

**DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD**

**DEPARTAMENTO EL HOMBRE Y SU AMBIENTE**

**LICENCIATURA EN BIOLOGÍA**

**INFORME DE CONCLUSIÓN DE SERVICIO SOCIAL  
POR ACTIVIDADES VINCULADAS CON LA PROFESIÓN**

**Uso de Sensores Remotos para el Conocimiento y  
Monitoreo de los Ecosistemas de Manglar**

**QUE PRESENTA LA ALUMNA**

**Cecilia Gabriela Cervantes Rodríguez**

**Matrícula: 2203059538**

**ASESORES**

**Mtro. en SIG. Iván Ernesto Roldán Aragón**

**Depto. El Hombre y su Ambiente**

**No. Eco. 22489**

**Mtro. en A. E. G. José Alberto Alcántara Maya**

**Subsecretaría de política ambiental y recursos naturales asignado a CONABIO**

**Cédula profesional: 13240957**

**Ciudad de México**

**junio 2025**

## **Resumen**

La realización del servicio social en el presente proyecto permitió la generación de datos clave para la identificación de áreas de degradación en el ecosistema de manglar y cambios en su cobertura vegetal, haciendo posible el desarrollo de estrategias de manejo basadas en datos precisos y asegurando que los recursos naturales se utilicen de manera sostenible. Además, este análisis de datos sigue contribuyendo al acervo científico, coadyuvando en futuras investigaciones y políticas de conservación que continúen aportando información en los procesos normativos que se han dado en los últimos años en nuestro país. Las actividades realizadas comprenden tres fases: 1. Organización de datos e información para el análisis con sensores remotos, 2. Generación de cartografía y 3. Elaboración de metadatos de cartografía y sensores remotos. Éstas, con el objetivo de identificar cambios en el ecosistema de manglar de tres Áreas Naturales Protegidas Federales, ubicadas en Baja California Sur (Bahía Magdalena), Nayarit (Marismas Nacionales) y Yucatán (Ría Lagartos). Los insumos principales fueron imágenes satelitales Sentinel-2, que fueron procesadas en programas como SNAP, QGIS y RStudio para la obtención de variables biofísicas como el índice de área foliar (LAI), el índice de fracción de la radiación solar absorbida por la vegetación (FPAR) y la fracción de cobertura vegetal (FVC). Así mismo, en el marco de la actualización del mapa de Manglares 2025 que realiza la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), se generó la actualización correspondiente al estado de Jalisco. Además, con los datos generados fue posible llevar a cabo un análisis más exhaustivo para el monitoreo de la vegetación en Marismas Nacionales, Nayarit, utilizando compuestos mensuales del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), con la finalidad de realizar una serie de tiempo que comprende los años de 2019 a 2024. Con la plataforma Tools for Analyzing Time Series of Satellite Imagery (TATSSI) generada por la Coordinación de Sistemas, Monitoreo e Información Geoespacial de la CONABIO, fue posible realizar un análisis de tendencias de estos compuestos mensuales utilizando el método de Mann-Kendall, del cual se obtuvieron tres productos principalmente (estadístico Z, prueba de hipótesis y p-value) y un mapa en el que se muestran las tendencias positivas y negativas.

**Palabras clave:** manglares, sensores remotos, imágenes satelitales, monitoreo, índices espectrales

## Índice

<b>Introducción</b> .....	4
Lugar donde se realizó el Servicio Social .....	5
Marco Institucional .....	5
Objetivo de las actividades realizadas .....	5
<b>Descripción específica de las actividades desarrolladas</b> .....	6
Organización de datos e información para el análisis con sensores remotos .....	6
Generación de cartografía .....	8
Elaboración de metadatos de cartografía y sensores remotos .....	10
<b>Descripción del vínculo de las actividades desarrolladas con los objetivos de formación del plan de estudios</b> .....	11
<b>Conocimientos/habilidades adquiridas</b> .....	12
Propuesta de modelo semiautomatizado para cálculo de variables biofísicas en SNAP .....	12
Series de tiempo .....	13
<b>Bibliografía</b> .....	17

## Introducción

Los manglares son ecosistemas dinámicos, dominados por especies vegetales arbóreas o arbustivas denominadas mangles y se caracterizan por encontrarse en las zonas costeras de los trópicos y subtropicos de todo el mundo; en México, éstos se encuentran en el litoral Atlántico y Pacífico. Entre los países que destacan por tener una mayor superficie de manglar se encuentra México, cuya área es de 9 051 km<sup>2</sup> y cuenta con seis especies y una variedad: *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Conocarpus erectus*, *Conocarpus erectus* var. *sericeus*, *Laguncularia racemosa*, *Avicennia bicolor* y *Rhizophora harrisonii*, encontrándose estas dos últimas sólo en zonas limitadas de las costas de Chiapas (Velázquez-Salazar et al., 2021).

Estos ecosistemas son de suma importancia dado que proveen gran variedad de servicios ecosistémicos (de regulación, soporte, provisión y culturales) tales como: el control de inundaciones, protección contra huracanes, captura de gases de efecto invernadero, fuente de nutrientes para ecosistemas vecinos como arrecifes de coral, hábitat, refugio y protección de diversas especies, entre éstas, muchas de importancia pesquera (FAO, 2007; Carvajal-Osesa et al., 2019; Velázquez-Salazar et al., 2021). Sin embargo, también son altamente vulnerables a los cambios globales ya que dependen de condiciones hidrológicas específicas, siendo así fácilmente alterables. En los últimos años, los manglares han sido afectados por diferentes impulsores de cambio como las sequías, cambios en el nivel medio del mar, la explotación para la producción de madera y materias primas, la expansión de la frontera urbana, entre otros (Thomas et al., 2017; Goldberg et al., 2020; Velázquez-Salazar et al., 2021). En consecuencia, durante las últimas dos décadas el monitoreo de manglares ha tomado mayor relevancia para su conservación y protección y, ante esa necesidad, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), en colaboración con diversas instituciones y organizaciones inició en 2005 el Sistema de Monitoreo de los Manglares de México (SMMM).

El monitoreo de los manglares a través del uso de sensores remotos ha permitido comprender la distribución espacial de estos ecosistemas, así como sus tasas de cambio a lo largo del tiempo, permitiendo la obtención de información actualizada de los manglares a nivel global

(Goldberg et al., 2020). La CONABIO se ha encargado de generar información acerca de la distribución, extensión, patrones de cambio y amenazas existentes en los manglares, resaltando la importancia de la conservación y protección de éstos, utilizando métodos sistemáticos y diferentes variables que son capaces de medir condiciones clave para describir el estado de los manglares (Valderrama-Landeros et al., 2017; Velázquez-Salazar et al., 2021).

### **Lugar donde se realizó el Servicio Social**

Las actividades presentadas para la acreditación del servicio social se llevaron a cabo en la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), ubicada en Liga Periférico-Insurgentes Sur 4903, Parques del Pedregal Delegación Tlalpan, Ciudad de México, 14010. Organismo público descentralizado sectorizado a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

### **Marco Institucional. Misión y visión de la institución. Compromiso social**

La CONABIO tiene como misión promover, coordinar, apoyar y realizar actividades dirigidas al conocimiento de la diversidad biológica, así como a su conservación y uso sustentable para beneficio de la sociedad. Su visión, por otro lado, consiste en ser una organización innovadora y de vanguardia que genere e integre datos, información y conocimientos de calidad sobre biodiversidad mediante procesos eficientes, a fin de contribuir a la toma de decisiones y el establecimiento de políticas para conservar la biodiversidad y usarla sustentablemente (CONABIO, 2020).

### **Objetivo de las actividades realizadas**

Identificar cambios en el ecosistema de manglar a través de la evaluación periódica de su distribución espacial y condición de sus atributos naturales y sociales, de tal forma que la información generada apoye a la conservación y manejo del ecosistema de manglar.

## **Descripción específica de las actividades desarrolladas**

Las actividades que se desarrollaron en la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) dentro del Sistema de Monitoreo de los Manglares de México (SMMM), de la Coordinación de Sistemas, Monitoreo e Información Geoespacial, son las siguientes:

### 1) Organización de datos e información para el análisis con sensores remotos

Se descargaron y organizaron datos multiespectrales de imágenes Sentinel-2 en diferentes Áreas Naturales Protegidas Federales, ubicadas en Baja California Sur (Bahía Magdalena), Nayarit (Marismas Nacionales) y Yucatán (Ría Lagartos). Las descargas se realizaron en Copernicus Browser con nivel de procesamiento 2A y comprenden diferentes años entre 2019 a 2024. El nivel de procesamiento proporciona imágenes de reflectancias ortorectificadas Bottom-of-Atmosphere (BOA) lo que significa que se ha corregido la influencia de la atmósfera, modificando los valores de píxel, dando como resultado imágenes más nítidas y claras, representando la reflectancia real de la superficie de la Tierra (Niño y Castro, 2020). Cuando sólo había disponibilidad de imágenes en nivel de procesamiento 1C, era necesario realizar la corrección a nivel 2A en el programa SNAP (Sentinel Application Platform), que es una herramienta de software gratuita de la Agencia Espacial Europea (ESA) diseñada para procesar y analizar imágenes satelitales. Así mismo, se utilizó Sen2cor, un complemento que permite aplicar la corrección atmosférica; éste se encuentra disponible como un plugin en SNAP. Sen2cor<sup>1</sup> consiste en el análisis de la imagen para determinar variables de interés en la corrección atmosférica, por ejemplo, puede remover neblina ligera, hacer la conversión de reflectancia y la reducción de los efectos topográficos (Urrego et al., 2020).

A partir de las imágenes Sentinel-2 en el nivel 2A, se estimaron tres variables (Figura 1): el índice de área foliar (LAI), el índice de fracción de la radiación solar absorbida por la vegetación (FPAR) y la fracción de cobertura vegetal (FVC). Estas variables permiten obtener información para diferenciar coberturas de suelo y detectar cambios a través de series

---

<sup>1</sup> <https://step.esa.int/main/snap-supported-plugins/sen2cor/>

de tiempo en los ecosistemas. Se remuestrearon a 10 m todas las bandas (Figura 2), se recortaron a la extensión de interés y se estimaron las variables, (Figura 3).

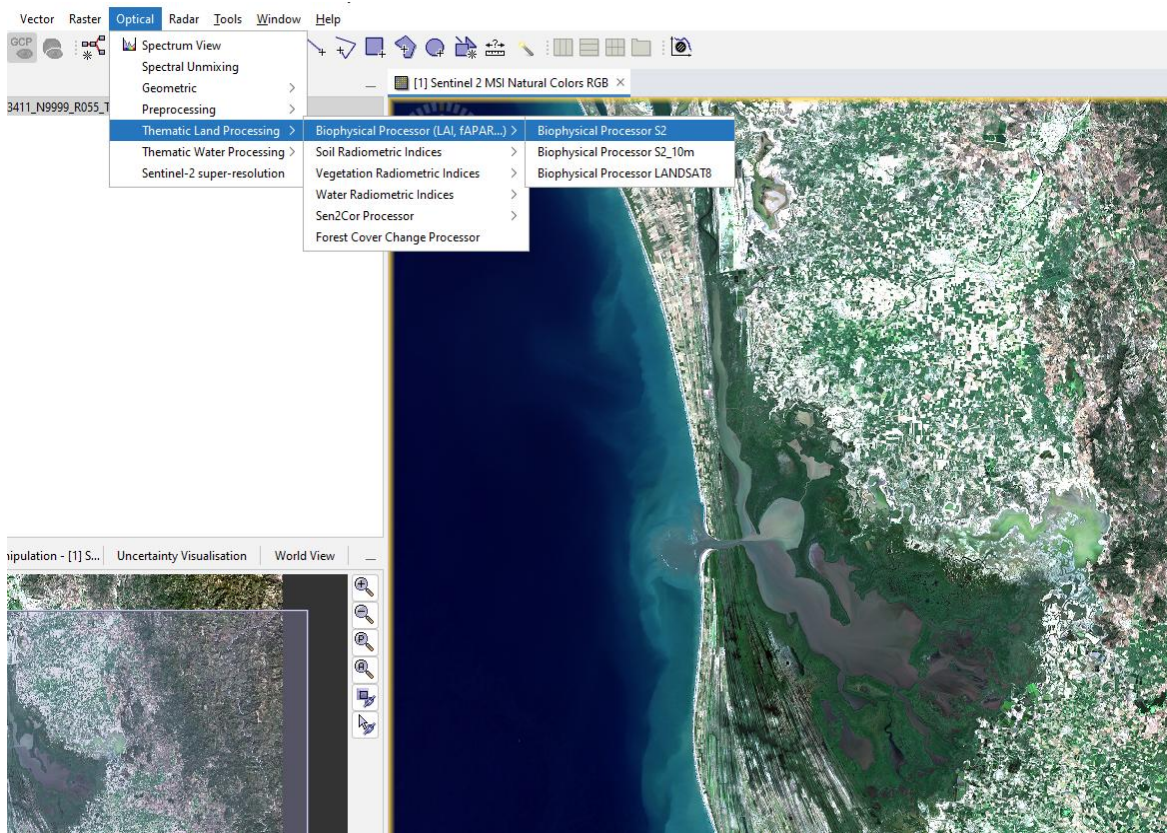


Figura 1. Estimación de variables biofísicas de Marismas Nacionales, Nayarit en el programa SNAP.

	SENTINEL 2	
	Longitud de onda ( $\mu\text{m}$ )	Resolución (m)
<b>Banda 1 - Aerosol</b>	0,43 - 0,45	60
<b>Banda 2 - Blue</b>	0,45 - 0,52	10
<b>Banda 3 - Green</b>	0,54 - 0,57	10
<b>Banda 4 - Red</b>	0,65 - 0,68	10
<b>Banda 5 - Red edge 1</b>	0,69 - 0,71	20
<b>Banda 6 - Red edge 2</b>	0,73 - 0,74	20
<b>Banda 7 - Red edge 3</b>	0,77 - 0,79	20
<b>Banda 8 - Near Infrared (NIR) 1</b>	0,78 - 0,90	10
<b>Banda 8A - Near Infrared (NIR) 2</b>	0,85 - 0,87	20
<b>Banda 9 - Water vapour</b>	0,93 - 0,95	60
<b>Banda 10 - Cirrus</b>	1,36 - 1,39	60
<b>Banda 11 - SWIR 1</b>	1,56 - 1,65	20
<b>Banda 12 - SWIR 2</b>	2,10 - 2,28	20

Figura 2. Bandas de las imágenes Sentinel-2 con su longitud de onda y resolución.

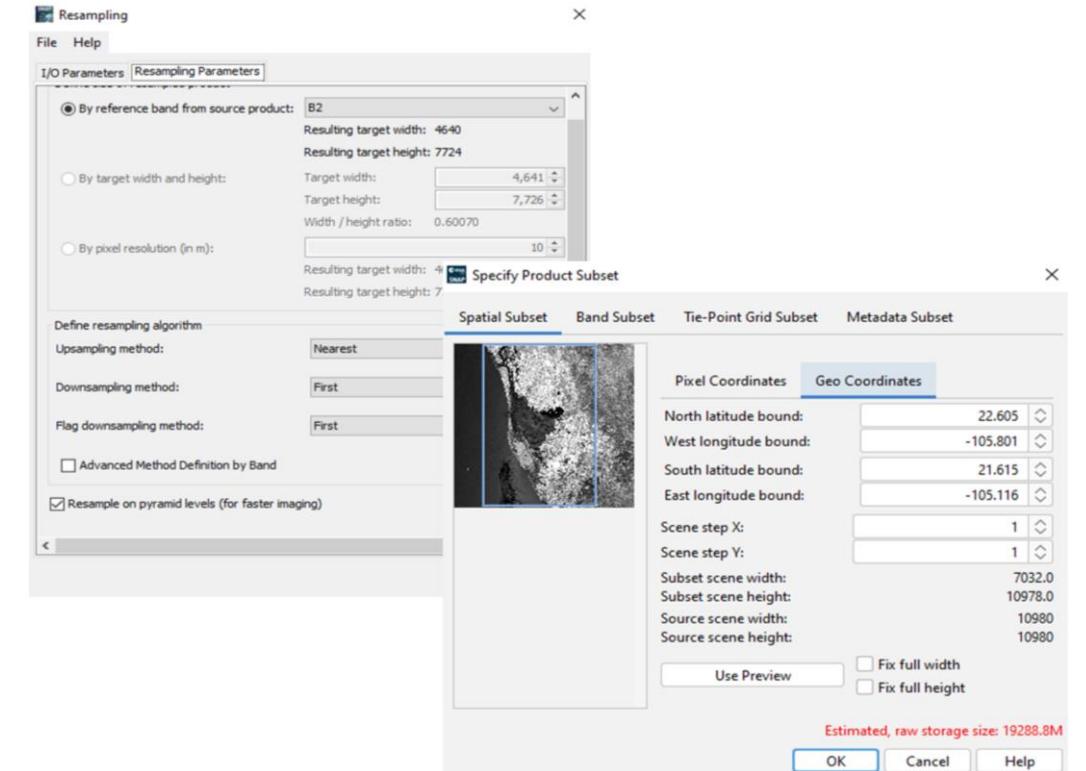


Figura 3. Proceso de remuestreo y recorte de la extensión de interés en el programa SNAP.

## 2) Generación de cartografía

La cartografía que se generó corresponde a la actualización del mapa de Manglares 2025 que se realiza cada cinco años en el Sistema de Monitoreo de Manglares de México. El proceso para la generación de este mapa consiste en la descarga, pre procesamiento y procesamiento de imágenes Sentinel-2. Se descargaron imágenes del estado de Jalisco en Copernicus Browser, delimitando los polígonos a la extensión de manglares existentes y utilizando como parámetro un porcentaje de nubosidad menor al 5%, así mismo, se dio preferencia a imágenes que estuvieran en el nivel de procesamiento 2A, en caso de sólo haber disponibilidad en el nivel 1C, se realizó la corrección en SNAP. Una vez que las imágenes fueron corregidas, se revisó su correcta georreferenciación utilizando las imágenes del año 2020 del estado de Jalisco, esta revisión se realizó en ArcMap ver 10.80.3 utilizando el plugin Map Swipe Tool, el cual permite comparar imágenes sobrepuestas y verificar que no exista un desplazamiento entre éstas.

Posterior al pre procesamiento de las imágenes, se realizó la actualización de las coberturas correspondientes al mapa de Manglares de CONABIO en el programa QGIS, con las siguientes clases: 1. Desarrollo antrópico (morado), 2. Agrícola-Pecuaria (amarillo), 3. Otra vegetación (verde), 4. Sin vegetación (gris), 5. Manglar (rojo), 6. Manglar perturbado (anaranjado), 7. Otros humedales (azul claro) y 8. Cuerpos de agua (azul fuerte). Se utilizaron las siguientes capas: imagen Sentinel-2 del año 2020 del estado de Jalisco, imagen Sentinel-2 del año 2025 de Jalisco y la capa de cobertura del estado de Jalisco. Se utilizó el plugin ThRasE<sup>2</sup> (Thematic Raster Editor) el cual permite modificar múltiples clases simultáneamente mediante herramientas como líneas, polígonos o dibujo a mano alzada, se cargaron las capas antes mencionadas y se fueron detectando los cambios de cualquier cobertura entre el mapa 2020 y 2025, (Figura 4).

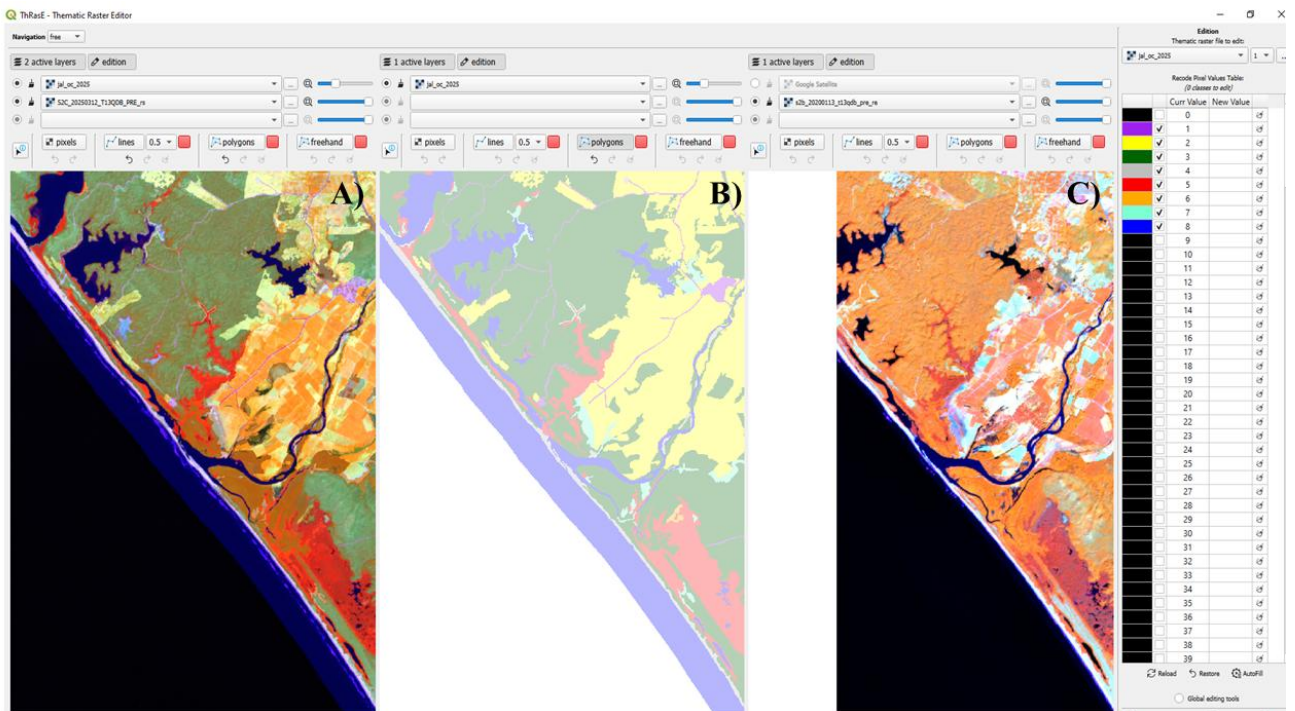


Figura 4. Actualización del mapa de Manglares 2025 en QGIS utilizando el plugin ThRasE. A) Capa de coberturas del estado de Jalisco y capa de imagen Sentinel-2, 2025 de Jalisco sobre la cual se hace la actualización. B) Capa de coberturas del estado de Jalisco que funciona como referencia visual y C) Capa de imagen Sentinel-2, 2020 de Jalisco para comparar y detectar los cambios en la cobertura al año 2025.

<sup>2</sup> <https://smbyc.github.io/ThRasE/>

### 3) Elaboración de metadatos de cartografía y sensores remotos

En el programa Access se elaboraron los metadatos correspondientes al estadístico Z y las tendencias calculadas a partir de la prueba Man-Kendall test en Marismas Nacionales, Nayarit, usando el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), de los años 2019 a 2024, (Figura 5).

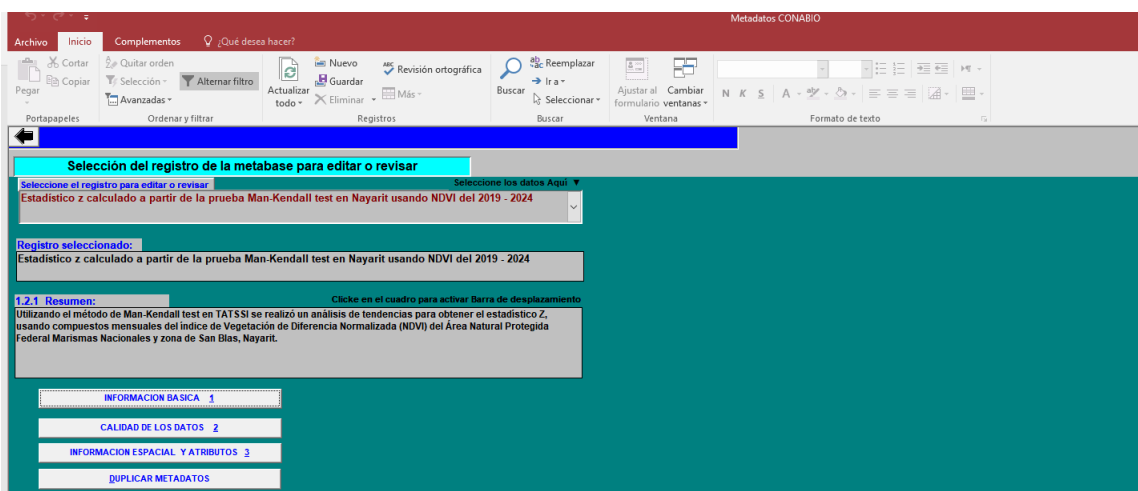


Figura 5. Interfaz de la base de datos en Access para metadatos del estadístico Z y las tendencias.

La elaboración de metadatos consistió en tres fases: 1. Información básica, en donde se indicaron datos generales del archivo elegido, como su lugar de publicación, la escala, un resumen, los objetivos, el tamaño del dato geoespacial en MB y el formato del dato geoespacial. Así mismo, se indicó la ubicación geográfica agragando el estado correspondiente y las coordenadas del área de estudio. 2. Calidad de los datos, indicando la metodología utilizada así como la descripción por pasos del proceso. También se agragaron los datos originales de referencia, adjuntando el vínculo al recurso en línea e indicando qué información se obtuvo de dicho recurso y 3. Información espacial y atributos, en este apartado se llenaron los datos espaciales como la estructura del dato, es decir, si se trataba de un archivo raster o un vector, el tipo del dato, el número total del dato y la estructura del raster (longitud, latitud, tamaño del píxel, etc.), finalmente, se agregó la proyección cartográfica del sitio. En la Figura 6 se muestra la interfaz de las tres fases descritas para los metadatos correspondientes al estadístico Z.

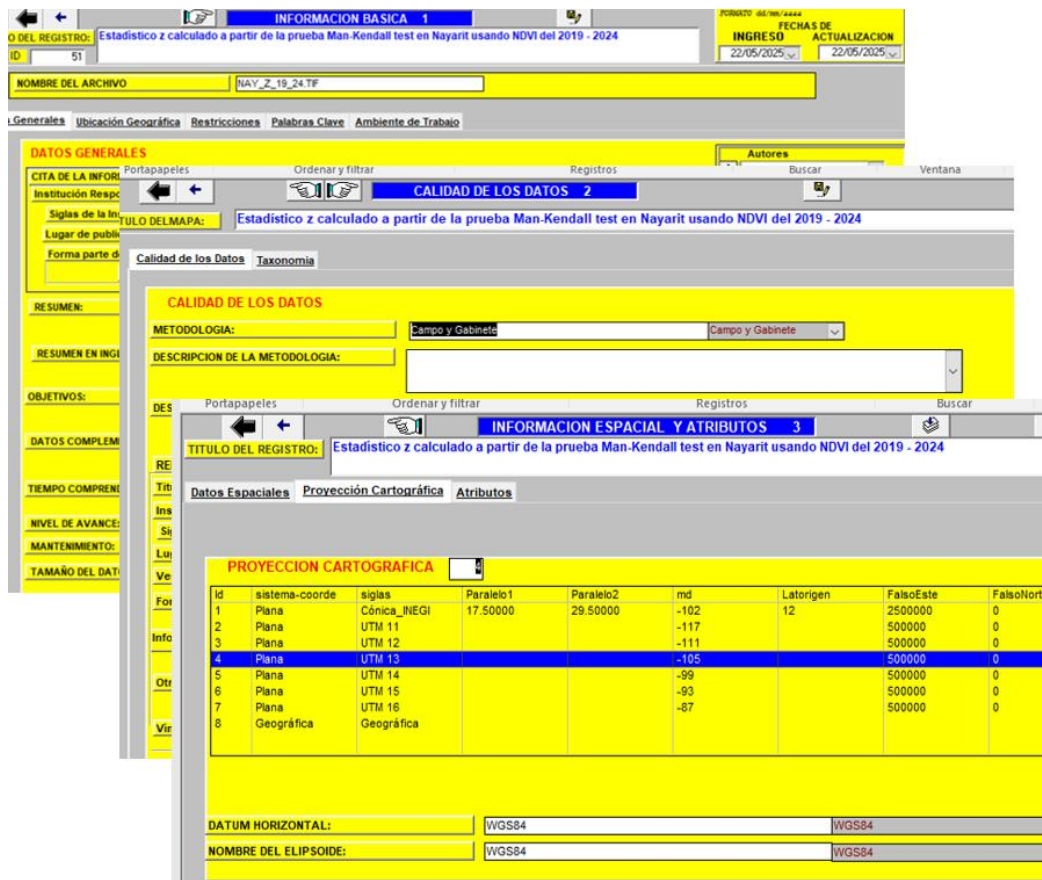


Figura 6. Fases de la generación de metadatos correspondientes al estadístico Z en Access.

## Descripción del vínculo de las actividades desarrolladas con los objetivos de formación del plan de estudios

El monitoreo sistemático de la extensión cambiante de los manglares a través del uso de sensores remotos brinda una oportunidad para generar una base de información, sobre la cual es posible obtener conocimientos sólidos acerca de la distribución de estos ecosistemas y de este modo, establecer estrategias de manejo específicas que afronten las amenazas existentes en estos ecosistemas y permitan la continuidad de los mismos, asegurando la provisión de los servicios ecosistémicos que son sustento vital de diferentes comunidades (Veneros et al., 2020; Perea-Ardila et al., 2021).

Es así que la realización del servicio social en el proyecto “Uso de Sensores Remotos para el Conocimiento y Monitoreo de los Ecosistemas de Manglar” permite generar datos clave para

identificar áreas de degradación y cambios en la cobertura vegetal, lo que hace posible que las comunidades y autoridades implementen medidas de conservación efectivas. Así mismo, desarrollar estrategias de manejo basadas en datos precisos ayuda a asegurar que los recursos naturales se utilicen de manera sostenible, beneficiando a las comunidades locales que dependen de éstos. Además, este análisis de datos contribuye al acervo científico, coadyuvando en futuras investigaciones y políticas de conservación que continúen contribuyendo en los procesos normativos que se han dado en los últimos años, los cuales han traído como resultado esfuerzos para someter a discusión la inclusión de las especies *Rhizophora harrisonii* y *Avicennia bicolor* en la NOM-059-SEMARNAT-2010 para asignarlas a alguna categoría en la norma (Valderrama-Landeros et al., 2017).

En consecuencia, el conjunto de las actividades desarrolladas se integra en un proceso multidisciplinario que permite abordar los desafíos del manejo del ecosistema de manglar, desarrollando y evaluando estrategias de manejo de recursos naturales, y generando información que apoye a la conservación del ecosistema, lo que fomenta el pensamiento crítico. A su vez, el uso de nuevas tecnologías contribuye al desarrollo de competencias técnicas y conocimientos que aportan al manejo sostenible de los recursos naturales.

### **Conocimientos/habilidades adquiridas**

- Propuesta de modelo semiautomatizado para cálculo de variables biofísicas en SNAP

Como parte del servicio social, se propuso un modelo semiautomatizado en el programa SNAP (Figura 7), utilizando la opción GraphBuilder, ligando la cadena de procesos que consisten en 1. La lectura de la imagen de entrada, en este caso una imagen Sentinel-2 en nivel 2A, 2. El remuestreo del tamaño de píxel de cada banda a 10 metros utilizando de referencia las dimensiones de la banda 2, 3. Cálculo de variables biofísicas y 4. Exportación del producto final en formato TIF. Este modelo permite optimizar las rutinas de procesamiento reduciendo el tiempo de generación de las variables biofísicas por cada escena Sentinel-2.

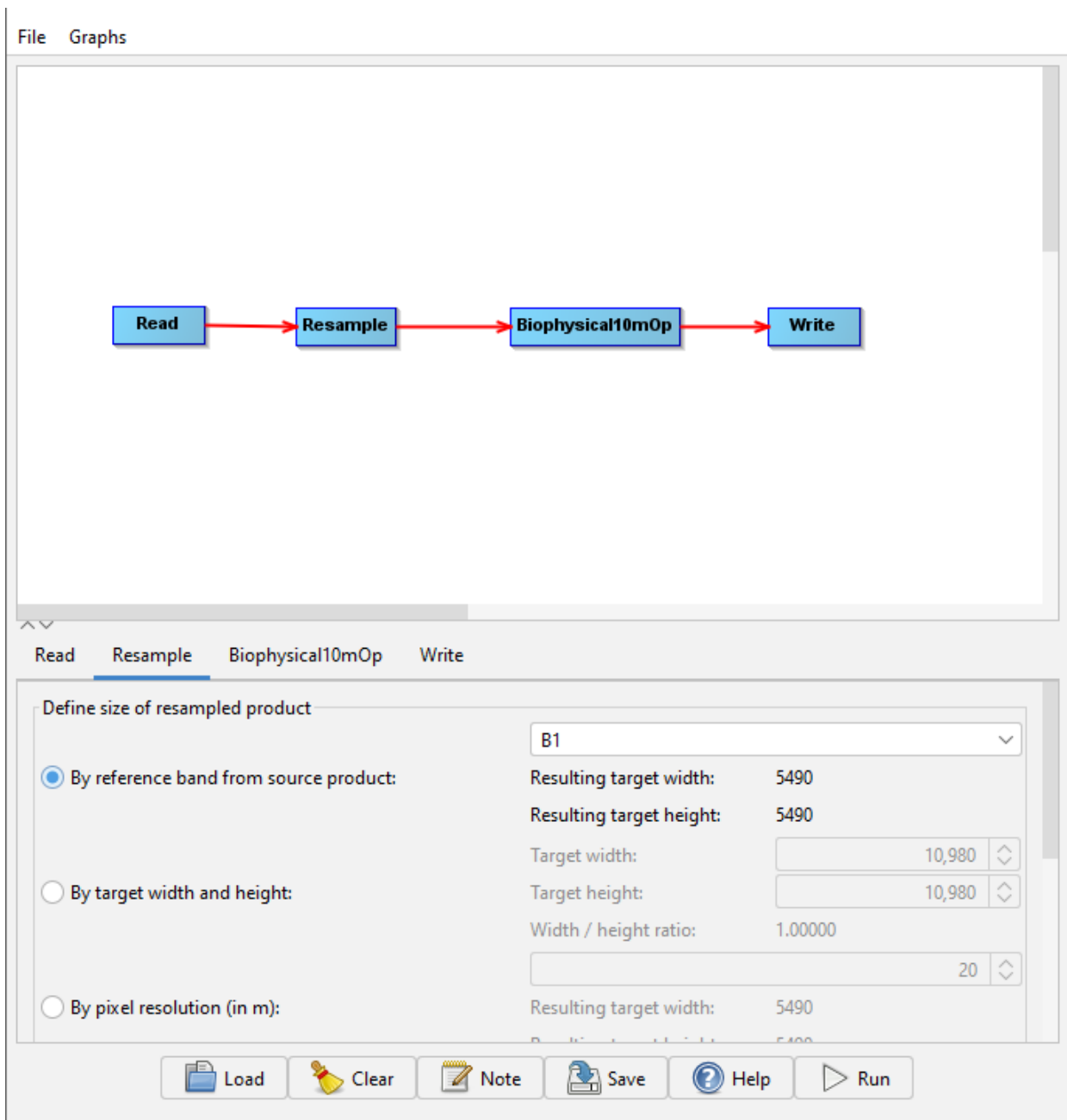


Figura 7. Modelo semiautomatizado en SNAP para cálculo de variables biofísicas.

- Series de tiempo

Se utilizaron compuestos mensuales del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) del Área Natural Protegida Marismas Nacionales y de la zona de San Blas, Nayarit, de la colección de imágenes Armonizada Copernicus Sentinel-2 generados en la plataforma Google Earth Engine (GEE) para un periodo que comprende desde enero de 2019 a diciembre

de 2024. Se utilizaron filtros de nubes y cirrus iguales o menores al 15%, con la finalidad de realizar una serie temporal mensual de NDVI, para lo cual se utilizó la siguiente fórmula (1):

$$NDVI = \left( \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \right) \quad (1)$$

Donde NIR y RED representan las bandas del infrarrojo cercano y rojo, en las escenas Sentinel-2 éstas corresponden a las bandas 8 y 4, respectivamente. Para generar el compuesto mensual de NDVI se utilizó el valor máximo del índice como reductor.

Para generar una capa y delimitar el área de interés (AOI) se realizó una máscara de la cobertura de manglar y manglar perturbado de los años 2015 y 2020 generada por la CONABIO (CONABIO, 2016; CONABIO, 2021) estas coberturas se interceptaron entre sí y a la capa resultante se le aplicó un buffer de 10 m con el fin de asegurar un margen de error de 1 píxel.

Posteriormente, para obtener un análisis estadístico de tendencias, los datos se procesaron en el programa RStudio, en donde se realizó un mosaico para unir los ráster de cada año debido a que Google Earth Engine los separó en bloques (chunks), es decir, fragmentos en los que se dividen las imágenes. Así mismo, se aplicó una máscara para estos mosaicos anuales en función del AOI generado previamente. Este pre procesamiento facilitó la lectura del set de datos en la herramienta Tools for Analyzing Time Series of Satellite Imagery (TATSSI) que es una plataforma creada por el Dr. Inder Tecuapetla que pertenece a la Coordinación de Sistemas, Monitoreo e Información Geoespacial de la CONABIO (Tecuapetla-Gómez et al., 2021). Escrita en el lenguaje de programación Python y de código abierto, la plataforma TATSSI permite la generación, llenado de huecos, suavización, análisis y exportación de series de tiempo (Tecuapetla-Gómez et al., 2023).

En TATSSI se realizó el análisis de tendencias, utilizando el método de Man-Kendall test, el cual se aplicó a la serie de tiempo de los compuestos mensuales de NDVI para determinar la presencia de tendencias estadísticamente significativas, ya sea positivas o negativas. Este estadístico obedece al coeficiente de correlación de rangos conocidos como T de Kendall.

S es el estadístico de Kendall y se obtiene de la siguiente forma:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^m \text{sing}(x_i - x_j); \text{sing}(x_i - x_j) = \begin{cases} 1 & \text{if } x_i - x_j > 0 \\ 0 & \text{if } x_i - x_j = 0 \\ -1 & \text{if } x_i - x_j < 0 \end{cases}$$

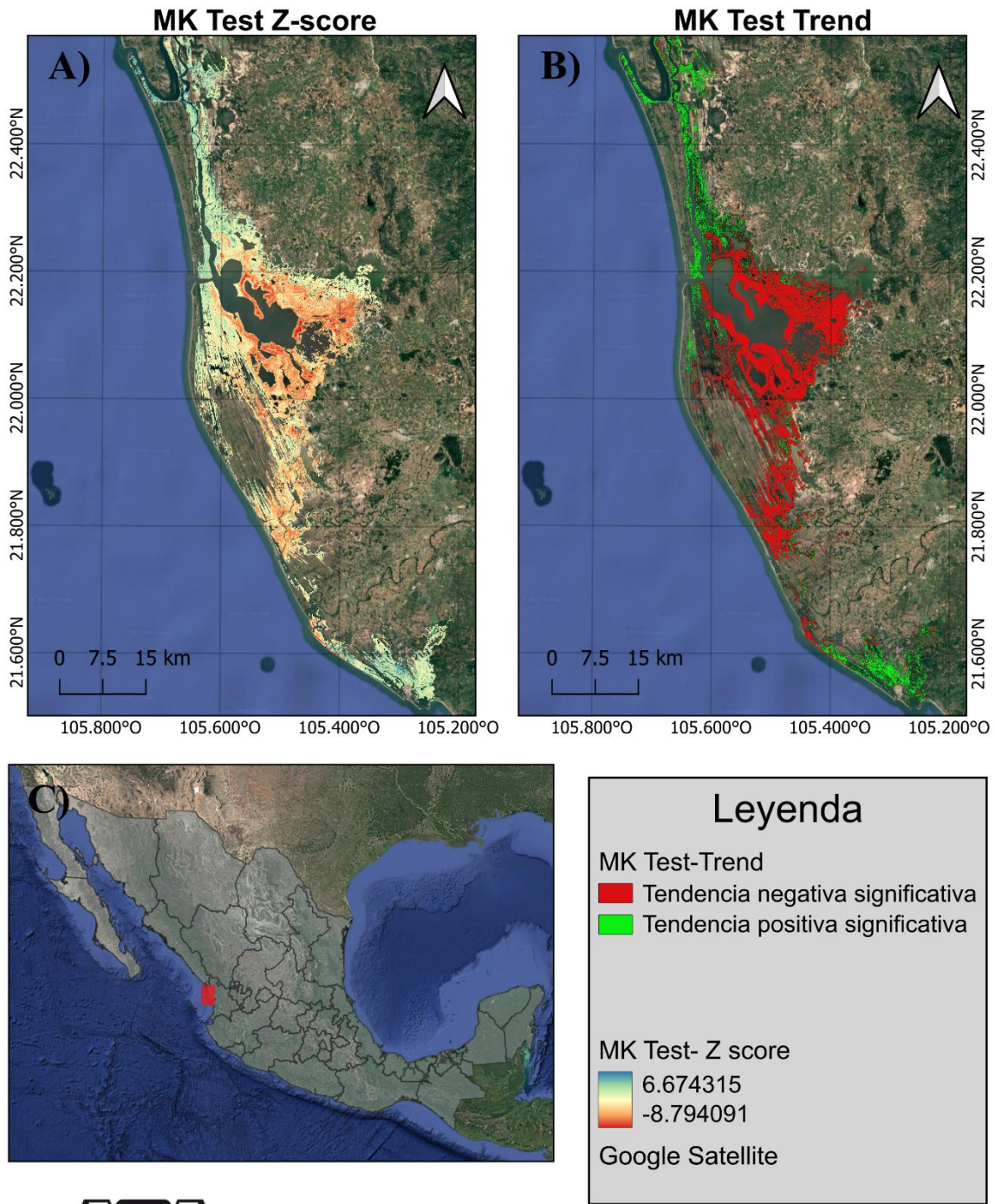
Donde  $x_i$  y  $x_j$  representa el valor de NDVI y  $\text{sing}$  es una función de signo. Después,  $S$  se normaliza con la siguiente fórmula:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sigma} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S-1}{\sigma} & \text{if } S < 0 \end{cases}$$

$$NDVI(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} = \sigma$$

Donde  $Z$  es el estadístico de prueba normalizado. El grado de significancia del 0.05 está representado por el intervalo de  $-1.96 \leq Z \leq 1.96$  que no muestra tendencias significativas. Los valores por debajo de  $-1.96$  indican una tendencia significativamente decreciente, mientras que valores por encima de  $1.96$  sugieren una tendencia significativamente creciente (Tecuapetla-Gómez et al., 2023).

De esta manera, se obtuvieron tres productos principalmente (estadístico  $Z$ , prueba de hipótesis y p-value). En un mapa (donde se muestran las tendencias positivas y negativas) se presentan parte de los resultados (Figura 8).



**CONABIO**  
COMISIÓN NACIONAL PARA  
EL CONOCIMIENTO Y USO  
DE LA BIODIVERSIDAD

Figura 8. Productos del análisis de tendencias de la serie de tiempo NDVI de Marismas Nacionales, Nayarit. A) Man-Kendall Test- Estadístico Z, B) Man-Kendall Test- Tendencias y C) Ubicación geográfica del AOI.

Este análisis se realizó con la finalidad de generar una serie temporal mensual de NDVI del Área Natural Protegida Marismas Nacionales, Nayarit, proporcionando información relevante de los procesos que han ocurrido entre enero de 2019 a diciembre de 2024, para así contribuir a la generación de información acerca de los procesos de recuperación de estos manglares ante diferentes impulsores de cambio, en este caso, al impacto por huracanes. Lo que sienta las bases para un monitoreo continuo del estado de los manglares, detectando cambios abruptos e identificando áreas más afectadas y menos resilientes. De esta manera, es posible comprender la respuesta ecológica ante los huracanes y la capacidad de recuperación de estos ecosistemas.

### **Bibliografía:**

Carvajal-Oses, M., Herrera-Ulloa, Á., Valdés-Rodríguez, B. y Campos-Rodríguez, R. (2019). Manglares y sus Servicios Ecosistémicos: hacia un Desarrollo Sostenible. *Gestión y Ambiente*, 22(2), 277-290. <https://doi.org/10.15446/ga.v22n2.80639>

CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2016). ‘Mapa de uso del suelo y vegetación de la zona costera asociada a los manglares de México en 2015’, escala: 1:50000. Edición: 1. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Sistema de Monitoreo de los Manglares de México (SMMM). Ciudad de México, México. [http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/mx\\_oc2015gw.html](http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/mx_oc2015gw.html)

CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Fondo para la Biodiversidad – Comitemexicanouicn. (2020). <https://comitemexicanouicn.org/conabio/>

CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2021). ‘Mapa de uso del suelo y vegetación de la zona costera asociada a los manglares de México en 2020’, escala: 1:50000. Edición: 1. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Sistema de Monitoreo de los Manglares de México (SMMM). Ciudad de México, México. [http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/mx\\_oc2020gw.html](http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/mx_oc2020gw.html)

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2007). The world’s mangroves 1980—2005, *Forestry Paper* 153.

- Goldberg, L., Lagomasino, D., Thomas, N. y Fatoyoinbo, T. (2020). Global declines in human-driven mangrove loss. *Global Change Biology* 26, 5844–5855.
- Niño, F. y Castro, H. (2020). Integración de imágenes satelitales Sentinel-2 en CDCOL. Proyecto de Grado, Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Depto. Ingeniería de Sistemas y Computación. 4-10. <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstreams/47e95994-5786-47a6-8e60-a36fa1dfdd5e/download>
- Perea-Ardila, M., Leal-Villamil, J. y Oviedo-Barrero, F. (2021). Caracterización espectral y monitoreo de bosques de manglar con Teledetección en el litoral Pacífico colombiano: Bajo Baudó, Chocó. *Ciencias de la Vida*, 34(2), 27-44. <http://doi.org/10.17163/lgr.n34.2021.02>
- Tecuapetla-Gómez, I., López-Saldaña, G., Cruz-López, M. y Ressler, R. (2021). TATSSI: A Free and Open-Source Platform for Analyzing Earth Observation Products with Quality Data Assessment. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 10(4), 267. <https://doi.org/10.3390/ijgi10040267>
- Tecuapetla-Gómez, I., Cuahutle-Cuahutle, M. y Velázquez-Salazar, S. (2023). "Time Series Analyses for Sentinel-2 NDVI on Mangroves in Northwestern Mexico (2016-2022)," *Mexican International Conference on Computer Science (ENC)*, Guanajuato, Guanajuato, Mexico. 1-8, doi: 10.1109/ENC60556.2023.10508601.
- Thomas, N., Lucas, R., Bunting, P., Hardy, A., Rosenqvist, A. y Simard, M. (2017). Distribution and drivers of global mangrove forest change, 1996–2010. *PLoS ONE* 12(6).
- Urrego, P., Nieves, P. y Delegido, J. (2020). Introducción a la teledetección y aplicaciones medioambientales del programa europeo Copernicus. [https://www.copernicus-user-uptake.eu/fileadmin/FPCUP/dateien/resources/2018-2-23/Tutorial\\_Copernicus\\_2020\\_Oporto\\_03.pdf](https://www.copernicus-user-uptake.eu/fileadmin/FPCUP/dateien/resources/2018-2-23/Tutorial_Copernicus_2020_Oporto_03.pdf)
- Valderrama-Landeros L., Rodríguez-Zúñiga M., Troche-Souza C., Velázquez-Salazar, S., Villeda-Chávez, E., Alcántara-Maya, A., Vázquez-Balderas B., Cruz-López I. y Ressler, R. (2017). Manglares de México: actualización y exploración de los datos del

sistema de monitoreo 1970/1980–2015. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, 128.

Velázquez-Salazar S., Rodríguez-Zúñiga M., Alcántara-Maya A., Villeda-Chávez E., Valderrama-Landeros L., Troche-Souza C., Vázquez-Balderas B., Pérez-Espinosa I., Cruz-López I., Ressler R., De la Borbolla G., Paz O., Aguilar-Sierra V., Hruby F. y Muñoa-Coutiño J. (2021). Manglares de México. Actualización y análisis de los datos 2020. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, 168.

Veneros, J., García, L., Morales, E., Gómez, V., Torres, M. y López-Morales, F. (2020). Aplicación de sensores remotos para el análisis de cobertura vegetal y cuerpos de agua. *Idesia (Arica)*, 38(4), 99-107. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292020000400099>

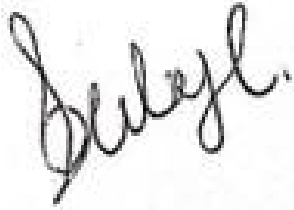
**Visto Bueno:**



Asesor interno: Mtro. En SIG. Iván Ernesto Roldán Aragón. No. Eco. 22489



Asesor externo: Mtro. A. E. G. José Alberto Alcántara Maya. Cédula profesional: 13240957

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Cecilia', written in a cursive style.

Alumna: Cervantes Rodríguez Cecilia Gabriela.