consiste en crear una matriz de error o de confusión a partir de datos de referencia y su correspondencia con la clasificación obtenida.

Estimación de la superficie de manglar

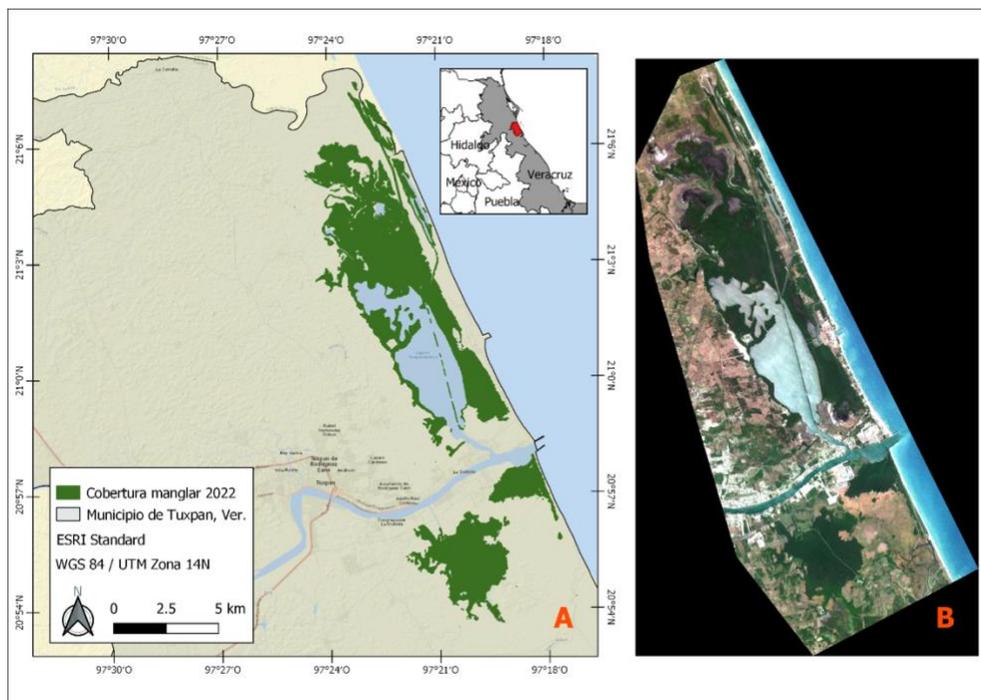
Para la estimación de la superficie actual de la cobertura de manglar del municipio de Tuxpan, Veracruz, se ocupó la herramienta QGIS en su versión 3.26.2, donde se procesaron los archivos vectoriales correspondientes a la cobertura de manglar. Tras analizar y verificar la congruencia del

mapa generado se calculó la superficie de la cobertura con la función calcular área del polígono con la calculadora de campos a partir de la Tabla de Atributos, usando el sistema de Referencia de Coordenadas WGS 84 UTM Z14 N.

RESULTADOS

Se eligió la escena con fecha de obtención 27 de marzo de 2022 que forma parte del instrumento PSB.SD dentro del servicio PlanetScope Ortho Analytic 8B SR, nivel 3B, con resolución espacial de 3m por pixel, por haber cumplido con los criterios de selección. Esta escena corresponde al código del catálogo 20220327_165711_86_2403_3B_AnalyticMS_SR_8b_harmonized (Figura 2b). El análisis de la clasificación de las coberturas realizado en el software ENVI, permitió clasificar de manera óptima con una exactitud global de 96.9%, las diferentes categorías que fueron definidas. El algoritmo de máxima verosimilitud (Maximun Likelihood) y su posterior digitalización en formato vectorial, permitió estimar la superficie del ecosistema de manglar en 47.8 km² (Figura 2). Como referencia, el territorio municipal de Tuxpan tiene 964.3km², por lo que la superficie de manglar ocupa el 5% de la extensión de dicho municipio.

Figura 2. A) Distribución de la cobertura de manglar en el año 2022 dentro del municipio de Tuxpan, Ver. B) Imagen de satélite analizada del servicio PlanetScope, se muestran tres bandas en color verdadero.



DISCUSIÓN

El presente estudio empleó la constelación de satélites de la plataforma PlanetScope para realizar la delimitación y estimación de la extensión de la cobertura de manglar en el municipio de Tuxpan, Veracruz. Como resultado identificamos que la superficie del ecosistema de manglar es de 47.8 km² (Figura 2a). De acuerdo con la base de datos sobre la distribución de los manglares en México, definida por la CONABIO (CONABIO, 2021), la cobertura de manglar en 2020 en Tuxpan, es de 45.05km², en tanto que la cartografía perteneciente a la plataforma de Global Mangrove Watch (Bunting *et al.*, 2022) que proporciona mapas de la extensión global de manglares para el año 2020, señala que Tuxpan cuenta con 50.24km² de manglares. Ambas plataformas presentan resultados de análisis de cobertura con datos independientes que fueron validados rigurosamente, lo que permite observar que los resultados obtenidos en este estudio son congruentes con las estimaciones realizadas para esta región.

Previamente, otros autores han aplicado técnicas de percepción remota usando sensores con resolución espacial de 30 a 15 metros en estudios a escala nacional y regional para la delimitación y clasificación de distintos tipos de cobertura, incluidos los manglares (Carrasquilla-Henao, 2011; Nájera González *et al.*, 2021; Rodríguez-Zúñiga *et al.*, 2013; Romero-Berny *et al.*, 2016; Salas *et al.*, 2019). Dichos estudios han permitido definir de manera satisfactoria las diferencias entre tipos de vegetación y coberturas; incluso existen metodologías adaptadas para implementar los análisis con estas características técnicas de resolución (Pettorelli *et al.*, 2014). Si bien lo análisis con sensores a resolución de 30m arrojan valiosa información que puede emplearse en la conservación de los ecosistemas, la falta de mayor resolución impide que se identifiquen fragmentos remanentes de vegetación o que están en inicio de colonización, y que, por limitaciones técnicas del instrumento no pueden ser detectados.

Recientemente se han empezado a abordar técnicas de procesamiento usando imágenes de planetscope (Gašparović *et al.*, 2023; Navarro *et al.*, 2022; Sumani & Salma, 2023; Veettil, 2022), las cuales, al tener una mayor resolución espacial, permiten identificar exitosamente entre diferentes tipos de cobertura, lo cual se traduce en clasificaciones más precisas y en consecuencia en información más detallada a nivel de paisaje; el presente estudio demuestra la utilidad de los satélites de PlanetScope para estudios locales de alta resolución.

Implicaciones de manejo y conservación

El municipio de Tuxpan tiene 964.3km², en nuestro estudio identificamos que la superficie del ecosistema de manglar es de 47.8 km², por lo que la superficie de manglar ocupa el 5% de la extensión de dicho municipio. A pesar de que geográficamente represente poca extensión, la

presencia de manglares dentro del municipio es de relevancia, pues de ahí subsisten actividades relacionadas con el turismo, la obtención de recursos naturales y ecológicamente es un espacio rico en biodiversidad (Hernández-Hernández, 2009; Hernández-Sánchez, 2010; Márquez Ramírez & Márquez Ramírez, 2009), el cual se encuentra bajo protección como un sitio de humedales de prioridad para la conservación (RAMSAR, 2016).

Conocer a detalle la superficie de manglar permitirá que tomadores de decisiones a nivel gubernamental y ambiental puedan plantear estrategias para la protección de estos ecosistemas al disponer de su ubicación precisa dentro del municipio.

Limitaciones y perspectivas

El estudio realizado se logró tras la implementación con imágenes de satélite de alta resolución, lo cual mejora el entendimiento de la distribución y extensión de los manglares en Tuxpan. Aunque los datos son congruentes con la información disponible, estos resultados podrían enriquecerse con validaciones realizadas en campo para refinar los resultados. De forma complementaria, el uso de drones para estudiar la cobertura permitiría detallar a nivel de especies o realizar zonificaciones dentro del área de manglar para tener un monitoreo más preciso. (Hsu *et al.*, 2020). La información aportada en el trabajo permitió delimitar la cobertura de los ecosistemas de mangar y conocer su extensión. Partiendo de esta información, se recomienda que futuros trabajos empleen la misma metodología para dar un seguimiento temporal a las modificaciones de la cobertura de manglar. Esto permitirá conocer si existe un aumento en la cobertura, como respuesta a medidas de conservación o si, por el contrario, existe una disminución o pérdida de la cobertura y con ello tomar medidas al respecto.

CONCLUSIONES

La implementación de herramientas de Sistemas de Información Geográfica y de Percepción Remota, usando los servicios de la plataforma de satélites PlanetScope, permitió una clasificación óptima de la cobertura de manglar. Logrando con estos instrumentos estimar la cobertura de un ecosistema con una extensión geográfica amplia. La cual podría tomar mucho tiempo o ser muy difícil de estimar usando metodologías convencionales como mediciones en campo.

El presente estudio permite el conocimiento actual sobre la distribución de los ecosistemas de manglar en el municipio de Tuxpan. Esta información permitirá a los tomadores de decisiones conocer el estado actual de este ecosistema tan importante y a la vez vulnerable para su conservación.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a todo el equipo de trabajo de Planet Labs PBC por el apoyo técnico, así como el acceso a los recursos de las imágenes de alta resolución que se usaron en el estudio. El primer autor agradece a la Asociación Mexicana de Pedagogía y Educación Virtual Especializada A.C. por el seguimiento y guía en la construcción del presente escrito.

Disponibilidad de los datos

Los datos que respaldan las conclusiones de este estudio están disponibles previa solicitud al primer autor.

LITERATURA CITADA

- Agraz-Hernández, C. M., Flores-Verdugo, F. J., Noriega-Trejo, R., López-Portillo, J., & Jiménez-Zacarías. (2006). Guía de Campo. Identificación de los manglares en México. Universidad Autónoma de Campeche.
- Borges, R., Ferreira, A. C., & Lacerda, L. D. (2017). Systematic Planning and Ecosystem-Based Management as Strategies to Reconcile Mangrove Conservation with Resource Use. *Frontiers in Marine Science*, 4, 353.
<https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00353>
- Bunting, P., Rosenqvist, A., Hilarides, L., Lucas, R. M., Thomas, N., Tadono, T., Worthington, T. A., Spalding, M., Murray, N. J., & Rebelo, L.-M. (2022). Global Mangrove Extent Change 1996–2020: Global Mangrove Watch Version 3.0. *Remote Sensing*, 14(15), 3657.
<https://doi.org/10.3390/rs14153657>
- Carrasquilla-Henao, M. (2011). Análisis de la cobertura del Bosque de Manglar y su correlación con la pesca ribereña entre 1993 y 2009 en el sistema lagunar San Ignacio-Navachiste Macapule, Sinaloa, México. Instituto Politécnico Nacional, Unida Sinaloa.
- CONABIO. (2021). Distribución de los manglares en México en 2020. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).
http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/mx_man20gw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no
- Congalton, R. G., & Green, K. (2019). *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices* (3rd ed.). CRC Press.
<https://doi.org/10.1201/9781420055139>
- Gašparović, M., Dobrinić, D., & Pilaš, I. (2023). Mapping of Allergenic Tree Species in Highly Urbanized Area Using PlanetScope Imagery—A Case Study of Zagreb, Croatia. *Forests*, 14(6), 1193.

<https://doi.org/10.3390/f14061193>

- Hernández-Hernández, E. M. (2009). Aspectos ecológicos de la avifauna en dos zonas del manglar de Tampamachoco, Tuxpan.
- Hernández-Sánchez, M. (2010). Avifauna del sitio Ramsar 1602 “Manglares y humedales de Tuxpan” y ambientes adya– centes.
- Hsu, A. J., Kumagai, J., Favoretto, F., Dorian, J., Guerrero Martinez, B., & Aburto-Oropeza, O. (2020). Driven by Drones: Improving Mangrove Extent Maps Using High-Resolution Remote Sensing. *Remote Sensing*, 12(23), 3986.
<https://doi.org/10.3390/rs12233986>.
- Jakovac, C. C., Latawiec, A. E., Lacerda, E., Leite Lucas, I., Korys, K. A., Iribarrem, A., Malaguti, G. A., Turner, R. K., Luisetti, T., & Baeta Neves Strassburg, B. (2020). Costs and Carbon Benefits of Mangrove Conservation and Restoration: A Global Analysis. *Ecological Economics*, 176, 106758. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106758>
- Kumagai, J. A., Costa, M. T., Ezcurra, E., & Aburto-Oropeza, O. (2020). Prioritizing mangrove conservation across Mexico to facilitate 2020 NDC ambition. *Ambio*, 49(12), 1992–2002. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01334-8>
- Lacerda, L. D., Borges, R., & Ferreira, A. C. (2019). Neotropical mangroves: Conservation and sustainable use in a scenario of global climate change. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 29(8), 1347–1364. <https://doi.org/10.1002/aqc.3119>
- Lee, S. Y., Primavera, J. H., Dahdouh-Guebas, F., McKee, K., Bosire, J. O., Cannicci, S., Diele, K., Fromard, F., Koedam, N., Marchand, C., & others. (2014). Ecological role and services of tropical mangrove ecosystems: A reassessment. *Global Ecology and Biogeography*, 23(7), 726–743.
- Márquez Ramírez, W., & Márquez Ramírez, J. (2009). Municipios con mayor biodiversidad en Veracruz. *Márquez Ramírez Foresta Veracruzana*, 11(2), 43–50.
- Moreno Casasola, P., & Infante Mata, D. M. (2016). Conociendo los manglares, las selvas inundables y los humedales herbáceos. INECOL - OIMT - CONAFOR.
- Nájera González, A., Carrillo González, F. M., Morales Hernández, J. C., & Nájera González, O. (2021). Cambio de cobertura y uso de suelo en llanura costera asociados a procesos antropogénicos: Caso San Blas, Nayarit. *Madera y Bosques*, 27(1).
<https://doi.org/10.21829/myb.2021.2712104>

- Navarro, R., Wirkus, L., & Dubovyk, O. (2022). Spatio-Temporal Assessment of Olive Orchard Intensification in the Saïss Plain (Morocco) Using k-Means and High-Resolution Satellite Data. *Remote Sensing*, 15(1), 50. <https://doi.org/10.3390/rs15010050>
- Pettorelli, N., Safi, K., & Turner, W. (2014). Satellite remote sensing, biodiversity research and conservation of the future. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369(1643), 1–5. <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0190>
- Pham, T., Yokoya, N., Bui, D., Yoshino, K., & Friess, D. (2019). Remote Sensing Approaches for Monitoring Mangrove Species, Structure, and Biomass: Opportunities and Challenges. *Remote Sensing*, 11(3), 230. <https://doi.org/10.3390/rs11030230>
- RAMSAR. (2016, diciembre 1). Manglares y humedales de Tuxpan. Ramsar Sites Information Service. <https://rsis.ramsar.org/ris/1602>
- Ricaño Soriano, M. (2013). Evaluación de los capitales humano y material del sitio Ramsar No. 1602 “Manglares y humedales de Tuxpan” Veracruz, México. Universidad Veracruzana.
- Rodríguez-Zúñiga, M. T., Troche-Souza, C., Vázquez-Lule, A. D., Márquez-Mendoza, J. D., Vázquez-Balderas, B., Valderrama-Landeros, L., Velázquez-Salazar, S., Cruz-López, M. I., Ressler, R., & Uribe-Martínez, A. (2013). Manglares de México: Extensión, distribución y monitoreo. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la biodiversidad. México DF, 128.
- Romañach, S. S., DeAngelis, D. L., Koh, H. L., Li, Y., Teh, S. Y., Raja Barizan, R. S., & Zhai, L. (2018). Conservation and restoration of mangroves: Global status, perspectives, and prognosis. *Ocean & Coastal Management*, 154, 72–82. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.01.009>
- Romero-Berny, E. I., Acosta-Velázquez, J., Tovilla-Hernández, C., Schmook, B., & Gómez-Ortega, R. (2016). Cambios de cobertura y fragmentación de manglares en la región del Soconusco, Chiapas, México, 1994-2011. *Revista Geográfica de América Central*, 1(54), 153. <https://doi.org/10.15359/rgac.1-54.7>
- Salas, R. A., Olivas Castro, W. J., & Williamson Cuthbert, M. (2019). Análisis multitemporal de la cobertura de manglar en la Reserva Cayos Miskitos, 2006-2017. *Revista Universitaria del Caribe*, 22(1), 61–68. <https://doi.org/10.5377/ruc.v22i1.8419>
- Salas-Aquino, M. A. (2018). Estimación de Cambios Espaciotemporales en el Ecosistema de Manglar de Jácome Perteneciente al Sitio Ramsar 1602.

- Sumani, & Salma, W. N. (2023). Soil Moisture Detection of Rainfed Farm Through Planetscope Image. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1165(1), 012046. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1165/1/012046>
- Valderrama-Landeros, L. H., Flores-de-Santiago, F., Kovacs, J. M., & Flores-Verdugo, F. (2018). An assessment of commonly employed satellite-based remote sensors for mapping mangrove species in Mexico using an NDVI-based classification scheme. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(1), 23. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6399-z>
- Valderrama-Landeros, L. H., López-Portillo, J., Velázquez-Salazar, S., Alcántara-Maya, J. A., Troche-Souza, C., Rodríguez-Zúñiga, M. T., Vázquez-Balderas, B., Villeda-Chávez, E., Cruz-López, M. I., & Ressler, R. (2020). Regional Distribution and Change Dynamics of Mangroves in México between 1970/80 and 2015. *Wetlands*, 40(5), 1295–1305. <https://doi.org/10.1007/s13157-020-01299-0>
- Vázquez-Lule, A., Colditz, R., Herrera-Silveira, J., Guevara, M., Rodríguez-Zúñiga, M. T., Cruz, I., Ressler, R., & Vargas, R. (2019). Greenness trends and carbon stocks of mangroves across Mexico. *Environmental Research Letters*, 14(7), 075010. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab246e>
- Veettil, B. K. (2022). Current status of mangrove vegetation in Batticaloa Lagoon, Sri Lanka, using high-resolution satellite imagery. *Journal of Coastal Conservation*, 26(6), 74. <https://doi.org/10.1007/s11852-022-00923-x>
- Velázquez-Salazar, S., Rodríguez-Zúñiga, M., Alcántara-Maya, J., Villeda-Chávez, E., Valderrama-Landeros, L., Troche-Souza, C., Vázquez-Balderas, B., Pérez-Espinosa, I., Cruz-López, M., & Ressler, R. (2021). Manglares de México. Actualización y análisis de los datos 2020. En Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. CDMX México.

Copyright © 2023 Limón-Salvador Francisco, González-Mendoza América, López-Loyde Martha Fabiola.



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](#).

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) - [Texto completo de la licencia](#)