

Cambios de Uso del Suelo y Vegetación en los Humedales del Sistema Lagunar de Catazajá, Chiapas en México 2015-2023

Changes in Land Use and Vegetation of the Wetlands in the Catazaja Lagoon System, Chiapas in Mexico from 2015 to 2023

Alina Isolda Vázquez Rito

Instituto Politécnico Nacional-CIIDIR Unidad Oaxaca,
México

avazquezr2300@alumno.ipn.mx
<https://orcid.org/0009-0007-0301-5792>

Juan Regino Maldonado¹

Instituto Politécnico Nacional-CIIDIR Unidad Oaxaca,
México

jregino@ipn.mx
<https://orcid.org/0000-0003-2341-5703>

Manuel Juárez Morales

Instituto Politécnico Nacional-CIIDIR Unidad Oaxaca, México

mjuarezm2300@alumno.ipn.mx
<https://orcid.org/0000-0002-0467-4358>

Recibido: 21/10/2024

Aceptado: 28/10/2024

Publicado: 16/12/2024

Resumen

Los humedales son ecosistemas significativos para la vida en el planeta. En México varias culturas guardaron una relación estrecha y se beneficiaron de los servicios ecosistémicos que hasta nuestros días prestan los humedales; sin embargo, varios se encuentran amenazados por los cambios de uso de suelo, como es el caso de los humedales de Catazajá en Chiapas. Por lo anterior, se utilizó la técnica de percepción remota para analizar los cambios de uso del suelo y vegetación de los humedales del sistema lagunar de Catazajá para el período 2015-2023, con imágenes obtenidas de *RapidEye* y Sentinel 2A. El procesamiento de las imágenes se llevó a cabo con ArcMap 10.3, se realizó una clasificación supervisada de máxima verosimilitud para estimar seis áreas correspondientes a usos de suelo y vegetación del humedal: cuerpos de agua, cobertura vegetal, agricultura, suelo desnudo y pastizal, zona de inundación y zona urbana. De los resultados obtenidos se observa que, en un periodo de ocho años, principalmente las superficies de suelo desnudo y pastizal, y urbanas registraron una tasa de cambio anual positiva de 185% y 16.89% respectivamente. Mientras que las superficies de agricultura y cuerpos de agua registraron una tasa de cambio anual negativa de -3.37% y -3.19% respectivamente. El estudio concluye que, en el período analizado se observa un incremento significativo en el suelo desnudo y pastizal, y los destinados a la urbanización, y cierta ganancia en la cobertura vegetal. También se presenta una disminución de las superficies de agricultura, seguido de los cuerpos de agua mismas que se reflejan en la pérdida de humedales.

Palabras clave: servicios ecosistémicos de los humedales, sitios Ramsar, sistemas de información geográfica, percepción remota, sistemas de monitoreo en humedales

Abstract

Wetlands are significant ecosystems for life on the planet. In Mexico, several cultures have had a close relationship and benefited from the ecosystem services that wetlands provide to this day. However, several are threatened by changes in land use, as is the case of the Catazajá wetlands in Chiapas. Therefore, remote sensing techniques were

¹ Autor de correspondencia

used to analyze changes in land use and vegetation of the wetlands of the Catazajá lagoon system for the period 2015-2023, with images obtained from Sentinel 2A and RapidEye. The image processing was carried out with ArcMap 10.3, and a supervised maximum likelihood classification was performed to calculate the areas corresponding to the land uses: water bodies, vegetation cover, agriculture, bare soil and grassland, flood zone and urban zone. From the results obtained, it is observed that, in a period of eight years, mainly the surfaces of bare soil and grassland; and urban areas had a positive annual rate of change 185% and 16.89% respectively. While the surfaces of agriculture and water bodies had a negative annual rate of change -3.37% and -3.19% respectively. The study concludes that, in the period analyzed, there is a significant increase in bare soil and grassland, urban areas and vegetal cover, and decrease in the areas of agriculture, followed by water bodies, which is reflected in the loss of wetlands.

Keywords: Wetland ecosystem services, Ramsar sites, geographic information systems, remote sensing, wetland monitoring systems

1. Introducción

Importancia de los humedales

Los humedales o también conocidos como manglares son ecosistemas naturales dominados por agua, por mencionar algunos, van desde las extensiones de marismas, pantanos, turberas, ciénegas, estanques vernaes y lagunas. Pueden ser de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, con agua estancada o corriente, dulce, salobres o saladas (Ramsar, 2015). Las particularidades de estos ecosistemas son adquiridas a partir de la combinación de elementos hídricos en especial con el terrestre, lo que los hace únicos (Caro-Zaldívar, 2022). La relación con el agua representa el elemento principal para determinar el tipo de flora y fauna que en ellos habita (Gibbens, 2023; Ramsar, 2015).

De acuerdo con la SEMARNAT (2012), los humedales son áreas que pueden inundarse parcial o totalmente, funcionando como zonas de transición entre ecosistemas acuáticos y terrestres. Su principal característica es que, el nivel freático se encuentra a unos cuantos centímetros de la superficie o las áreas están cubiertas por aguas poco profundas. Los humedales en ecosistemas secos concentran gran parte de la variabilidad ambiental y conforman una serie de ejemplares que en términos generales son similares, la diferencia se encuentra en su nivel de humedad o inundación. Dichos ecosistemas se dividen en dos categorías: 1) costeros, son una mezcla de agua dulce y salada como manglares, marismas saladas, pantanos costeros etc.; y 2) continentales que están formados por charcas vernaes, pantanos, ciénegas cerca de ríos y lagos. Entre los países con mayor número de humedales destacan el Reino

Unido (170 sitios) y México (142 sitios) (Díaz-Carrión et al., 2018). En nuestro país, los humedales se encuentran en las zonas costeras, principalmente en zonas de manglar presentes en Campeche, Nayarit, Oaxaca y Tabasco; y en zonas no costeras como el lago de Chapala, lago de Pátzcuaro y las Chinampas de Xochimilco (National Geographic, s.f.).

En este sentido, a lo largo de la historia de la humanidad los humedales han tenido un gran valor y su conservación gana cada vez más relevancia. Por ejemplo, los valles productivos del Nilo, Éufrates y Tigris dieron origen a las civilizaciones egipcias y sumerias. También desempeñaron un papel crucial en el continente americano, como por ejemplo en los extensos humedales del Amazonas, donde la densidad de población superaba diez veces más que en las tierras altas. En México, los olmecas prosperaron en las zonas inundables del sur de Veracruz y Tabasco, ubicadas en el corazón del Golfo de México, áreas fuertemente irrigadas por los ríos Papaloapan, Coatzacoalcos y Tonalá (SEMARNAT, 2012).

Servicios ecosistémicos de los humedales

Desde la década de 1970 a la fecha, se ha dado énfasis en la importancia de la biodiversidad biológica y los incontables beneficios que los individuos obtenemos de los ecosistemas en forma de servicios ecosistémicos (Balvanera & Cotler, 2011). Como se observa en la Figura 1, los servicios ecosistémicos se dividen en cuatro categorías principales: aprovisionamiento, regulación, culturales y de soporte (MEA, 2005).



Figura 1. Servicios ecosistémicos
Fuente: UICN (2017).

Los humedales proporcionan una gran variedad y cantidad de servicios ecosistémicos. La diversidad biológica existente en estos contribuye a preservar los procesos propios de los ecosistemas como el suministro de agua dulce, la generación de alimentos, la filtración y purificación del agua, la concentración de sedimentos y el ciclo de nutrientes como el nitrógeno y fósforo, así también evitan inundaciones en zonas de vegetación, y capturan CO₂ el cual pueden ser 12 veces más que lo capturado por la selva (Caro-Zaldívar, 2022; SEMARNAT, 2012).

El sistema lagunar de Catazajá en Chiapas se distingue por ser un ecosistema complejo de humedales, importante por su elevado endemismo y su diversidad de especies de flora y fauna. Este proporciona hábitat, alimento, refugio, áreas de crecimiento y reproducción a una gran diversidad de especies animales, incluyendo algunas en peligro de extinción como el manatí (*Trichechus manatus*) (CONABIO, 2023). No obstante, la relevancia de estos ecosistemas no ha sido suficiente para su cuidado y protección. Algunos estudios han evidenciado los efectos negativos del cambio de uso de suelo y vegetación (CUSV) en la estructura y funcionamiento de los mismos, debido a las actividades antropogénicas, principalmente a las inadecuadas prácticas agrícolas, pecuarias y forestales, así como la doble consecuencia del crecimiento económico, mismo que va de la mano del desarrollo de infraestructura urbana ocasionando fragilidad de los ecosistemas (Ramos-Reyes et al., 2021).

Por lo anterior, es necesario indagar sobre el uso del suelo y vegetación en el sistema lagunar de Catazajá, mediante la interpretación de imágenes satelitales con la técnica de percepción remota que brinde

información útil para diagnosticar, evaluar y prevenir el cambio de uso de suelo en el área de estudio.

Percepción remota en el monitoreo de humedales

La percepción remota o teledetección es una herramienta que facilita la captura de imágenes de la superficie terrestre a través de sensores aéreos o espaciales, generando una interacción energética ya sea a través de reflexión de la energía solar o de un haz de energía artificial, mediante la cual se obtienen datos acerca del mundo físico (Chuvieco, 1995).

Las técnicas de teledetección utilizan observaciones en el espectro de luz visible, infrarrojo y microondas, lo que permite analizar las dinámicas fluctuantes de inundación de toda el área que comprende el humedal (Contreras-Silva, 2014). Teniendo en cuenta que contamos con una amplia variedad de observaciones satelitales disponibles, se garantiza el potencial de la teledetección para capturar las características propias de los humedales, junto con sus dinámicas espaciales y estacionales.

La convención Ramsar (2007) pone de manifiesto el aprovechar las bondades temporal y espectral de los sensores, ya que estos ayudan a diferenciar las firmas espectrales por zona de los humedales, así como también sugieren su monitoreo constante. El monitoreo de humedales a través de métodos de teledetección brinda información de gran importancia, como la disminución de superficies, la proyección de superficies de inundación que debería ser considerada como un procedimiento frecuente indispensable para la conservación de humedales.

Monitorear el CUSV del humedal comprende una vigilancia periódica de sus procesos ecológicos, que facilite la detección de cambios significativos en el ecosistema, que permita la generación de estrategias y acciones de manejo en la gestión del territorio de Catazajá.

2. Materiales y métodos

La metodología aplicada en el análisis del CUSV en los humedales del sistema lagunar de Catazajá Chiapas se dividió en 4 apartados: 1) descripción del área de estudio; 2) recursos de información; 3) procesamiento de imágenes satelitales; y 4) estimación de superficies.

2.1 Descripción del área de estudio

En la Figura 2, Catazajá se ubica al Noroeste del estado de Chiapas en la Región Económica VI Selva, perteneciente a la Región fisiográfica de la Llanura costera del Golfo Sur de México, acotada hacia el Noroeste con el estado de Yucatán y al Sur con las Sierras del estado de Chiapas y Guatemala. Catazajá colinda al Norte con el estado de Tabasco y al Sur con el municipio de Palenque en el estado de Chiapas, al Este y Oeste con los municipios de Emiliano Zapata y Macuspana de Tabasco, respectivamente. Se ubica a 20 msnm, en las coordenadas 17° 44' 31" N y 92° 01' 40" O (Secretaría de Medio Ambiente y Vivienda, 2010)

Los humedales forman parte de la Región Terrestre Prioritaria 143 Emiliano Zapata-Catazajá, así como de la Región Hidrológica Prioritaria 91 Balancán, cuentan con una superficie total de aproximadamente 63,000 hectáreas, lo cual representa el 3.13% de la superficie regional, 0.83% del estado y 0.032% del territorio nacional (Secretaría de Medio Ambiente y Vivienda, 2010). Por sus características bióticas y problemáticas que enfrentan son de importancia para la conservación de ecosistemas en la entidad.

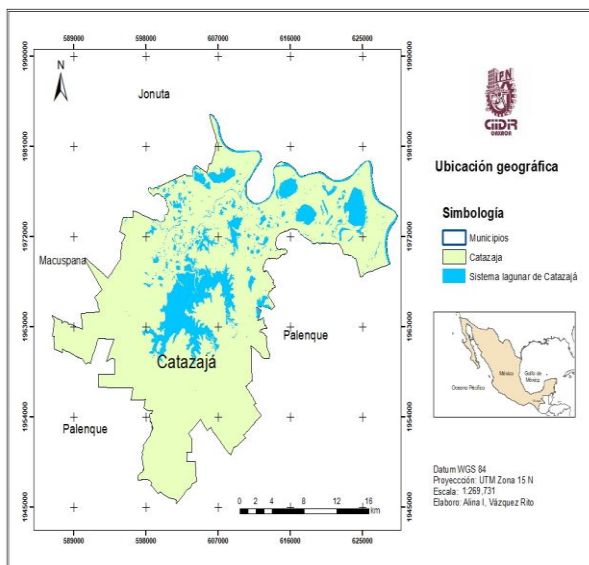


Figura 2. Ubicación geográfica de Catazajá, Chiapas

Fuente: Elaboración propia con base en (INEGI, 2023)

2.2 Recursos de Información

- Imágenes *RapidEye* del mapa de CUSV del proyecto MadMex (CONABIO, 2015).

- Dos imágenes Sentinel 2A correspondientes a octubre de 2023 que cubren el municipio de Catazajá (Comisión europea, 2023).
- Información de uso de suelo y vegetación de la serie VII de Catazajá (INEGI, 2023).
- Marco Geoestadístico del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- Carta temática de hidrología superficial y cuerpos de agua (INEGI, 2023).

2.3 Procesamiento de imágenes

Se realizó la búsqueda, selección y descarga de imágenes satelitales del proyecto MadMex de *RapidEye*, se continuó con la clasificación de referencia del área de estudio 2015; enseguida se procedió a la búsqueda y descarga de imágenes satelitales de Sentinel 2A 2023.

Posteriormente, de acuerdo con Niño-Martínez (2020) se procesaron las imágenes con el fin de analizar los CUSV de Catazajá, debido a que el municipio se encuentra justo en donde termina una imagen y empieza otra, se tuvo la necesidad de utilizar dos imágenes Sentinel 2A 2023, como se observa en la Figura 3, cuyas imágenes se procesaron por separado dada la diferencia de reflectancias y se unieron una vez realizada la clasificación.

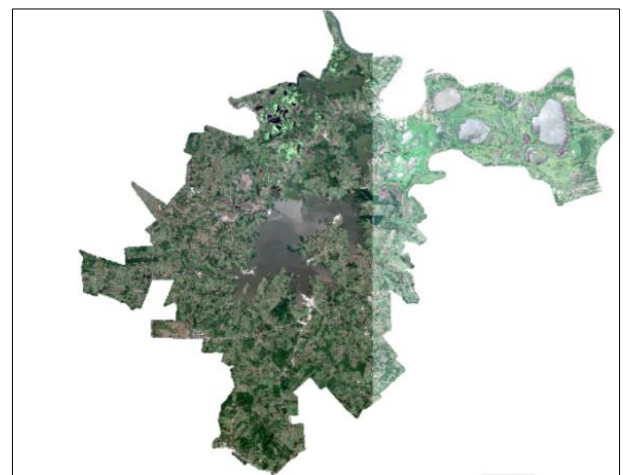


Figura 3. Catazajá Chiapas imágenes de Sentinel 2A 2023.

Fuente: Elaboración propia con base en Comisión europea (2023).

Con respecto, al procesamiento de la información se utilizó el software ArcMap 10.8 para la delimitación y recorte del área de estudio.

En la clasificación supervisada con Sentinel 2A se establecieron puntos de control de usos de suelo y vegetación localizados en el área de estudio, mismos que se observan en la Figuras 4A y 4b. La clasificación utiliza el algoritmo de máxima verosimilitud que estima la probabilidad de que un píxel pertenezca a una determinada clase de acuerdo con la media y los datos de varianza, y covarianza determinada por la ubicación de los puntos de control. Considera seis tipos de uso del suelo y vegetación: Cuerpos de agua, cobertura vegetal, pastizal y agricultura, suelo desnudo, zona de inundación y zona urbana.

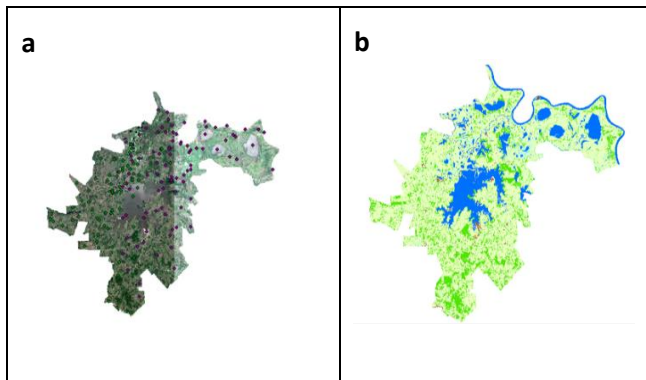


Figura 4. Puntos de control y clasificación de Catazajá Chiapas 2023.

Fuente: Elaboración propia con base en Comisión europea (2023).

2.4 Estimación de superficies

Se descargó la clasificación de Chiapas, de *RapidEye* 2015 y se realizó el corte del municipio de Catazajá con la finalidad de obtener las superficies de uso del suelo y vegetación. Esta última clasificación es más detallada en la categoría de cobertura vegetal ya que ordena por tipo de vegetación como: a) manglar y peten; b) pastizales y otra vegetación herbácea; c) selvas húmedas y d) vegetación acuática menor; a diferencia de la clasificación supervisada realizada en este estudio con imágenes de Sentinel 2A, donde se integran los cuatro tipos de vegetación mencionados arriba en cobertura vegetal.

1. Resultados y discusiones

Como se observa en la Tabla 1, Figuras 5 y 6 de 2015 y 2023 respectivamente, principalmente las superficies de suelos desnudos (incluidos los pastizales), urbanas (incluidas vías de comunicación) y cobertura vegetal registraron una tasa de cambio anual positiva de 185%, 16.89% y 9.68% respectivamente. En cambio, las superficies de

agricultura, cuerpos de agua y de inundación registraron una tasa de cambio anual negativa de -3.37%, -3.19% y -2.59% respectivamente. Diversos estudios han demostrado los efectos negativos de los CUSV sobre los servicios ecosistémicos y componentes del bienestar humano, afectando la disponibilidad de materias primas esenciales para el buen vivir, la salud, así como las relaciones sociales y culturales (SEMARNAT, 2010).

Tabla 1. Cambios de los usos del suelo y vegetación de Catazajá, Chiapas 2015-2023

ID	Clasificación de uso del suelo	Superficie (ha)		Tasa de cambio anual (%)
		2015	2023	
1	Cuerpos de agua	12178.22	9398.15	-3.19
2	Cobertura vegetal	4077.19	8539.48	9.68
3	Agricultura	42075.19	31987.35	-3.37
4	Suelo desnudo y pastizal	1.82	7927.00	185.02
5	Zona de inundación	4078.58	3305.44	-2.59
6	Zona Urbana	504.64	1758.19	16.89
Superficie total		62915.62	62915.62	

Fuente: Elaboración propia con base en CONABIO (2015) y Comisión europea (2023).

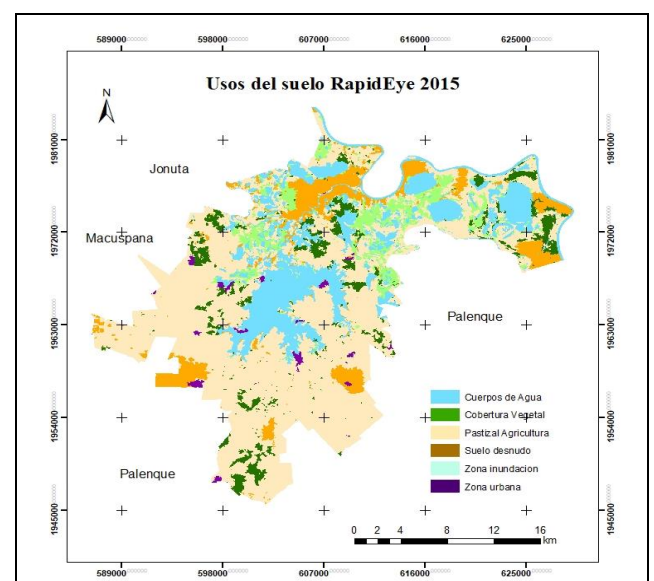


Figura 4. Uso del suelo y vegetación de Catazajá, Chiapas 2015.

Fuente: Elaboración propia con base en CONABIO (2015)

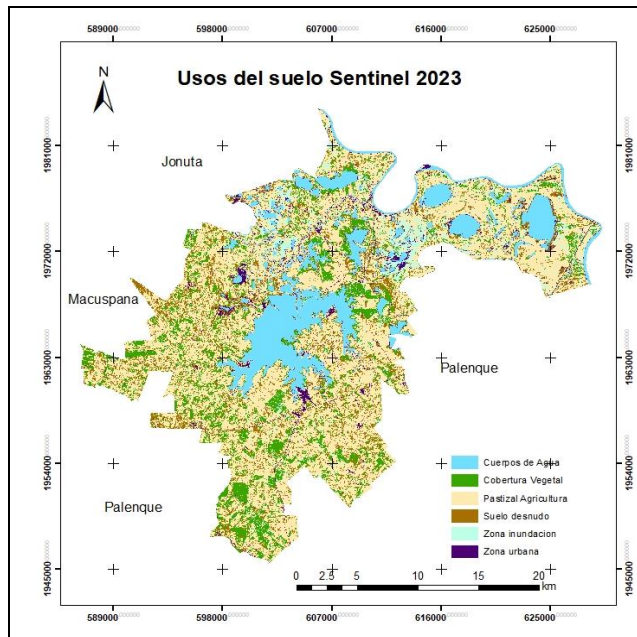


Figura 5 Usos del suelo y vegetación de Catazajá, Chiapas 2023.

Fuente: Elaboración propia con base en Comisión europea (2023).

En 2010 se estima que, el área de pastizal ocupaba 27% del área total del estado (Náfate, 2019). Este estudio encuentra que suelos desnudos y pastizales en Catazajá registraron un incremento significativo, por lo tanto, dicho porcentaje se incrementó en el periodo 2015-2023.

De acuerdo con Caro-Zaldivar (2022) los humedales costeros presentan varias amenazas, una de las principales es la expansión urbana. En México en los últimos 40 años el desarrollo periurbano ha ocasionado la pérdida de 289 hectáreas de humedales en la cuenca del río Grijalba (González-Angarita et al., 2022).

El crecimiento desmedido y desordenado de las zonas urbanas ha sobrepasado los sitios originales de las ciudades abarcando espacios más extensos, ejerciendo una influencia significativa en la estructura y función de los humedales, los múltiples efectos combinados de la urbanización han llevado a la

reducción, alteración y fragmentación de los ecosistemas (Iturraspe et al., 2021).

La disminución de la superficie de agricultura tiene sentido cuando pensamos que diversas zonas en Catazajá se han utilizado para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales y plantaciones de palma para la extracción de aceite (Náfate, 2019).

La disminución de los cuerpos de agua en los humedales son un indicador de la disminución de las lagunas que conforman el complejo lagunar, mismo que tiene un impacto negativo en la flora y fauna de la zona de estudio, ya que estos ecosistemas mantienen una gran diversidad de especies que dependen de la humedad y el agua presente, aunado a ello cabe destacar que los humedales son ecosistemas que de acuerdo con Gibbens (2023) luchan contra el cambio climático, ya que absorben millones de toneladas de carbono cada año y que, de destruirlos pasarían de ser sumideros de carbono a ser fuentes importantes de emisiones de gases de efecto invernadero.

A pesar de los cambios que se observan en el período analizado, los humedales de Catazajá siguen y seguirán siendo parte importante y fundamental de la comunidad, y del ecosistema, ya que este es el principal proveedor de servicios ecosistémicos y la principal fuente de ingresos por las diversas actividades económicas que realizan los pobladores de la comunidad (González-Angarita et al., 2022).

El análisis de CUSV en este estudio, fue útil para determinar las categorías de cobertura con sus pérdidas o ganancias; no obstante, es importante considerar la existencia de variables que inciden en la dinámica de cada categoría, por mencionar algunas: pendiente, relieve, orientación, densidad de población, distancia a carreteras, vías de comunicación, áreas naturales protegidas, etc. (Ramos-Reyes et al., 2021).

En este sentido, los sistemas de monitoreo de ecosistemas se vuelven relevantes, ya que brindan información útil para diagnosticar, evaluar, prevenir y gestionar los servicios ecosistémicos o ambientales que proporcionan los humedales (Contreras-Silva, 2014). Como el complejo lagunar de Catazajá que es una zona sujeta a conservación ecológica dada la riqueza de la biodiversidad biológica que alberga.

5. Conclusiones

Con este trabajo podemos concluir que la técnica de teledetección contribuye significativamente a detectar cambios en las diferentes coberturas de un área específica. En este caso se observó un cambio significativo en el incremento de los suelos desnudos y pastizales, mismos que están asociados a las actividades humanas que generan impactos como el alejamiento de especies, la reducción y el cambio de la cubierta vegetal, asimismo, la disminución de cuerpos de agua afectándose principalmente la zona de humedales. El incremento de las zonas urbanas está asociado al crecimiento demográfico y al desarrollo de zonas urbanas de manera desordenada, así mismo, destaca la disminución de las zonas de agricultura, y una ganancia en la cobertura vegetal siendo este último punto muy favorable para la conservación y mantenimiento de los servicios ecosistémicos. El CUSV desafortunadamente es una actividad que se realiza de manera desmedida, que afecta directamente en este caso a los humedales, y en consecuencia a los servicios ecosistémicos que estos proveen a los seres vivos (Iturraspe et al., 2021).

De igual forma este tipo de análisis sirven como herramientas para la elaboración de instrumentos de gestión y planeación como sistemas de monitoreo, ordenamientos territoriales, evaluaciones rurales participativas, planes de desarrollo municipal, etc., dado que se pueden generar estrategias y acciones que fomenten la sostenibilidad y protección de estos valiosos ecosistemas.

Declaración de consentimiento informado

Se obtuvo el consentimiento informado de todos los sujetos involucrados en el estudio.

Conflictos de interés

No existe ninguna declaración de conflicto de intereses.

Referencias bibliográficas

Balvanera, P., & Cotler, H. (2011). Los servicios ecosistémicos. *Biodiversitas*, 94, 7–11.

Caro-Zaldívar Vda. de Medina, R. R. (2022). Expansión urbana y sostenibilidad de humedales naturales. Caso: Humedales de Villa, Chorrillos, Lima, Perú 2010-2020. *Cátedra Villarreal*, 10(1).
<https://doi.org/10.24039/cv20221011356>

Chuvienco, E. (1995). *Fundamentos de teledetección* (Segunda edición). Ediciones Rialp, S.A.

Comisión europea. (2023). *Copernicus*. Copernicus Browser.
https://browser.dataspace.copernicus.eu/?zoom=11&lat=45.36638&lng=12.49832&themeld=DEFAULT-THEME&visualizationUrl=U2FsdGVkX195xa0o40h6Amzg8IQKNEk0k2p%2BnJpVylVmJYj%2Bxl8s47h0N0hCvTpl%2BMDGxOCFbxtfEoS0vWdJrRcxM7o0W41aDe0IEfySkRTfZtU2CF39pvwHukPwg3h&datasetId=S2_L1C_CDAS&fromTime=2023-02-07T00%3A00%3A00.000Z&toTime=2023-02-07T23%3A59%3A59.999Z&layerId=1_TRUE_COLOR&demSource3D=%22MAPZEN%22&cloudCoverage=10&dateMode=SINGLE

CONABIO. (2015). *Rapid Eye, 2015, Oaxaca*. Descarga de Datos MadMex.
https://monitoreo.conabio.gob.mx/snmb_charts/descarga_datos_madmex.html

CONABIO. (2023). *Sistema de Monitoreo de Humedales en México (SIMOH-Mx)*. Biodiversidad Mexicana.
<https://biodiversidad.gob.mx/monitoreo/simoh-mx>

Contreras-Silva, A. I. (2014). *Análisis de cambios en los humedales del sistema Lagunar Catazajá*.

Díaz-Carrión, I. A., Sedas-Larios, E. E. de J., & Burguillo-Cuesta, M. (2018). *Servicios ecosistémicos en humedales*. GM-Espejo Imagen S.A. de C.V.

Gibbens, S. (2023). *¿Qué son los humedales y por qué son tan importantes para la vida en la Tierra?* National Geographic.
<https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/que-son-los-humedales-y-por-que-son-tan-importantes-para-la-vida-en-la-tierra>

González-Angarita, G., Henríquez, C., Peña-Angulo, D., Castro-Álvarez, D., & Forero-Buitrago, G. (2022). Técnicas de análisis geomático en la pérdida de humedales urbanos en Bogotá.

- ¿Qué rol juegan los asentamientos? *Revista de Geografía Norte Grande*, 81, 207–233.
- INEGI. (2023). *Geografía y medio ambiente*. Marco Geoestadístico.
<https://www.inegi.org.mx/temas/mg/#descargas>
- Iturraspe, R. J., Fank, L., Urciuolo, A. B., & Lofiego, R. (2021). Efectos del crecimiento urbano sobre humedales costero-continentales del ambiente semiárido de Tierra del Fuego, Argentina. *Investigaciones Geográficas*, 75, 139–165.
<https://doi.org/10.14198/INGEO.17586>
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). (2005). *Ecosystems and human well-being : synthesis*. Island Press.
- National Geographic. (s. f.). *¿Qué son los humedales y por qué son tan importantes para la vida en la Tierra?* Recuperado de <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/que-son-los-humedales-y-por-que-son-tan-importantes-para-la-vida-en-la-tierra>
- Náfate, E. (2019). “Desierto” verde en Chiapas; siembra de palma africana. *El Heraldo de Chiapas*.
<https://www.elheraldodechiapas.com.mx/local/desierto-verde-en-chiapas-siembra-de-palma-africana-3702039.html>
- Niño-Martínez, Y. M. (2020). *Análisis multitemporal mediante imágenes de sensores remotos para la determinación de los cambios de uso de suelo en el municipio de San Francisco de Sales, Cundinamarca (Colombia) entre los años 90’s y 2018*. [Tesis de Maestría]. Universidad de la Plata, Buenos Aires, Argentina.
- Ramos-Reyes, R., Palomeque-de la Cruz, M. Á., Megía-Vera, H. J., & Landeros-Pascual, D. (2021). Modelo del cambio de uso de suelo en el sistema lagunar Carmen-Pajonal-Machona, México. *Terra Latinoamericana*, 39.
<https://doi.org/10.28940/TERRA.V39I0.587>
- Ramsar. (2007). *Documento informativo Ramsar No. 1 ¿Qué son los humedales?* www.ramsar.org
- Ramsar. (2015). *Estado de los humedales del mundo y de los servicios que prestan a las personas: una recopilación de análisis recientes*.
<https://www.ramsar.org/es/dia-mundial-de-los-humedales-2023>
- Secretaría de Medio Ambiente y Vivienda. (2010). *Programa de manejo de la zona sujeta a conservación ecológica “sistema lagunar Catazajá.”*
- SEMARNAT. (2010). *Diagnóstico de los humedales de México*. Recuperado de <https://www.semarnat.gob.mx>
- SEMARNAT. (2012). *Los humedales en México. Oportunidades para la sociedad* (Primera edición).
- UICN. (2017). *Servicios ecosistémicos, haciendo posible la vida*. Servicios Ecosistémicos.
<https://parquesnacionalesdelparaguay.blogspot.com/2017/11/servicios-ecosistemicos-haciendo.html>