

**Universidad de Puerto Rico**

**Recinto Universitario de Mayagüez**



**Percepción Remota de los Sistemas de Información Geográfica Aplicados a la Biología**

**EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN COSTERA Y PÉRDIDA DE HÁBITAT EN LAS  
COSTAS DE HONDURAS DURANTE 10 AÑOS MEDIANTE SISTEMAS DE  
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y PERCEPCIÓN REMOTA**

**Catedrático:**

Fernando Gilbes, Ph.D.

**Estudiante:**

Gloria Mencia Guevara (502-25-4916)

**Mayagüez, Puerto Rico.**

**15 de diciembre del 2025**

## INTRODUCCIÓN

La erosión costera es un fenómeno natural que se origina por la interacción de los procesos climáticos, meteorológicos, hidrodinámicos y sedimentarios con la morfología costera y con la batimetría del fondo de la zona cercana a la costa, lo que ocasiona un retroceso de la línea de costa. (Aldana et al., 2019) La erosión costera es la pérdida permanente de arena del sistema de dunas de playa y depende en gran medida del tipo de costa (exposición, clima de oleaje, niveles de marejada, composición de los sedimentos, pendiente de la playa, etc.). (Van Rijn, 2011)

La erosión costera es causada por motivos naturales, (Carranza-Edwards 2010) como la erosión de promontorios, (Webb, 2021) huracanes y ciclones, (Barreto et al., 2021) inundaciones, (Medina & Méndez, 2006) Actividad tectónica en márgenes litorales activos, (Carranza-Edwards 2010) deslizamientos submarinos. (Carranza-Edwards 2010) (Alvarado-Hernández, 2009) Por causas antrópicas están: Subsistencia del suelo por extracción de líquidos, represamiento de ríos, modificación de los litorales por la construcción de escolleras en la desembocadura de los ríos y construcción de tuberías en las zonas litorales. (Carranza-Edwards 2010) y por supuesto, la elevación del mar debido al calentamiento global. A partir de la revolución industrial se ha observado un incremento considerable del CO<sup>2</sup> atmosférico, el cual se vuelve exponencial hacia el año 2000. La tendencia de esta curva es similar a la correspondiente al incremento demográfico mundial. El calentamiento global es una realidad incuestionable; incluso cada año el retroceso de los glaciares en Alaska se sigue incrementando. Para muchos investigadores dedicados a las ciencias ambientales, el principal problema ambiental se debe al crecimiento de la población. (Keller, 1996; Montgomery, 1992; Murck et al., 1996)

La zona litoral es un ecosistema frágil, con equilibrios dinámicos fáciles de vulnerar y un espacio multi uso muy demandado por el hombre; en consecuencia, es un recurso escaso que exige un estudio de impacto ambiental. La mejor defensa de una costa es una playa, por ello la conservación, creación y regeneración de playas se pueden considerar, con carácter general, como actuaciones encaminadas hacia el uso sostenible del recurso litoral. (Canteras, 1995)

Honduras está situada en el corazón de América Central, limitada al norte por el mar Caribe, al sur por el Golfo de Fonseca (Océano Pacífico), al oeste con Guatemala y al este con Nicaragua (The Editor, 2025)

Sus playas son extremadamente variadas: en la costa caribeña predominan arenas blancas y aguas cristalinas, muchas de ellas bordeadas por palmeras y arrecifes coralinos, parte del segundo sistema de barrera más grande del mundo. Por otro lado, en la costa del Pacífico (sur del país) algunas playas tienen arena de tonalidad oscura o negra, de origen volcánico. Esta diversidad costera, junto con ecosistemas como manglares, lagunas y arrecifes, hacen de las playas hondureñas destinos muy atractivos para el turismo, el snorkel y el buceo.

El Caribe de Honduras se considera una región biogeográfica especial dado que cuenta con la mayor biodiversidad marina de todo el Atlántico, esto incluye cerca de 70 especies de corales,

3.000 de moluscos, 1.500 de peces marinos, y 5 especies de tortugas marinas, (Fundación Cayos Cochinos, 2008) 172 especies de peces de agua dulce (Matamoros et al., 2009) y aproximadamente 120 especies de peces que habitan en las lagunas costeras (Carrasco et al., 2013). Los manglares ocurren en la costa Caribe, así como en el Golfo de Fonseca en el Pacífico. Las diferentes especies se distribuyen dependiendo de la vertiente (Caribe o Pacífico). (Carrasco & Caviedes, 2014)

Honduras está enfrentando problemas importantes de erosión costera, especialmente en su litoral caribeño. (Smith et al., 2011) Por otro lado, el diagnóstico de los ecosistemas marino-costero y de agua dulce en Honduras señala que los manglares —ecosistemas clave para amortiguar la erosión— están bajo una amenaza “muy alta” debido al cambio climático y a la mala gestión costera. (Sánchez et al., 2014)

Además, un enfoque de política pública para el manejo costero integrado afirma que la combinación de factores como la deforestación, la sedimentación alterada por actividades humanas y el aumento del nivel del mar exacerba la pérdida de sedimentación natural, lo que hace más difícil mantener la línea de costa estable. (Sánchez et al., 2014)

La percepción remota consiste en la recolección de datos sobre la superficie terrestre mediante sensores a distancia, como satélites o drones, sin contacto físico directo. Estos sensores captan información en distintas longitudes de onda, lo que permite distinguir entre agua, tierra, vegetación u otras coberturas. Por su parte, los Sistemas de Información Geográfica (GIS) son plataformas computacionales que permiten almacenar, analizar y visualizar datos espaciales, facilitando la superposición de capas temáticas (como elevación, uso del suelo o línea de costa) para hacer análisis espaciales. Cuando estas dos tecnologías se integran, se pueden monitorear los cambios en la línea de costa a lo largo del tiempo con gran detalle. Por ejemplo, estudios han utilizado imágenes de satélite multitemporales combinadas con GIS para extraer y modelar la evolución de la costa y estimar tasas de erosión y acreción mediante herramientas como el Digital Shoreline Analysis System (DSAS). (Cenci et al., 2017)

Estos enfoques han sido ampliamente validados y revisados en la literatura científica reciente, demostrando que permiten un monitoreo continuo y a gran escala de los cambios costeros, lo cual es esencial para una gestión adaptativa frente al cambio climático. (Christofi et al., 2025)

## **PREGUNTA CIENTÍFICA**

- ¿Cómo ha variado la línea costera de Honduras durante 10 años y cuál ha sido el impacto ambiental de la erosión costera sobre los hábitats costeros?

## **OBJETIVOS**

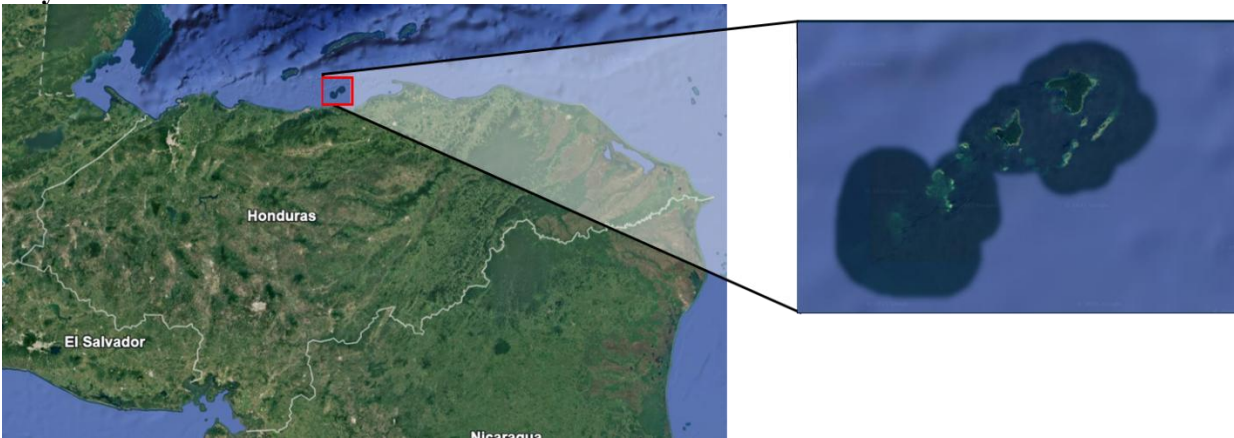
- Cuantificar la pérdida de costa en Honduras.
- Conocer el impacto ambiental de la pérdida de costa en la flora y fauna
- Aplicar los Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota para la evaluación de erosión costera

## METODOLOGÍA

### 1. Selección de sitios

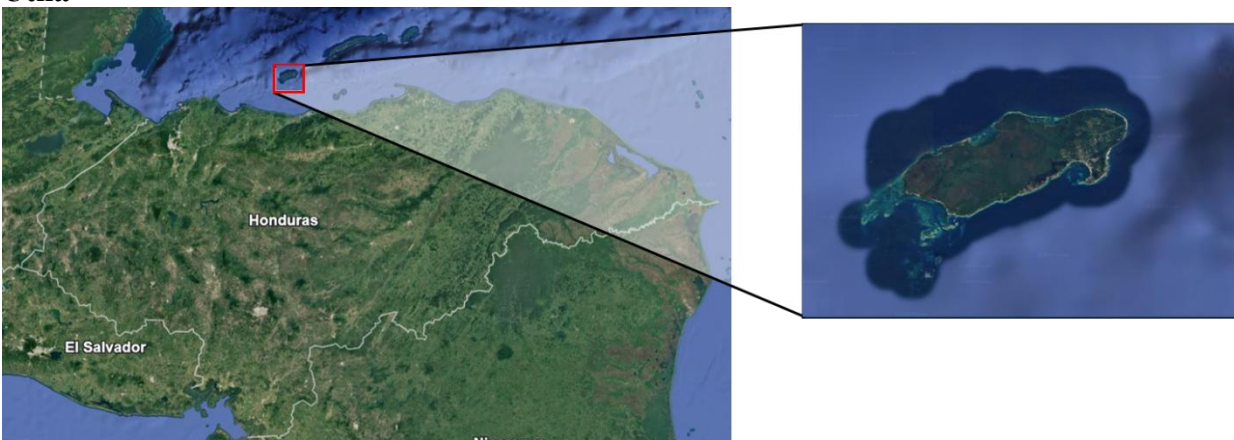
Puerto Cortés, está ubicado en la costa norte de Honduras, ahí se encuentra el principal puerto del país. Frente a esa misma costa se encuentra Utila, una de las tres islas que conforman el Departamento de Islas de la Bahía en el mar Caribe; más al noreste, frente a La Ceiba, se localizan los Cayos Cochinos, un pequeño archipiélago coralino protegido que incluye dos islas principales y varios cayos menores. En el extremo sur del país, en la costa del Pacífico, se encuentra el Golfo de Fonseca, compartido con El Salvador y Nicaragua, que constituye una importante salida marítima hacia el océano Pacífico.

#### Cayos Cochinos



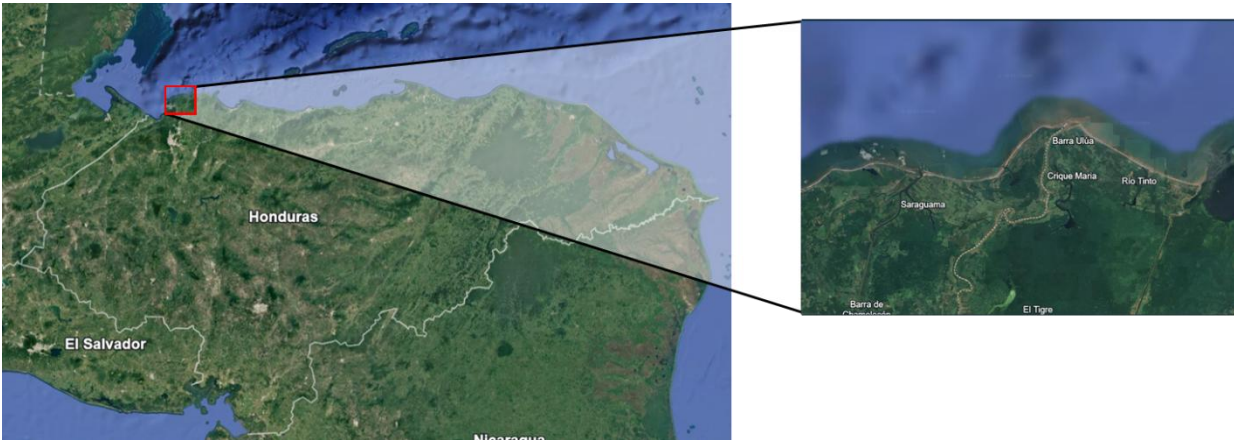
**Fig 1.** Localización de Cayos Cochinos en el mapa de Honduras

#### Utila



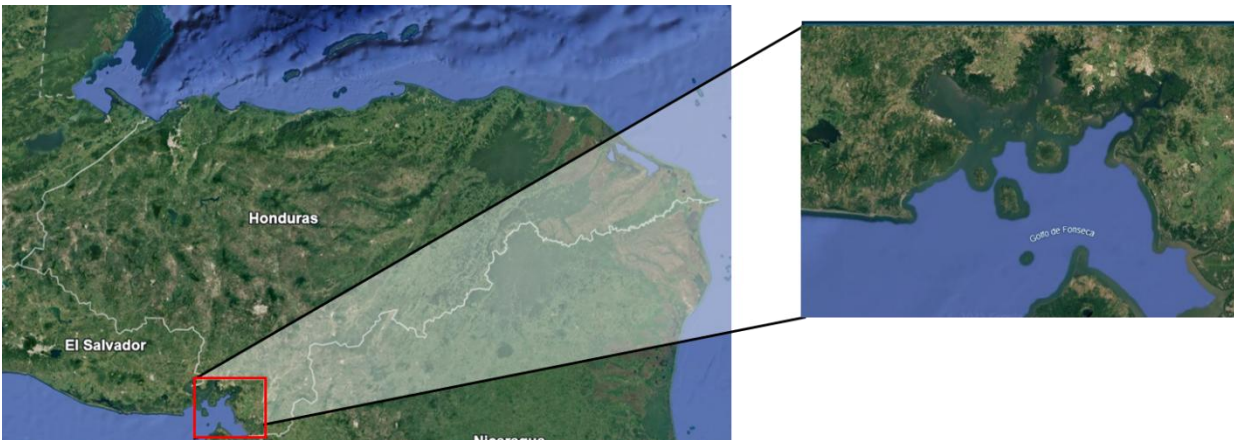
**Fig 1.** Localización de Utila en el mapa de Honduras

### Puerto Cortes



**Fig 3.** Localización de Puerto Cortés en el mapa de Honduras

### Golfo de Fonseca



**Fig 4.** Localización de Golfo de Fonseca en el mapa de Honduras

## 2. Selección del Sensor

La obtención de las imágenes se realizó a través de la plataforma [Earth Explorer](#). Dentro de la plataforma se seleccionó el sensor Landsat 8 OLI / Landsat 9 OLI-2. Las características del sensor son: Resolución Espacial: 30 m (multiespectral) 15 m (pancromática), Resolución Espectral: 11 Bandas, Resolución Radiométrica: 12 / 14 bits, Resolución Temporal: 16 días. El sensor inició sus operaciones en 2013, por lo que se tomarán imágenes a partir de ese momento. Durante el tiempo de estudio, del 2014 al 2024, se seleccionaron 4 imágenes por sitio (considerada por Zoysa et al., (2023) una cantidad de imágenes adecuada para un estudio de evaluación) siendo un total 16 imágenes.

### 3. Descargar las imágenes

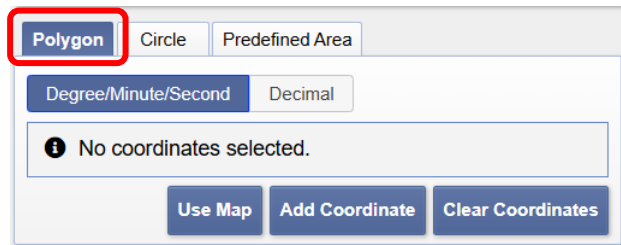
La obtención de imágenes para el estudio se hizo a través de la plataforma Earth Explorer.

Earth Explorer es una plataforma en línea del U.S. Geological Survey (USGS) que permite buscar, visualizar y descargar imágenes satelitales. También dispone de datos de Sentinel, ASTER, MODIS, AVHRR, Radar y LiDAR, e imágenes aéreas.

#### 3.1. Proceso para la descarga de imágenes de en la plataforma Earth Explorer

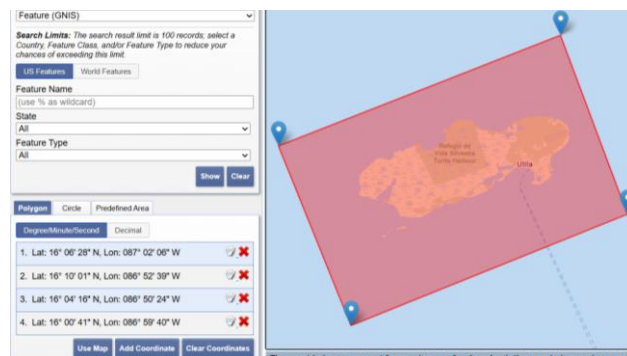
- Ingresar a la página de Earth Explorer en el link: <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Iniciar sesión con sus credenciales.

#### 3.2. Aplicación de criterios de selección de imágenes



En la primera sección que indica “Introduzca criterios de búsqueda”:

1. Seleccionar la pestaña “polígono”

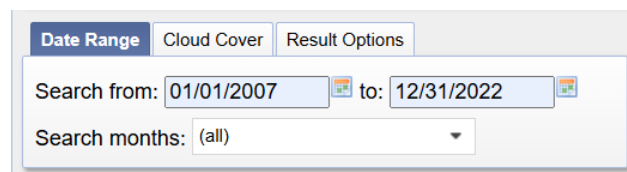


| Feature (GNIS)  |
|---|
| Search Limits: The search result limit is 100 records; select a Country, Feature Class, and/or Feature Type to reduce your chances of exceeding this limit. |
| Feature Name (Use % as wildcard)  |
| State (All)   |
| Feature Type (All)  |

| Polygon                                    |
|--|
| 1. Lat: 16° 06' 28" N, Lon: 087° 02' 06" W |
| 2. Lat: 16° 10' 01" N, Lon: 086° 52' 39" W |
| 3. Lat: 16° 04' 16" N, Lon: 086° 50' 24" W |
| 4. Lat: 16° 00' 41" N, Lon: 086° 59' 40" W |

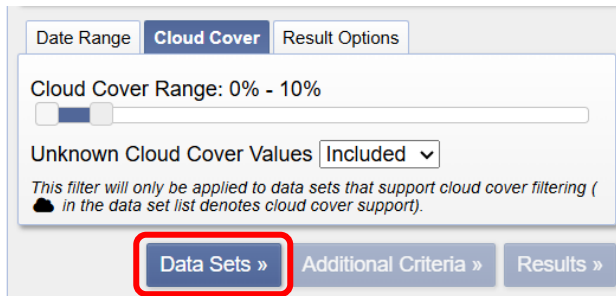
2. Dibujar un polígono sobre sitio de interés haciendo clic en sitios alrededor.

3. El sombreado rojo indica como se ha realizado la selección

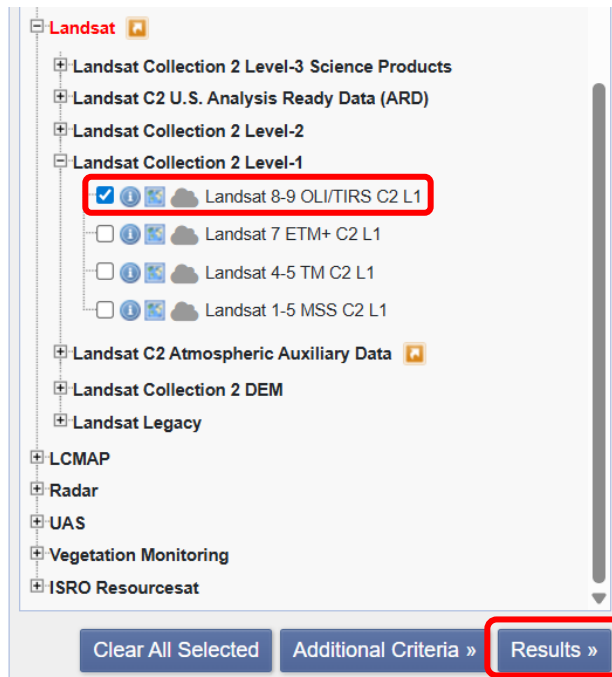


4. Definir las fechas de interés de los estudios

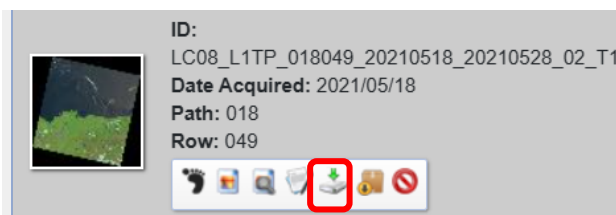




5. Aplicar el criterio adicional de cobertura de nubes: indicar que es menor al 10% (Considerado por Husband et al., (2023) como un porcentaje adecuado)
6. Clic en Data Sets para pasar a la siguiente sección



7. En la siguiente sección, desplegar las opciones de sensor
  1. Landsat
  2. Landsat Colection 2 Level-1
  3. Landsat 8-9 OLI/TIRS C2 L1
8. Clic en Results



9. Clic en el icono de Descargar para descargar el paquete de datos

Criterios utilizados en el proyecto

**Sitios:** Imágenes de:

1. Utila
2. Cayos Cochinos y Puerto Cortes, están en la misma imagen del recorrido del satélite.
3. Golfo de Fonseca

**Fechas:** Del 1ro de enero del 2014 al 31 de diciembre del 2024. Años: 2014, 2017, 2020, 2024

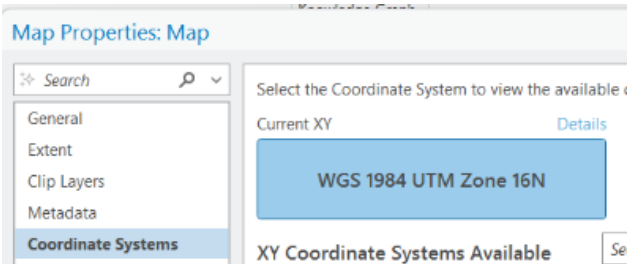
**Otros:** Mes en cada año: Marzo, Abril, Mayo. Cobertura de nubes: hasta el 10%



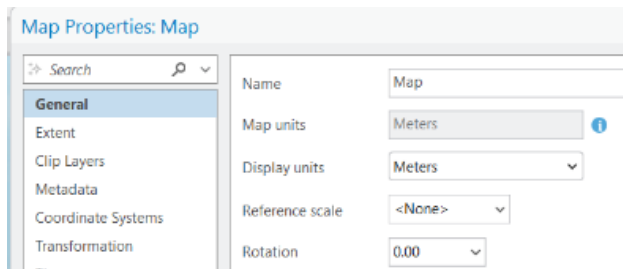
## 4. Procesamiento de Imágenes

### 1. Procesamiento de capas

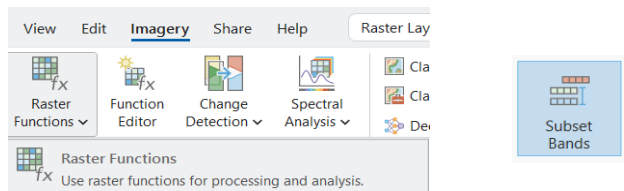
1. Configurar el formato de fecha en la computadora que se va a trabajar a formato MM/dd/yyyy
2. Crear el proyecto  
Asignar nombre y ubicación



3. Cambiar sistema de coordenadas  
Configurar para la Zona en Honduras  
WGS 1984 UTM Zone 16N

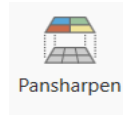
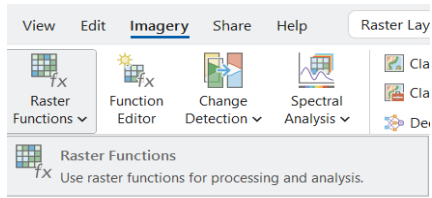


4. Insertar Bandas 2, 3, 4, 5, 8 y MTL



5. Aplicar Subset a las bandas

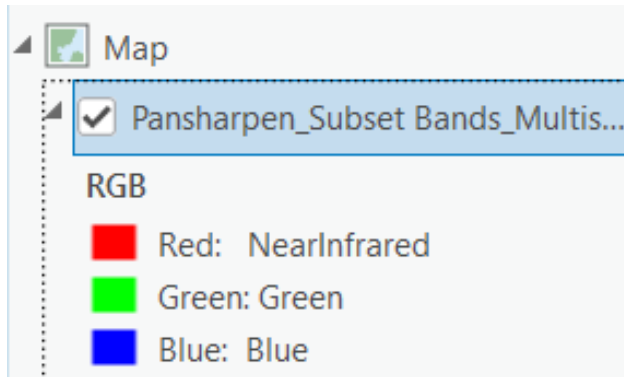
Raster: Archivo MTL  
Selection Method: Band Names  
Combination: Blue, Red, Green, Near Infrared



6. Aplicar Pansharpen a las bandas

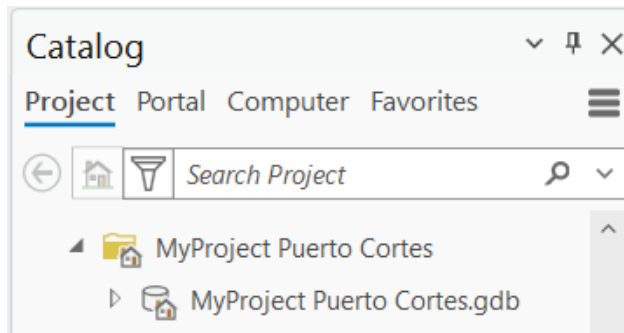
Multispectral: SubsetBands

Pancromatica: Banda 8

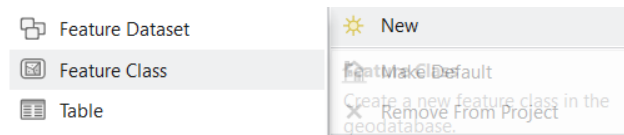


7. En la banda roja, activar la bnada Infrarojo cercano

## 2. Creación de Línea Base



1. Clic derecho en la sección de bases de datos del proyecto



2. Seleccionar New  
Seleccionar New Feature Class

The image displays three sequential screenshots of the 'Create Feature Class' dialog box in ArcGIS, illustrating the configuration steps for a new feature class.

**Define (Page 1/6):** This screen is used to define the basic properties of the feature class. The 'Name' field is set to 'LineaBase1'. The 'Feature Class Type' is set to 'Line'. Under 'Geometric Properties', the 'Add output dataset to current map' checkbox is checked. The 'Alias' field is empty.

**Fields (Page 2/6):** This screen is used to define the fields of the feature class. The 'Fields' table shows the following fields:

| Field Name | Data Type         |
|------------|-------------------|
| OBJECTID   | OBJECTID (32-bit) |
| SHAPE      | SHAPE             |
| Length     | Double            |

The 'Field Properties' table shows the following properties for the 'Length' field:

| Field Properties  |     |
|-------------------|-----|
| Alias             |     |
| Allow Null Values | Yes |
| Default           |     |
| Domain            |     |

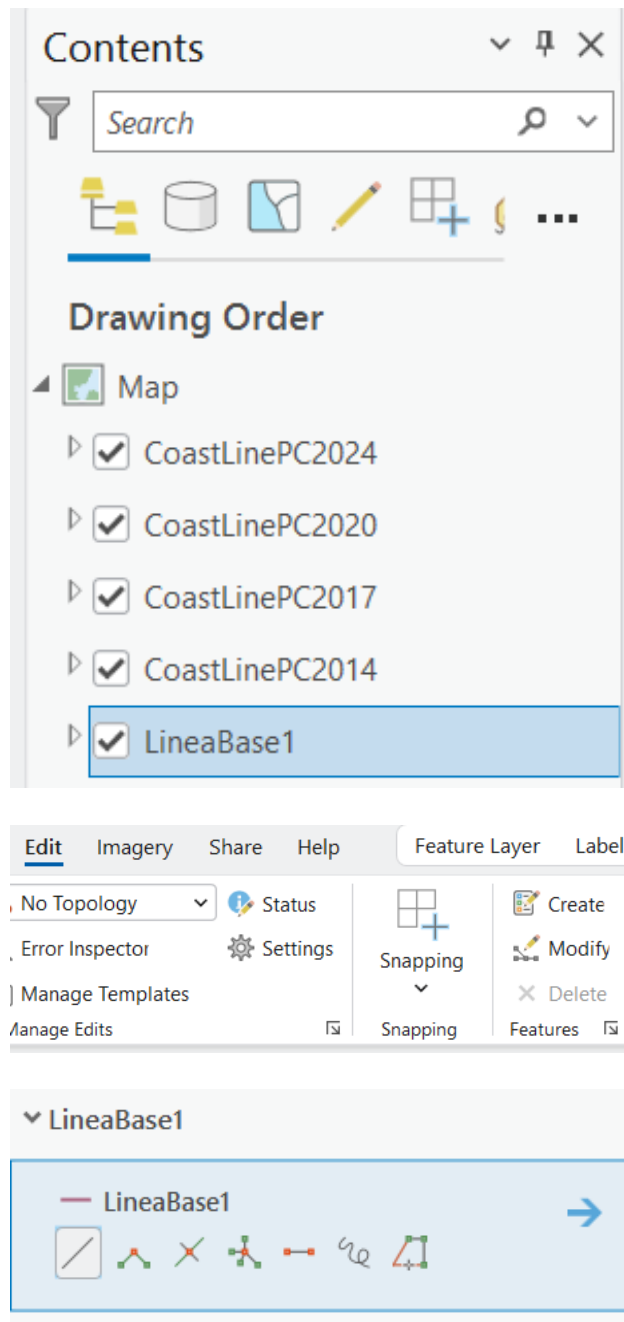
**Spatial Reference (Page 3/6):** This screen is used to define the spatial reference of the feature class. The 'Current XY' coordinate system is set to 'WGS 1984 UTM Zone 16N'. The 'XY Coordinate Systems Available' list shows the following systems:

- WGS 1984 UTM Zone 16N (Selected)
- Geographic Coordinate System
- Projected Coordinate System

### 3. Definir la configuración de la línea base

- Asignar nombre
- Asignar “Line” en Type of features stores
- Desmarcar Z values
- Agregar únicamente el campo Length con formato Double
- Verificar el sistema de Coordenadas

### 3. Dibujar la línea Base

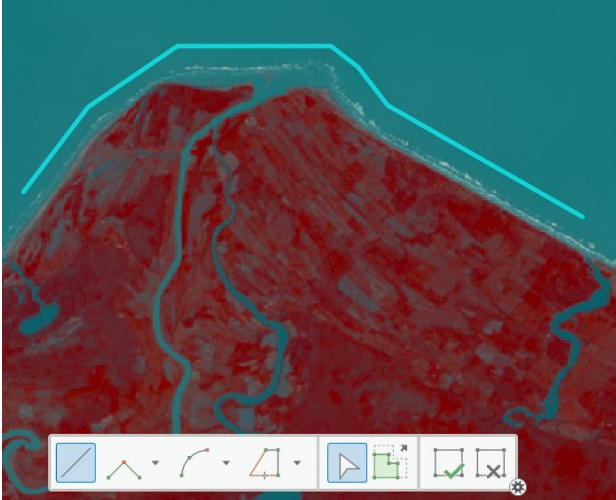


1. Seleccionar la capa de la Linea Base

2. Clic en la pestaña Edit

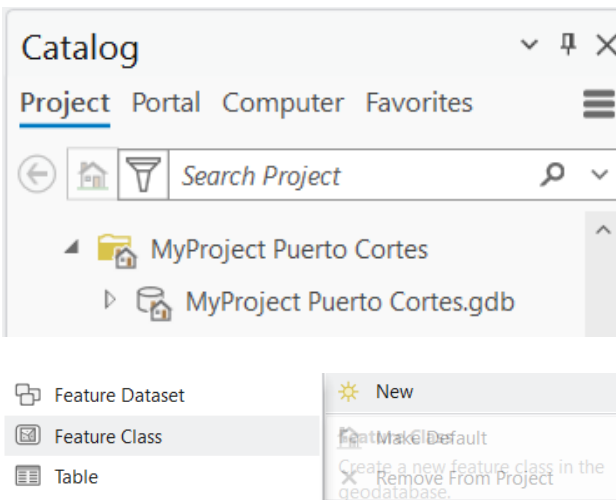
3. Clic en la herramienta Create

4. Seleccionar la línea base



5. Realizar trazado de la línea base
6. Clic en el Check al finalizar el trazado

#### 4. Creación de Línea de Costa



1. Clic derecho en la sección de bases de datos del proyecto
2. Seleccionar New  
Seleccionar New Feature Class

Create Feature Class

Define

Name

CoastLinePC2014

Alias

Feature Class Type

Type of features stored in the feature class.

Line

Geometric Properties

☐ M Values - Coordinates include M values used to store route data.
   
☐ Z Values - Coordinates include Z values used to store 3D data.

☒ Add output dataset to current map

Page 1/6

Previous

Next

Finish

Cancel

Create Feature Class

Fields

Import

Delete

| Field Name  | Data Type         |
|-------------|-------------------|
| OBJECTID    | OBJECTID (32-bit) |
| SHAPE       | SHAPE             |
| Length      | Double            |
| Date        | Text              |
| Uncertainty | Big Integer       |

Click here to add a new field

Click any field above to see its properties.

Field Properties

|                   |     |
|-------------------|-----|
| Alias             |     |
| Allow Null Values | Yes |
| Default           |     |
| Domain            |     |

Page 2/6

Previous

Next

Finish

Cancel

Create Feature Class

Spatial Reference

Select the Coordinate System to view the available options.

Current XY

Details

WGS 1984 UTM Zone 16N

XY Coordinate Systems Available

Search

WGS 1984 UTM Zone 16N

Layers

Geographic Coordinate System

Projected Coordinate System

Page 3/6

Previous

Next

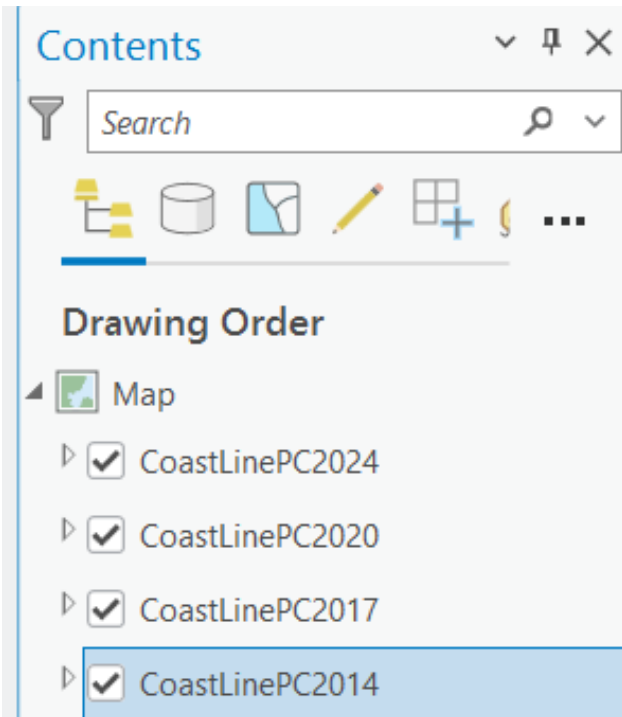
Finish

Cancel

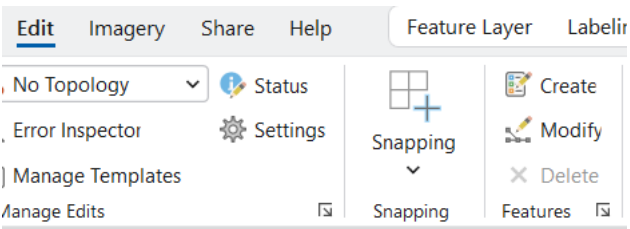
### 3. Definir la configuración de la línea base

- Asignar nombre
- Asignar “Line” en Type of features stores
- Desmarcar Z values
- Agregar los campos:  
Length con formato Double  
Date con formato Text  
Uncertainty con formato Big Integer
- Verificar el sistema de Coordenadas

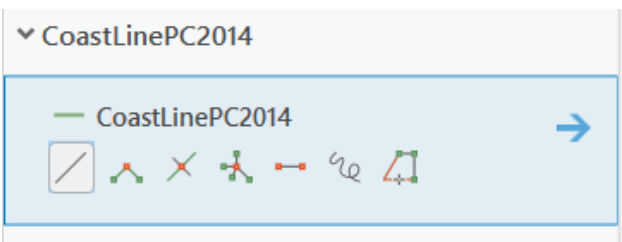
## 5. Dibujar la Línea de Costa



1. Seleccionar la capa de la Línea de Costa

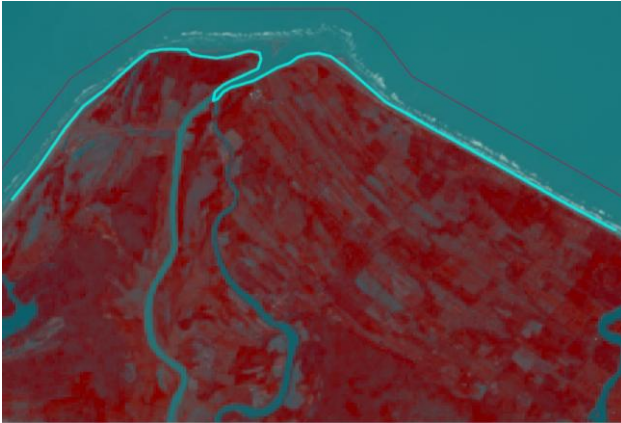


2. Clic en la pestaña Edit
3. Clic en la herramienta Create



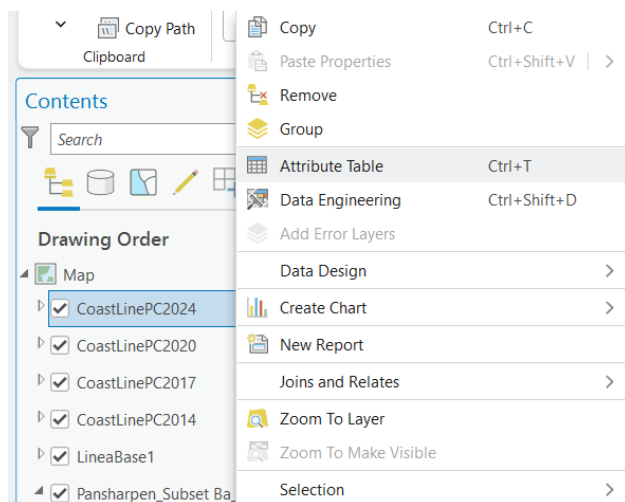
4. Seleccionar la línea de costa





5. Realizar trazado de la línea de costa
6. Clic en el Check al finalizar el trazado

## 6. Editar la tabla de atributos de las Líneas de Costa

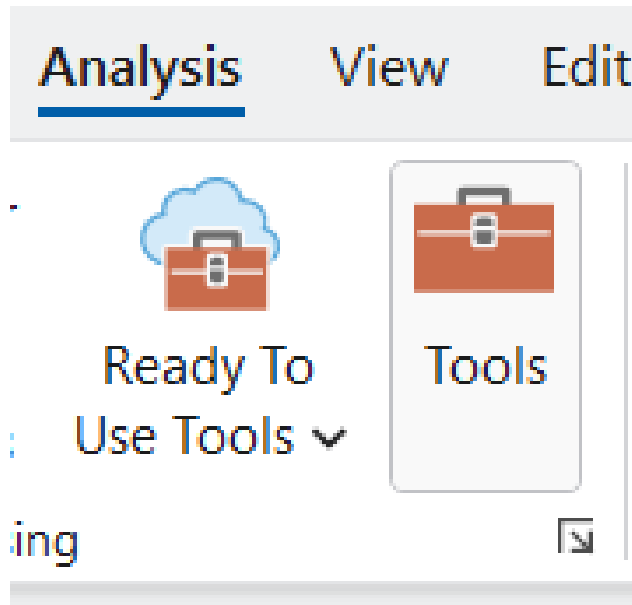


1. Clic derecho en la capa de la línea de costa
2. Seleccionar tabla de Atributos

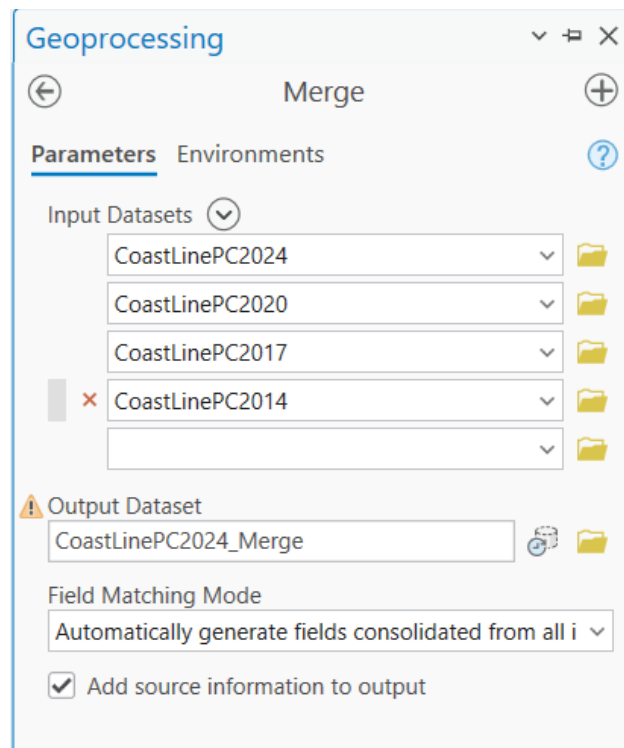
| CoastLinePC2020  |          |              |          |            |             |
|--|----------|--------------|----------|------------|-------------|
| Field: Add Calculate Selection: Select By Attributes Zoom To S |          |              |          |            |             |
| OBJECTID *   | SHAPE *  | Shape_Length | Length   | Date       | Uncertainty |
| 1  | Polyline | 9075.933612  | < Null > | 04/13/2020 | 10          |
| Click to add new row.  |          |              |          |            |             |

3. Llenar el campo de fecha y Uncertainty

## 7. Fusionar líneas de Costa

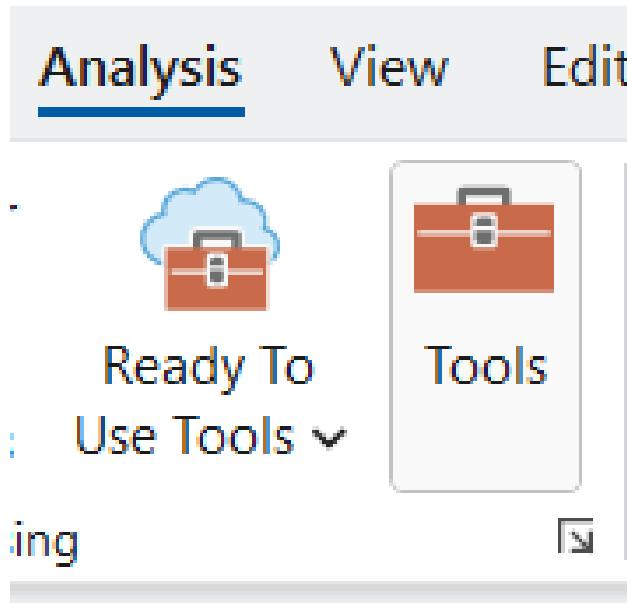


1. Clic en la pestaña Analysis
2. Clic en Tools
3. Seleccionar la herramienta Merge

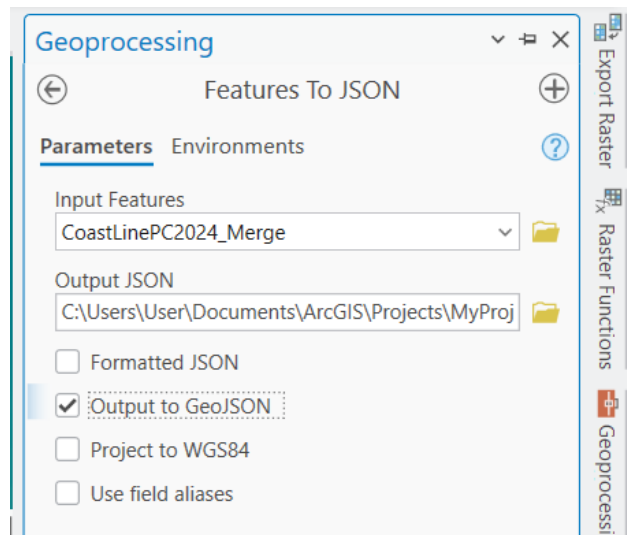


4. Completar los parametros de la herramienta
5. Seleccionar la opción Add source information to output

## 8. Exportar las líneas de costa fusionadas a formato GeoJSON



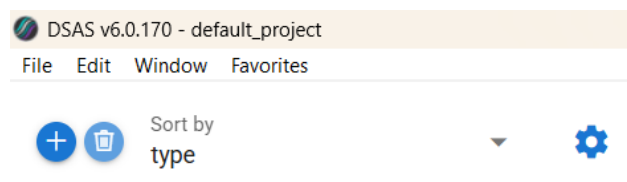
1. Clic en la pestaña Analisis
2. Clic en Tools
3. Seleccionar la herramienta Features to JSON



4. En Input Features, seleccionar las líneas de costa fusionadas
5. Seleccionar la opción Output to GeoJSON

## Procesamiento de líneas de costa en DSAS

DSAS (Digital Shoreline Analysis System) es un software desarrollado por el U.S. Geological Survey que funciona como extensión en ArcGIS y permite calcular estadísticas de cambio de línea de costa a partir de posiciones históricas.

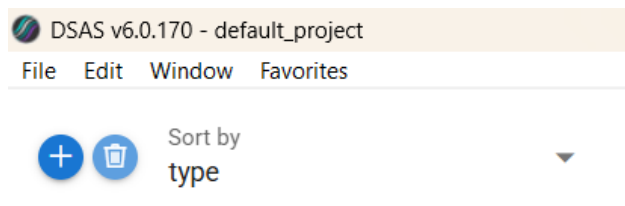
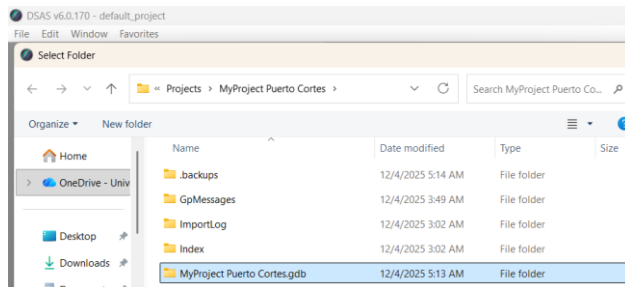


1. Clic en configuración

Click the plus sign below to route to as a layer. All transects, intersects and

## Data Library +

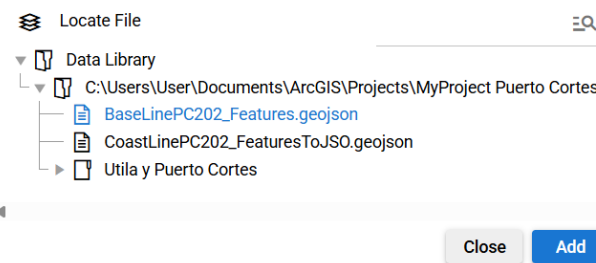
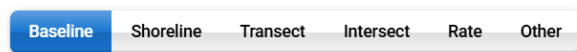
Path



**Add Layer** (Data must be in meter-based coordinate system)



Select Layer Type



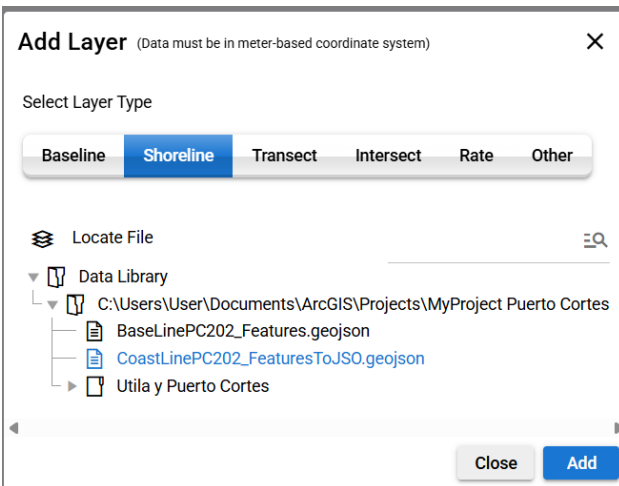
2. Clic en el + de Data Library

3. Seleccionar la carpeta del proyecto

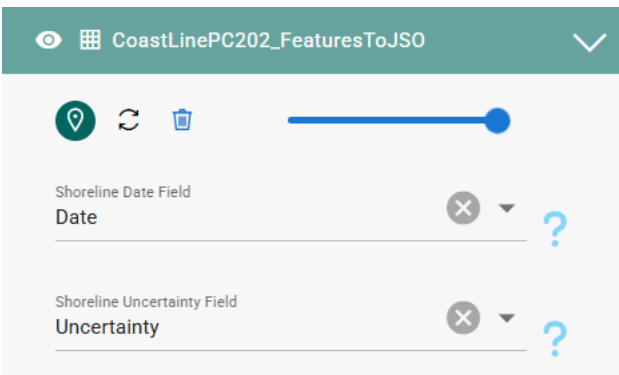
4. Clic en +

5. Seleccionar Baseline y el archivo geojson de la línea base

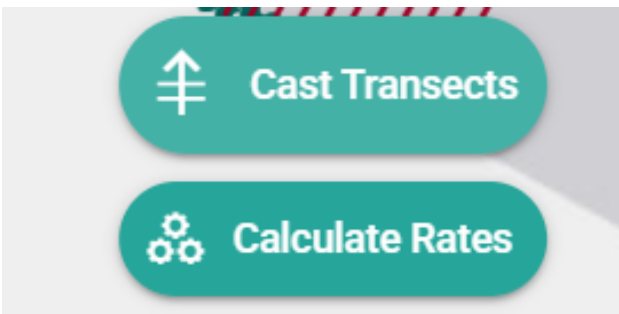
6. Clic en Add



7. Seleccionar Shoreline y el archivo geojson de las líneas de costa
8. Clic en Add



9. Seleccionar los campos de la línea base



10. Para generar los transectos:
  - Clic en Cast Transects
  - Detetminar la configuración de las líneas transecto

**Cast Transects ?**

Enter new transect name  
Transecto de líneas PC  
field is required

Select baseline layer  
 BaseLinePC202\_Features


Select shoreline layer  
 CoastLinePC202\_FeaturesToJSO

Transect spacing  
 50  
field is required

Transect length  
 2000  
field is required

Smoothing distance  
 250  
field is required

☒ Clip transects to shoreline extent

 Metadata

\*All distance measures are in meters

**Quit** **Ok**

**Cast Transects**

**Calculate Rates**

**Calculate Rates**

**Layers**

Select baseline layer  
 LineabasePC2014-2024

Select shoreline layer  
 CoastLinePC2014-2024

Select transect layer  
 Linea\_transects\_20251204\_083833

**Additional Parameters**

**Intersection Threshold**

☒ Apply shoreline intersection threshold  
 2 ?


**Outputs**

☒ Display calculation results using color ramp  
 Select rates for color ramp display  
 EPR ?

**Confidence Interval**

Pick 90.0% or Type % **Clear**

☒ Create DSAS summary report

 Metadata

**Quit** **Calculate**

## 11. Crear mediciones

- Clic en Calculate Rates
- Detetminar la configuración del cálculo de medidas

12. Para obtener los datos en modo reporte, al calcular las mediciones se generará un reporte de datos que se almacena en la carpeta ArcGIS del proyecto.

## RESULTADOS

### Puerto Cortes

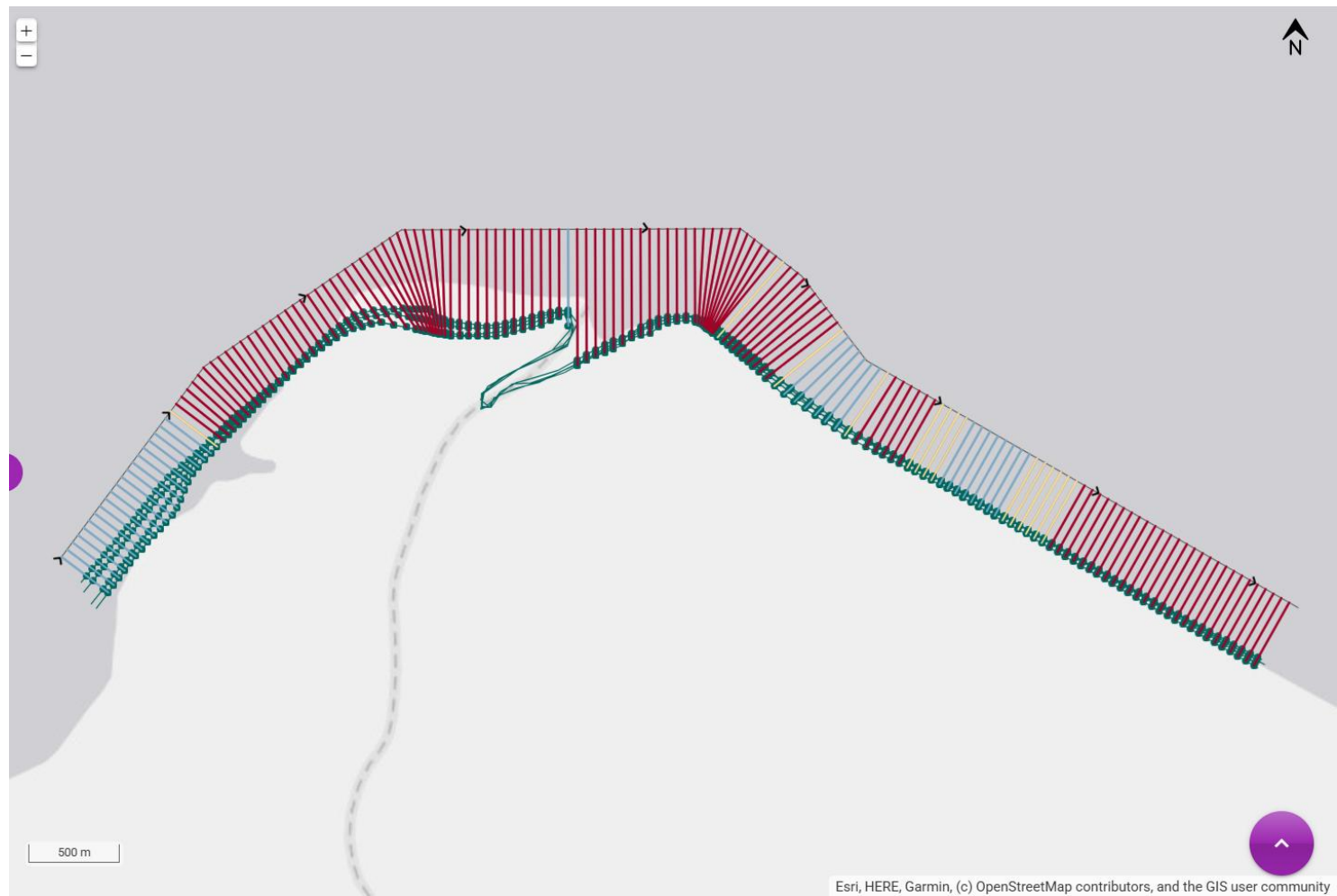


Fig. 5 Transectos e interpretación por color del movimiento de línea de Puerto Cortes



Utila

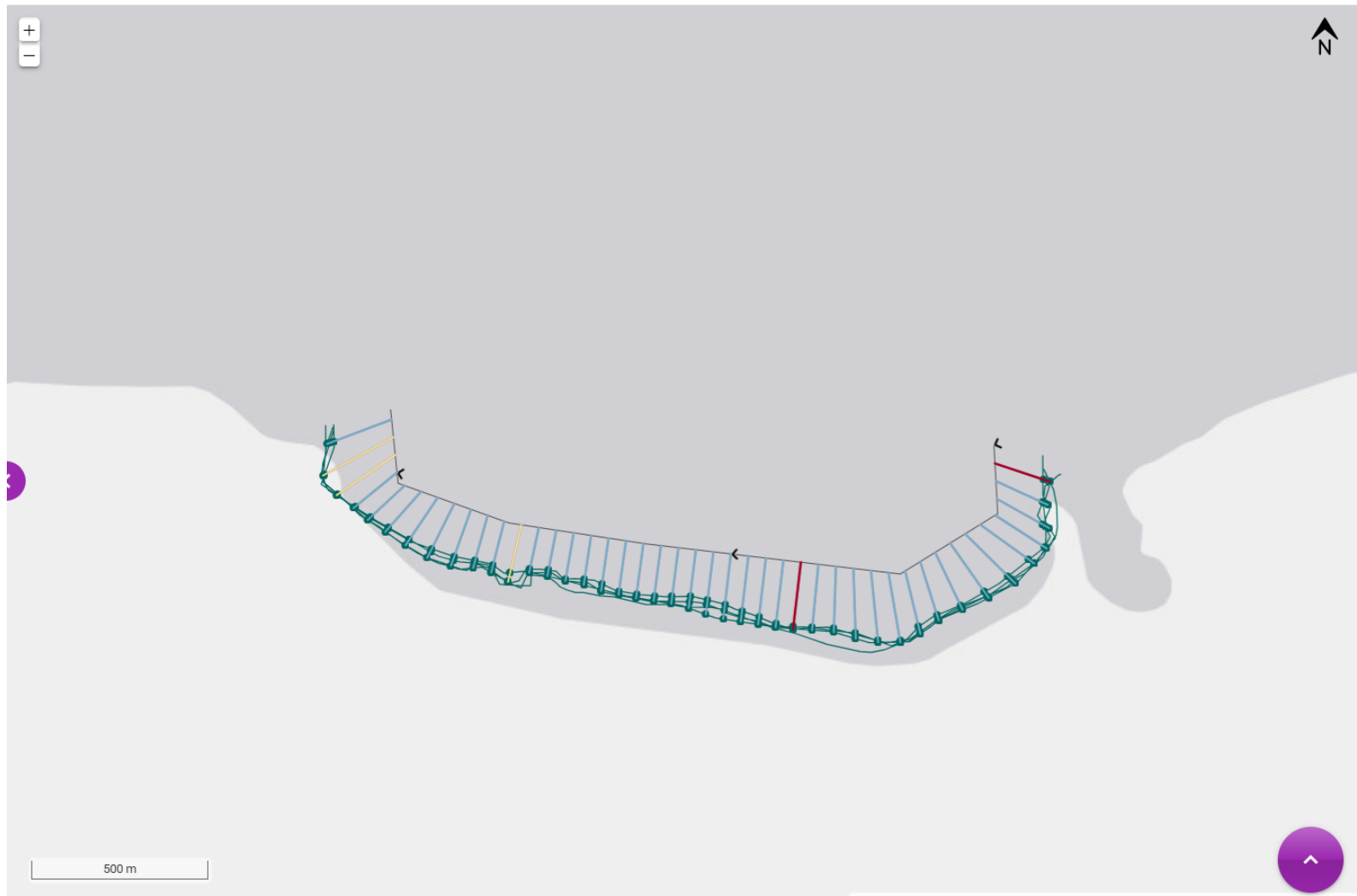


Fig. 6 Transectos e interpretación por color del movimiento de línea de Puerto Cortes

## Cayos Cochinos

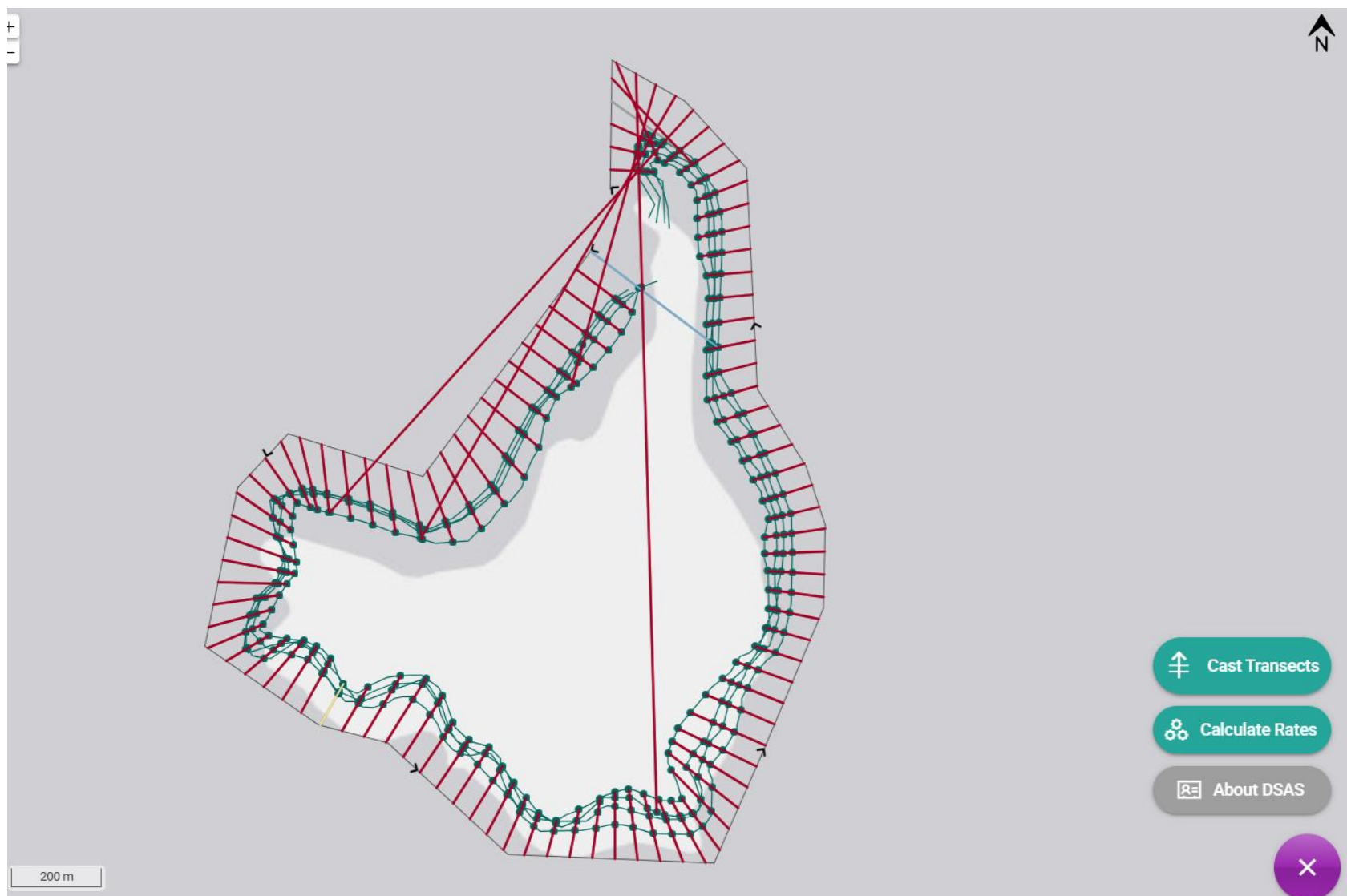


Fig. 7 Transectos e interpretación por color del movimiento de línea de Cayos Cochinos

## Golfo de Fonseca



Fig. 8 Transectos e interpretación por color del movimiento de línea del Golfo de Fonseca

## DISCUSIÓN

**Cuadro 1.** Cuadro resumen de las mediciones de transectos en cada sitio de estudio

|                                      | Puerto Cortes                                    | Utila  | Cayos Cochinos | Golfo de Fonseca (valores aproximados) |
|--------------------------------------|--|--------|----------------|--|
| Datos Generales del reporte          |  |        |                |  |
| Fechas                               | Marzo – Abril – Mayo del 2014, 2017, 2020 y 2024 |        |                |  |
| Numero de Transectos                 | 165  | 43     | 58             | 128                                    |
| Intervalo de Confianza               | 95%  |        |                |  |
| Unidades                             | metros (distancias) y metros/año (tasas)         |        |                |  |
| Cambio en la línea de costa          |  |        |                |  |
| Promedio                             | 55   | 17.21  | 9.85           | 48.6                                   |
| Máximo                               | 153  | 41.89  | 27.4           | 121                                    |
| Mínimo                               | 17   | 3.92   | 1.8            | 9.2                                    |
| Movimiento Neto del a Línea de Costa |  |        |                |  |
| Promedio                             | -13.79   | 11.01  | -4.62          | -27.4                                  |
| Movimiento de transectos             | 74.55  | 43     | 21.3           | 67.8                                   |
| Máxima Erosión                       | -135   | -19.72 | -28.9          | -104                                   |
| Máxima Acreción                      | +117   | 29.08  | +23.2          | +77.3                                  |
| Tasa de Punto final                  |  |        |                |  |
| Promedio                             | -1.39  | 1.58   | -0.25          | -2.06                                  |
| Transectos erosivos                  | 74.55  | 3      | 55             | 81                                     |
| Máxima Erosión                       | -13.65   | -5.09  | -7.92          | -15.2                                  |
| Máxima Acreción                      | +11.79   | 4.3    | +6.25          | +10.5                                  |
| Tasa de regresión lineal             |  |        |                |  |
| Promedio                             | -0.7   | 1.75   | -0.48          | -1.84                                  |
| Porcentaje de Erosión                | 60.61  | 7.14   | 52             | 78                                     |
| Regresión lineal ponderada           |  |        |                |  |
| Promedio                             | -0.7   | 1.75   | -0.46          | -1.8                                   |
| Porcentaje de Erosión                | 60   | 7.14   | 50             | 75                                     |

## **Puerto Cortés**

Los resultados obtenidos para Puerto Cortés muestran un comportamiento particularmente complejo de la línea de costa, caracterizado por una marcada heterogeneidad espacial. El promedio del cambio en la posición de la costa indica una acreción positiva considerable (+55 m) al comparar las líneas de costa entre los años analizados. Sin embargo, esta aparente ganancia se ve contrastada por la amplitud del rango de valores, donde se registran desplazamientos máximos de hasta 153 m en sentido acrecional, mientras que en el extremo opuesto algunos transectos muestran retrocesos de hasta 17 m. Este amplio gradiente confirma que existen sectores con acumulación extrema que elevan el promedio general y, por lo tanto, pueden dar una percepción inicial de recuperación o avance que no representa el patrón dominante en toda el área.

Esta interpretación se refuerza con los indicadores derivados del análisis temporal, como el Movimiento Neto de la Línea de Costa, cuyo promedio resulta negativo (-13.79 m). Esto sugiere que, cuando se consideran simultáneamente todas las fechas y su trayectoria en el tiempo, la costa de Puerto Cortés experimenta una pérdida neta, pese a los eventos aislados de acreción intensa. La disparidad entre los promedios de distancia (positivos) y los promedios basados en series temporales (negativos) evidencia que el comportamiento costero no es lineal y que los diferentes años han contribuido con procesos contradictorios que se traducen en movimientos cruzados entre erosión y acreción.

El análisis de las tasas señala un patrón aún más claro. A pesar de que el sitio muestra algunos eventos de acreción muy fuertes (+117 m), el promedio de la Tasa de Punto Final (-1.39 m/a) indica un retroceso progresivo de la línea de costa, reforzado por el hecho de que aproximadamente 60% de los transectos son erosivos según la tasa de regresión lineal. De esta forma, Puerto Cortés presenta una combinación distintiva de sectores con intensa acumulación espacial y, simultáneamente, una tendencia temporal predominante hacia la erosión, lo que produce un patrón global altamente fragmentado.

## **Utila**

El comportamiento de la línea de costa en Utila se caracteriza por una consistencia notable entre las métricas espaciales y temporales, lo que sugiere una relativa estabilidad geomorfológica durante el período analizado. El promedio del cambio en la posición de la costa es positivo (+17.21 m), acompañado de valores mínimos y máximos que oscilan entre 3.92 y 41.89 m, un rango considerablemente más estrecho que el observado en otros sitios. Este comportamiento indica que, aunque existe variabilidad, la magnitud de los desplazamientos es moderada y no presenta extremos que distorsionen la tendencia general.

La coherencia de este patrón se confirma con el Movimiento Neto de la Línea de Costa, cuyo promedio también es positivo (+11.01 m), mostrando alineación entre las métricas instantáneas (cambios absolutos entre fechas) y las métricas que integran trayectoria temporal. El hecho de que

las máximas de erosión (-19.72 m) sean significativamente menores en magnitud que las máximas de acreción (+29.08 m) refuerza la conclusión de que, en la mayoría de los transectos, la costa ha experimentado desplazamientos hacia mar afuera.

La Tasa de Punto Final (+1.58 m/a) y la Tasa de Regresión Lineal (+1.75 m/a) confirman este patrón al indicar un avance sostenido a lo largo de la serie temporal. Además, el número de transectos erosivos es extremadamente bajo (solo 3), lo que refleja que la tendencia hacia la acreción no solo es cuantitativamente mayor, sino también espacialmente dominante dentro del conjunto de transectos evaluados. En conjunto, todos los indicadores muestran una coherencia interna poco común en estudios de erosión costera, donde con frecuencia se encuentran comportamientos mixtos o contradictorios. Utila, en este análisis, aparece como el sitio con mayor estabilidad y direccionalidad clara hacia procesos acrecionales.

### **Cayos Cochinos**

En Cayos Cochinos, el análisis revela un patrón intermedio entre los casos de acreción dominante (como Utila) y las zonas fuertemente erosivas (como Golfo de Fonseca). El promedio del cambio en la posición de la costa (+9.85 m) indica una ligera tendencia hacia la acreción cuando se observan únicamente los desplazamientos espaciales entre las fechas. Sin embargo, este valor debe interpretarse con cautela, dado que el rango entre valores mínimos (1.8 m) y máximos (27.4 m) muestra que las magnitudes son relativamente moderadas, sin eventos extremos que modifiquen de manera significativa el promedio.

La primera señal de complejidad aparece cuando se analiza el Movimiento Neto de la Línea de Costa, cuyo valor promedio es negativo (-4.62 m), lo que sugiere que, al considerar toda la secuencia temporal, los procesos erosivos han sido más persistentes que los acrecionales. Esta diferencia entre el comportamiento espacial y el comportamiento temporal indica que, aunque se registran episodios o sectores con acreción moderada, estos no compensan la erosión acumulada durante el periodo de estudio.

La interpretación se robustece al observar que la Tasa de Punto Final (-0.25 m/a) y la Tasa de Regresión Lineal (-0.48 m/a) son negativas, representando una pérdida neta de costa en el tiempo. Adicionalmente, cerca de 52% de los transectos muestran erosión, lo que confirma un patrón espacial dividido casi por igual entre erosión y acreción, pero con ligera dominancia erosiva.

Asimismo, la comparación entre las máximas de erosión (-28.9 m) y acreción (+23.2 m) revela que, aunque la magnitud de los valores extremos no es tan amplia como en otros sitios, los valores erosivos tienden a superar en consistencia a los acrecionales. En general, Cayos Cochinos muestra un sistema costero en el que la acreción existe, pero no es suficiente para revertir la tendencia global, resultando en una posición intermedia que refleja tanto zonas de retroceso persistente como sectores con acumulación puntual.

## **Golfo de Fonseca**

El Golfo de Fonseca presenta el patrón más marcadamente erosivo de todos los sitios analizados. Aunque el promedio del cambio en la posición de la costa es sorprendentemente positivo (+48.6 m), este valor resulta engañoso si se analiza de forma aislada. La magnitud extrema de algunos eventos de acreción (hasta +121 m) tiene un efecto significativo sobre el promedio, pero no refleja el comportamiento dominante en la mayoría de los transectos.

Una interpretación más precisa emerge al analizar el Movimiento Neto de la Línea de Costa, cuyo promedio es profundamente negativo (-27.4 m), indicando que, a lo largo del periodo estudiado, la costa del Golfo de Fonseca ha experimentado una pérdida consistente y generalizada. La diferencia entre un promedio espacial positivo y un promedio temporal negativo es un indicio claro de que los eventos acrecionales, aun siendo de gran magnitud, fueron poco frecuentes o muy localizados, mientras que los procesos erosivos fueron predominantes en el tiempo.

Las métricas derivadas de las tasas corroboran este diagnóstico. La Tasa de Punto Final (-2.06 m/a) y la Tasa de Regresión Lineal (-1.84 m/a) están entre las más negativas del conjunto, lo que señala un retroceso sostenido y acelerado. Además, más del 75% de los transectos presentan erosión, un valor significativamente superior al observado en los demás sitios. El contraste entre la máxima erosión (-104 m) y la máxima acreción (+77.3 m) demuestra que, aunque hay sectores con acumulación notable, estos son la excepción dentro de una matriz espacial donde predomina el retroceso severo.

Dicho esto podemos concluir aquí, que el Golfo de Fonseca exhibe un escenario caracterizado por procesos erosivos tanto amplios como intensos, con múltiples valores que muestran no solo persistencia temporal, sino también un patrón espacial dominante hacia la pérdida de costa. Esto lo posiciona como el sitio con el comportamiento más crítico dentro del análisis comparativo.

## **Impacto de la Erosión Costera en el Hábitat**

La biodiversidad costera está amenazada por diversas causas en el mundo incluyendo el impacto humano; en los trópicos, incluye a los manglares, pastos marinos y arrecifes coralinos que son muy ricos en invertebrados, peces y plantas y rivalizan en complejidad con los bosques tropicales (Salazar-Vallejo & González, 1993).

Especies Afectadas por la Erosión Costera:

1. Humedales costeros: manglares, lagunas, sabanas.

La pérdida de área de manglar puede ocurrir por la erosión de las márgenes o por la desaparición de las barras y lagunas que brindan protección. Sin embargo, también es posible un incremento en la superficie de manglares mediante su reubicación y migración natural hacia el interior, siempre que la topografía, el tipo de suelo y las actividades humanas lo permitan. El aumento del nivel del



mar y la erosión costera provocará una mayor salinidad en las lagunas costeras, lo que modificará la composición de especies, dado que el mangle rojo presenta mayor tolerancia a la salinidad en comparación con otras especies. Estos cambios en la salinidad reducen la supervivencia de las plántulas, el crecimiento y la capacidad fotosintética de especies menos tolerantes, como el botoncillo, el mangle negro y el mangle blanco (USAID, 2012).

## 2. Playas, dunas costeras, islas bajas y cayos.

El incremento del nivel del mar intensificará la erosión de playas y cayos, lo que a su vez modificará de manera significativa la topografía costera. Este proceso provocará la desaparición de dunas y de las barreras naturales que separan el mar de las lagunas interiores o bahías. Asimismo, conllevará la pérdida de cayos y la desaparición de las islas de menor tamaño (USAID, 2012).

## 3. Tortugas marinas y sitios de anidación.

El aumento del nivel del mar y la mayor frecuencia e intensidad de las tormentas generan una acelerada erosión y alteración de la topografía de las playas, lo que conlleva la pérdida de hábitats de anidación para tortugas marinas y aves. La reducción de las playas limita los espacios disponibles para la puesta de huevos, obligando a las hembras a buscar zonas menos adecuadas, donde la supervivencia de los embriones se ve comprometida.

El incremento en la altura de las mareas puede inundar los nidos, afectando directamente a los huevos y reduciendo el éxito reproductivo. Además, cuando la arena se encuentra saturada por las olas de las tempestades o por inundaciones subterráneas y no logra drenar adecuadamente, los embriones corren el riesgo de morir por asfixia.

A estos factores se suma la alteración térmica de los nidos. La erosión y la pérdida de vegetación costera modifican la temperatura de la arena, lo cual es crítico para las tortugas marinas, ya que la determinación del sexo de las crías depende de la temperatura de incubación. Un aumento sostenido de la temperatura puede generar desbalances poblacionales al producir mayor proporción de hembras.

La desaparición de dunas y barreras naturales también expone los nidos a depredadores y a la acción directa de las olas, incrementando la mortalidad. En el caso de especies que dependen de playas específicas —como la tortuga carey (*Eretmochelys imbricata*) o la tortuga verde (*Chelonia mydas*)—, la pérdida de estos sitios representa una amenaza crítica para su conservación.

La erosión costera y el aumento del nivel del mar no solo reducen la disponibilidad de hábitats de anidación, sino que también alteran las condiciones físicas y ecológicas necesarias para el éxito reproductivo de las tortugas marinas. Estos cambios comprometen la viabilidad de las poblaciones a largo plazo y ponen en riesgo la continuidad de especies que ya se encuentran en estado vulnerable o en peligro de extinción.

## 4. Aves marinas y costeras

La erosión costera ocasiona una pérdida significativa de hábitats esenciales para las aves marinas y costeras, incluyendo playas, islas, cayos y humedales. Estos espacios cumplen funciones críticas: sirven como áreas de anidación, descanso y alimentación, además de ofrecer refugio frente a depredadores y condiciones climáticas adversas.

Cuando las playas se reducen o desaparecen, las aves pierden sitios adecuados para depositar sus huevos, lo que disminuye el éxito reproductivo y aumenta la vulnerabilidad de los nidos ante inundaciones, depredación y perturbaciones humanas. La desaparición de cayos e islas pequeñas elimina zonas de descanso utilizadas durante las migraciones, afectando la capacidad de las especies para completar sus rutas de larga distancia.

Los humedales costeros, por su parte, son fundamentales como áreas de alimentación, ya que concentran peces, crustáceos e invertebrados que forman parte de la dieta de muchas aves. Su degradación reduce la disponibilidad de recursos tróficos y obliga a las aves a desplazarse hacia zonas menos seguras o con menor productividad. Además, la alteración de la topografía costera modifica la dinámica de mareas y corrientes, generando cambios en la distribución de presas y en la accesibilidad de los hábitats.

## 5. Pastos marinos

La erosión costera no solo transforma la línea de playa y los sistemas terrestres adyacentes, sino que también repercute de manera significativa en los pastos marinos. Estos ecosistemas dependen de la estabilidad del sustrato, la claridad del agua y el equilibrio hidrodinámico para mantenerse saludables.

Cuando la erosión arrastra grandes cantidades de sedimentos hacia el mar, se incrementa la turbidez del agua, reduciendo la penetración de la luz solar. Esta disminución de luminosidad afecta la fotosíntesis de los pastos marinos, limitando su crecimiento y capacidad de regeneración. Además, la acumulación de sedimentos sobre las hojas y rizomas puede sofocar las plantas y alterar la composición de las praderas.

La pérdida de dunas, playas y barreras naturales también modifica la dinámica de las olas y corrientes, generando mayor energía en zonas donde antes había protección. Este incremento en la fuerza del oleaje desestabiliza el sustrato arenoso o fangoso donde se enraízan los pastos, dificultando su establecimiento y favoreciendo la fragmentación de las praderas.

Asimismo, la erosión costera puede alterar la conectividad entre hábitats. Al desaparecer humedales y manglares que funcionan como filtros naturales, aumenta la escorrentía de nutrientes y contaminantes hacia las praderas marinas, lo que puede provocar procesos de eutrofización y pérdida de biodiversidad.

Especies que se alimentan de pastos marinos (Carrasco-Navas et al. 2023)

- Tortuga verde (*Chelonia mydas*): Es la principal consumidora de pastos marinos. Se alimenta de hojas jóvenes y rizomas, y su presencia es un indicador de la salud de las praderas.
- Manatí antillano (*Trichechus manatus manatus*): Mamífero marino en peligro de extinción que depende casi exclusivamente de los pastos marinos para su dieta.
- Peces herbívoros: Varias especies de peces, como pargos juveniles y algunos peces cirujano, utilizan los pastos como fuente de alimento y refugio.
- Invertebrados: Erizos de mar, crustáceos y moluscos consumen partes de los pastos o se alimentan de la microfauna asociada a sus hojas.

## **CONCLUSIONES**

- El análisis realizado con DSAS evidencia que la línea de costa en el área de estudio presenta una tendencia erosiva dominante, con tasas promedio de retroceso entre -0.7 y -1.4 m/año. El 74.5% de los transectos muestran erosión, siendo el transecto 51 el más crítico con una pérdida de hasta -13.65 m/año.
- La erosión costera implica la reducción de hábitats críticos como, manglares y zonas de anidación de tortugas y aves. La pérdida de costa afecta directamente la biodiversidad local, disminuye la capacidad de protección natural contra tormentas y pone en riesgo ecosistemas clave para la reproducción y alimentación de la fauna.
- El uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Percepción Remota permitió integrar datos multitemporales de líneas de costa y generar un análisis espacial preciso de la dinámica costera. Estas herramientas son fundamentales para identificar patrones de erosión y acreción, cuantificar tasas de cambio y localizar sectores críticos.

## **RECOMENDACIONES**

- Definir estudios de erosión costera durante la época de anidamiento y eclosión de las tortugas para evaluar la tasa de sobrevivencia.
- Utilizar imágenes de mejor resolución espacial, como imágenes de drones para obtener mediciones aún más precisas de la dinámica costera.
- Realizar evaluaciones a lo largo del año para asegurar que las condiciones climáticas durante la época de lluvia o sequía no subestimen o sobreestimen la dinámica de la costa

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Aldana, P. G., Camperos, A. R., Orta, L. G., León, S. C., & León, A. J. (2009). Estudio de la erosión costera en Cancún y la Riviera Maya, México. *Avances en recursos hidráulicos*, (20), 41–55.

Alvarado Hernández, L. A. (2009). Riesgo por tsunamis en el litoral del Caribe Mexicano [Tesis de licenciatura, Instituto Politécnico Nacional]. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura.

Barreto, M., Tejeda, R. M., Cabrera, N., Bonano, V., Díaz, E., Pérez, K., & Castro, A. (2021). El estado de la erosión costera post-huracán María en Puerto Rico. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis*, (1), 29–40.

Canteras, J., Cantera, E., Pérez, L., Soler, M., & Carralimos, C. (1995). Impacto ambiental de regeneración de playas: La playa de Poniente (Gijón). *Revista Ingeniería del Agua*, 2(1), 23–243.

Carranza-Edwards, A. (2010). Causas y consecuencias de la erosión de playas. Impacto del cambio climático sobre la zona costera: México, Instituto de Ecología, AC (INECOL), Texas Sea Grant Program, Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), 36–50.

Carrasco, J. C., & Caviedes, V. (2014). Diagnóstico de los ecosistemas marino-costeros y de agua dulce de Honduras: Basado en análisis de viabilidad, amenazas y situación. ICF y USAID ProParque.

Carrasco, J. C., Secaira, E., & Lara, K. (2013). Plan de conservación del Parque Nacional Marino Islas de la Bahía: Basado en análisis de amenazas, situación y del impacto.

Carrasco Navas-Parejo, J. C., Montalván Torres, C., Randazzo-Eisemann, A., Antúnez, E., Alvarado, V., Diaz, K., & Murillo, M. A. (2023). Caracterización de formaciones coralinas y pastos marinos en el Protegida Cuyamel-Omoa, Honduras. ResearchGate.  
[https://www.researchgate.net/publication/375665919\\_Caracterizacion\\_de\\_formaciones\\_coralinas\\_y\\_pastos\\_marinos\\_en\\_el\\_Protegida\\_Cuyamel-Omoa\\_Honduras\\_Equipo\\_de\\_trabajo](https://www.researchgate.net/publication/375665919_Caracterizacion_de_formaciones_coralinas_y_pastos_marinos_en_el_Protegida_Cuyamel-Omoa_Honduras_Equipo_de_trabajo)

Caviedes Sánchez, V., & Carrasco Navas-Parejo, J. (2014). Diagnóstico de los ecosistemas marino-costeros y de agua dulce de Honduras.

Cenci, L., Disperati, L., Persichillo, M. G., Oliveira, E. R., Alves, F. L., & Phillips, M. (2017). Integrating remote sensing and GIS techniques for monitoring and modeling shoreline evolution to support coastal risk management. *GIScience & Remote Sensing*, 55(3), 355–375.  
<https://doi.org/10.1080/15481603.2017.1376370>

Christofi, D., Mettas, C., Evagorou, E., Stylianou, N., Eliades, M., Theocharidis, C., Chatzipavlis, A., Hasiotis, T., & Hadjimitsis, D. (2025). A review of open remote sensing data with GIS, AI, and UAV support for shoreline detection and coastal erosion monitoring. *Applied Sciences*, 15(9), 4771. <https://doi.org/10.3390/app15094771>

- Fundación Cayos Cochinos. (2008). Plan de manejo del Monumento Natural Marino Archipiélago de Cayos Cochinos 2008–2012. TNC-WWF-USAID-Coral Reef Fund.
- Keller, E. A. (1996). Geología ambiental. Prentice-Hall.
- Matamoros, W. A., Schaefer, J. F., & Kreiser, B. R. (2009). Annotated checklist of the freshwater fishes of continental and insular Honduras. *Zootaxa*, 2307, 1–38.
- Medina, R., & Méndez, F. J. (2006). Inundación costera originada por la dinámica marina. *Ingeniería y Territorio*, 74, 68–75.
- Montgomery, C. W. (1992). Geología ambiental. Wm. C. Brown Publishers.
- Murck, B. W., Skinner, B. J., & Porter, S. C. (1996). Geología ambiental. John Wiley & Sons.
- Salazar-Vallejo, S. I., & González, N. E. (1993). Panorama y fundamentos para un programa nacional. En S. I. Salazar-Vallejo & N. E. González (Eds.), *Biodiversidad marina y costera de México* (pp. 6–38).
- Smith, J. B., Strzepek, K. M., Cardini, J., Castañeda, M., Holland, J., Quiroz, C., Wigley, T. M. L., Herrero, J., Hearne, P., & Furlow, J. (2011). Coping with climate variability and climate change in La Ceiba, Honduras. *Climatic Change*, 108(3), 457–470.
- The Editor. (2025, 23 de julio). The geography of Honduras: Land of Mountains and Two Seas. LAC Geo.
- USAID. 2012. Análisis de Vulnerabilidad al Cambio Climático del Caribe de Belice, Guatemala y Honduras. USAID. Programa Regional de USAID para el Manejo de Recursos Acuáticos y Alternativas Económicas. 87 p.
- Van Rijn, L. C. (2011). Coastal erosion and control. *Ocean & Coastal Management*, 54(12), 867–887.
- Webb, P. (2021). Introduction to oceanography. Roger Williams University, 1(8), 12.
- Zoysa, S., Basnayake, V., Samarasinghe, J. T., Gunathilake, M. B., Kantamaneni, K., Muttill, N., Pawar, U., & Rathnayake, U. (2023). Analysis of multi-temporal shoreline changes due to a harbor using remote sensing data and GIS techniques. *Sustainability*, 15(9), 7651. <https://doi.org/10.3390/su15097651>

## **ANEXOS**

### **Anexo1. Comentarios de cambio propuesta-proyecto**

1. El título cambió de “Evaluación de la erosión costera y pérdida de hábitat en las costas de Honduras los últimos 15 años mediante SIG y Percepción Remota” a “Evaluación de la erosión costera y pérdida de hábitat en las costas de Honduras durante 10 años mediante SIG y Percepción Remota”
2. La pregunta científica cambió de “¿Cómo ha variado la línea costera de Honduras en los últimos 15 años y cuál ha sido el impacto ambiental de la erosión costera sobre los hábitats costeros?” a “¿Cómo ha variado la línea costera de Honduras durante 10 años y cuál ha sido el impacto ambiental de la erosión costera sobre los hábitats costeros?”
3. Se redujo el tiempo de estudio a 10 años
4. Se descartó usar imágenes de antes del 2013, (debido al problema de escáner) para las cuales se seleccionó el sensor, Landsat 7 ETM+. Las características del sensor son: Resolución Espacial: 30 m (multispectral), 15 m (pancromática), 60 m (térmica), Resolución Espectral: 8 bandas, Resolución Radiométrica: 8 bits, Resolución Temporal: 16 días.

### **Anexo 2. Reporte generado por DSAS, sitio: Puerto Cortes**

File name: DSAS\_summary\_report\_20251204\_084001.txt

Timestamp of rate calculation: 12/04/2025 08:40:01

DSAS version: 6.0.170

Transects file used to calculate rates: Linea\_transects\_20251204\_083833.geojson

Rate types run: SCE, NSM, EPR, LRR, WLR

Shoreline dates used: 03/28/2014, 05/23/2017, 04/13/2020, 02/28/2024

Shoreline threshold: 2

Confidence Interval (CI) selected: 95.0%

Default Uncertainty: 10

Transect spacing length: 50

Smoothing distance: 250

Coordinate system: EPSG:32616 / WGS 84 / UTM zone 16N

All rates reported are in meters/year (m/y), distance values are in meters (m).

DISTANCE: SCE (Shoreline Change Envelope, m)



SCE OVERALL AVERAGES:

total number of transects: 165

average distance: 55.07

maximum distance: 153.46

maximum distance transect ID: 12

minimum distance: 17.58

minimum distance transect ID: 33

DISTANCE: NSM (Net Shoreline Movement, m)

NSM OVERALL AVERAGES:

total number of transects: 165

average distance: -13.79

number of transects with negative distance: 123

percent of all transects that have a negative distance: 74.55%

maximum negative distance: -135.48

maximum negative distance transect ID: 51

average of all negative distances: -33.69

number of transects with positive distance: 42

percent of all transects that have a positive distance: 25.45%

maximum positive distance: 117.00

maximum positive distance transect ID: 1

average of all positive distances: 44.46

RATE: EPR (End Point Rate, m/yr)

EPR OVERALL AVERAGES:

total number of transects: 165

average rate: -1.39

average of the confidence intervals associated with rates: 1.43

reduced n (number of independent transects): 1.00

uncertainty of the average rate using reduced n: 1.43

average rate with reduced n uncertainty: -1.39 +/- 1.43

number of erosional transects: 123

percent of all transects that are erosional: 74.55%

percent of all transects that have statistically significant erosion: 49.09%

maximum value erosion: -13.65

maximum value erosion transect ID: 51

average of all erosional rates: -3.39

number of accretional transects: 42

percent of all transects that are accretional: 25.45%

percent of all transects that have statistically significant accretion: 13.94%

maximum value accretion: 11.79

maximum value accretion transect ID: 1

average of all accretional rates: 4.48

RATE: LRR (Linear Regression Rate, m/yr)

LRR OVERALL AVERAGES:

total number of transects: 165

average rate: -0.70

average of the confidence intervals associated with rates: 11.49

reduced n (number of independent transects): 14.48

uncertainty of the average rate using reduced n: 3.02

average rate with reduced n uncertainty: -0.70 +/- 3.02

number of erosional transects: 100

percent of all transects that are erosional: 60.61%

percent of all transects that have statistically significant erosion: 11.52%

maximum value erosion: -14.43

maximum value erosion transect ID: 49

average of all erosional rates: -3.66

number of accretional transects: 65

percent of all transects that are accretional: 39.39%

percent of all transects that have statistically significant accretion: 0.00%  
maximum value accretion: 13.97  
maximum value accretion transect ID: 1  
average of all accretional rates: 3.87

RATE: WLR (Weighted Linear Regression, m/yr)

WLR OVERALL AVERAGES:

total number of transects: 165  
average rate: -0.70  
average of the confidence intervals associated with rates: 11.49  
reduced n (number of independent transects): 14.48  
uncertainty of the average rate using reduced n: 3.02  
average rate with reduced n uncertainty: -0.70 +/- 3.02

number of erosional transects: 100  
percent of all transects that are erosional: 60.61%  
percent of all transects that have statistically significant erosion: 11.52%  
maximum value erosion: -14.43  
maximum value erosion transect ID: 49  
average of all erosional rates: -3.66

number of accretional transects: 65  
percent of all transects that are accretional: 39.39%  
percent of all transects that have statistically significant accretion: 0.00%  
maximum value accretion: 13.97  
maximum value accretion transect ID: 1  
average of all accretional rates: 3.87