



**Detección de cambios en la línea de costa en el municipio de Arboletes para los años
2001, 2010 y 2022 utilizando imágenes Landsat 7 y 8**

Elizabeth López Camargo

11792213132

Karol Tatiana Dussan Tapias

11792211025

Universidad Antonio Nariño

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Facultad de Ingeniería Ambiental

Bogotá, Colombia

2022

**Detección de cambios en la línea de costa en el municipio de Arboletes para los años 2001,
2010 y 2022 utilizando imágenes Landsat 7 y 8**

Elizabeth López Camargo

Karol Tatiana Dussan Tapias

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Especialista en Sistemas de Información Geográfica

Director:

Doctor Andrés Felipe Carvajal Vanegas

Codirector (a):

Universidad Antonio Nariño

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Facultad de Ingeniería Ambiental

Bogotá, Colombia

2022

Tabla de contenido

Lista de figuras	4
Lista de tablas	4
1. Introducción	8
2. Marco Teórico	9
2.1. Evaluación de cambios en la línea de costa: Una revisión teórica	9
2.2. Estado del conocimiento	12
3. Objetivos	15
3.1. Objetivo General	15
3.2. Objetivos Específicos	15
4. Metodología	16
4.1. Área de estudio	16
4.2. Procesamiento de imágenes landsat 7 y 8	20
4.3. Digitalización de líneas de costa (SHORELINE)	25
4.4. Creación de líneas base (BASELINE)	26
4.5. Uso de Digital Shoreline Analysis System DSAS para la creación de transectos	27
5. Resultados y Discusión	29
5.1. Resultados	29
5.2. Discusión	38
6. Conclusiones	40

Lista de figuras

Figura 1. Línea temporal del estudio de la erosión costera por parte del INVEMAR.....	13
Figura 2. Localización general del área de estudio (Línea de costa) en el Municipio de Arboletes en el departamento de Antioquia	17
Figura 3. Localización general de la línea de costa en el municipio de Arboletes	18
Figura 4. Cambios en la línea de costa en la zona del volcán de lodo de Arboletes	19
Figura 5. Imagen de referencia búsqueda en la página USGS.....	21
Figura 6. Imagen de referencia contenido imágenes analizadas.....	22
Figura 7. Imagen de referencia ArcToolbox.....	22
Figura 8. Imagen de referencia de las propiedades de las imágenes	23
Figura 9. Imagen de referencia ArcToolbox.....	23
Figura 10. Imagen de referencia de las propiedades de las imágenes procesadas	24
Figura 11. Imágenes procesadas para los años 2001,2010 y 2022	24
Figura 12. Líneas de costas de los años 2001, 2010 y 2022 digitalizadas en ArcMap para ser procesadas en el software DSAS.	25
Figura 13. Merge de las líneas de costa y buffer de 150 metros.....	26
Figura 14. Atributos Feature Class Shoreline y Baseline	27
Figura 15. Parámetros usados en la extensión DSAS.....	28
Figura 16. Trazos de líneas de costas de los períodos 2001, 2010 y 2022.	29
Figura 17. Transectos a través de la zona de estudio.....	32
<i>Figura 18. Gráfica de relación entre transectos y valores EPR. Los transectos encerrados en el rectángulo rojo corresponden a los distribuidos en el sector Barracudas (ver Figura 19).</i>	<i>33</i>
Figura 19. Distribución de valores EPR de los transectos.	34

<i>Figura 20. Gráfica de relación entre transectos y valores EPR. Los transectos encerrados en el rectángulo rojo corresponden a los distribuidos en el sector Barracudas (ver Figura 21).</i>	34
Figura 21. Distribución de valores NSM de los transectos.....	35
Figura 22. Gráfica de relación entre transectos y valores EPR. Los transectos encerrados en el rectángulo rojo corresponden a los distribuidos en el sector Centro - Sur	36
Figura 23. Distribución de valores EPR de los transectos	36
Figura 24. Gráfica de relación entre transectos y valores EPR. Los transectos encerrados en el rectángulo rojo corresponden a los distribuidos en el sector Barracudas	37
Figura 25. Distribución de valores NSM de los transectos.....	37

Lista de tablas

Tabla 1. Características de las imágenes satelitales utilizadas	20
Tabla 2. Clasificación de línea de Costa mediante el método LRR.....	30
Tabla 3. Caracterización porcentual de la zona de estudio.....	31

Resumen

Este trabajo presenta el análisis realizado a la dinámica de la línea de costa del Municipio de Arboletes en el departamento de Antioquia a partir del procesamiento de imágenes satelitales landsat 7 y 8 de los años 2001, 2010 y 2022. Al digitalizar la línea de costa de los años analizados fue posible calcular el cambio en esta temporalidad.

Las tasas de erosión calculadas mediante regresión lineal por la extensión Digital Shoreline Analysis System (DSAS) que desarrollo el USGS, evidencian la alta vulnerabilidad a los procesos erosivos, que son resultado de la interacción de procesos físicos complejos como la morfodinámica, el diapirismo de lodo, la meteorización y el oleaje sumadas a factores antrópicos (obras civiles, sobrecargas, infraestructura, etc.) que generan la alta tendencia a la ocurrencia de fenómenos erosivos.

Esto afecta a la mayoría de los municipios localizados sobre el Urabá en el Departamento de Antioquía. Trabajos realizados por entidades públicas y privadas han evaluado de manera integral los efectos e implicaciones que tiene este fenómeno sobre las poblaciones costeras.

De acuerdo a los datos obtenidos fue posible identificar la variación de la línea de costa del municipio de Arboletes con una tasa de erosión de 4.1 m/Año frente a una tasa de acreción menor al 0.5 m/Año, lo cual la convierte en una zona en la predomina la erosión.

Palabras claves: Erosión, Arboletes, Imágenes satelitales, Digital Shoreline Analysis System (DSAS), Diapirismo de lodo, morfodinámica

1. Introducción

La región Caribe Colombiana se extiende al norte del país entre los 7 y 12° de latitud Norte y 71 y 77° longitud Oeste (INVEMAR, 2017). En el departamento de Antioquía la zona costera incluye los municipios de Arboletes, Damaquiel, Necoclí, Turbo, Uveros y Zapata que representan el 10.21 % de la población total del departamento (INVEMAR, 2017).

La zona costera normalmente se encuentra expuesta a procesos erosivos constantes causados por el oleaje, vientos con alta velocidad y actividad antrópica (Posada, 2008). Arboletes actualmente presenta un aumento significativo en la tasa de erosión debido a la intensificación en las actividades de extracción de materiales pétreos de la playa (INVEMAR, 2017).

La manera más eficiente para la determinación de los cambios de línea de costa son los estudios multitemporales por medio de imágenes satelitales. (Chuvienco, 1990) define, un análisis multitemporal como “un análisis de tipo espacial realizados mediante la comparación de las coberturas interpretadas en imágenes de satélites, fotografías aéreas o mapas de una misma zona para diferentes periodos de tiempo”.

En este trabajo se presenta el análisis del cambio de línea de costa durante los últimos 40 años del municipio de Arboletes. Las Imágenes satelitales LANDSAT 7 y 8 se van a procesar con ayuda del plugin USGS: Digital Shoreline Analysis System (DSAS), extensión de ArcGis. La información obtenida se integrará con información sobre el clima, agentes erosivos, marco geológico y geomorfológico para realizar un análisis integral de la zona.

2. Marco Teórico

A continuación, se relacionan los aspectos técnicos y teóricos que dan soporte a la elaboración de este trabajo.

2.1. Evaluación de cambios en la línea de costa: Una revisión teórica

Dentro del marco teórico del presente estudio es importante la definición y comprensión de los términos de línea de costa, erosión, agentes erosivos, tasa de erosión, avance/retroceso costero y análisis multitemporal mediante imágenes satelitales.

En diversos estudios enfocados al análisis multitemporal de la línea de costa se relacionan varios aspectos ambientales, antrópicos y climáticos con la línea de costa, sin embargo, es importante establecer una definición específica del término. (Ojeda Zújar, 2000), define la línea de costa como “un criterio que no viene establecido, sino que es “interpretado” por el investigador o técnico”. Por otro lado, (Alesheikh et al., 2007), define la línea de costa de manera más simplista como “la línea de contacto entre la tierra y el cuerpo de agua”. Esta última es la definición más aceptada y utilizada por los autores actuales y por ende será la empleada en este trabajo.

Así mismo, dentro de los análisis de cambios en la línea de costa es importante identificar los principales procesos erosivos involucrados. Entendiendo la erosión como fenómeno de descomposición y desintegración de materiales por acciones mecánicas, químicas y biológicas, que en ambientes costeros consiste en erosión producida por los procesos de abrasión costera y submarina (RACEFN, 2020). (Sheeja P.S & Ajay Gokul A.J., 2016), clasifican la erosión costera en dos categorías: la forma espacial y forma temporal.

Así pues, “hay tres principales formas de erosión costera: (1) Retroceso de la línea de costa, que se produce predominantemente en la costa blanda (formada por sedimentos cuaternarios y eluviales de tierra roja y lagunas – barrera) sin medidas de protección ingenieriles, (2), el movimiento hacia tierra del contorno de profundidad de cero metros, causado por la incisión de la superficie de la playa, que suele producirse en una costa con malecón y (3) erosión descendente de la playa inferior en la zona submareal por la corriente de marea, manteniendo la planicie superior su forma original.” (Sheeja P.S & Ajay Gokul A.J., 2016).

En cuanto a la evaluación de erosión costera por temporalidad hay dos formas de evaluarla. La primera consiste en procesos erosivos que cambian de manera definitiva la dinámica de la línea de costa, este tipo de cambios se dan de manera progresiva en períodos de tiempos largos y parecen “invisibles”. La segunda, hace referencia a cambios repentinos y/o abruptos en la dinámica de la línea de costa, ocurren en lapsos cortos, suelen ser visibles y muy dañinos (Sheeja P.S & Ajay Gokul A.J., 2016).

Una vez entendida la erosión como el principal fenómeno causante del cambio en la línea de costa es fundamental identificar los agentes erosivos relacionados. En la actualidad se tienen clasificados los agentes en agentes climáticos y agentes antrópicos, constituidos por agua, viento, hielo, actividad biológica y actividad humana, respectivamente.

Un indicador crucial a evaluar en este estudio es la tasa de erosión, la cual mide la velocidad a la que la costa o la playa se desplaza hacia el mar, usualmente es medida en m/año (Thieler E. Robert et al., 2009). Esta tasa puede ser influenciada por múltiples factores, como la fuerza de las olas, el viento, la temperatura y los cambios del nivel del mar (Thieler E. Robert et al., 2009). La tasa de erosión es esencial debido a que puede tener un impacto significativo en la costa y en la

infraestructura cercana. Por lo tanto, es fundamental monitorear y comprender la tasa de erosión para tomar medidas efectivas en la gestión costera sostenible (Thieler E. Robert et al., 2009).

La tasa de erosión va ligada al avance y el retroceso costero, los cuales son dos procesos dinámicos que afectan a las costas de todo el mundo, son fenómenos que se producen debido a factores naturales como la erosión y la sedimentación, así como factores antropogénicos como la construcción de infraestructura cerca de la costa (Alesheikh et al., 2007).

Todas las variables mencionadas anteriormente son la base del análisis de cambios en la línea de costa alrededor del mundo. En los años 60 's la determinación, definición y cuantificación de estas se hacía a través de métodos que involucran trabajos en campo, específicamente medidas topográficas de la línea de costa (Alesheikh et al., 2007). En la actualidad, el análisis multitemporal mediante el uso de imágenes satelitales ha sido ampliamente utilizado para detectar cambios en la línea de costa, como se demuestra en varios estudios (Alesheikh et al., 2007; Davila Martínez et al., 2000). Estos análisis se basan en la comparación de imágenes satelitales captadas en diferentes momentos, lo que permite evaluar los cambios en la forma y la posición de la costa (Chuvieco, 1990). La erosión costera es uno de los problemas más relevantes que afectan la costa colombiana (Correa y Vernet, 2004; Posada, 2008), por lo que el análisis multitemporal es esencial para evaluar la vulnerabilidad y amenaza de la costa ante el cambio climático (INVEMAR, 2017). Para realizar este trabajo de manera más eficiente y fácil se han desarrollado herramientas digitales como la extensión asociada a ArcMap Digital Shoreline Analysis System (DSAS) que ha sido usada por diversos autores para la evaluación de cambios en la línea de costa alrededor del mundo (Sheeja P.S & Ajay Gokul A.J., 2016; Thieler E. Robert et al., 2009; Xia Wang 1, 2018)

En general, la combinación de técnicas de teledetección y herramientas digitales permiten una evaluación precisa y efectiva de la situación actual de la erosión costera en Colombia y su evolución en el tiempo (Ricaurte-Villota, 2018).

2.2. Estado del conocimiento

Debido a su localización geográfica y a sus particularidades físicas, la línea de costa colombiana ha sido un tema de interés de estudio de diversos autores. En 2001, (ALARCON et al., 2001) presentaron la Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, donde se describieron las características de los ambientes y recursos marinos y costeros en el país. En 2002, el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras publicó un informe sobre el estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia haciendo uso de herramientas satelitales (INVEMAR, 2002).

El estado actual del conocimiento sobre la erosión costera en el municipio de Arboletes ha sido un tema de interés para diferentes investigadores en los últimos años. Autores como (Aguirre, 1994) y (Alvarado, 2003) han utilizado imágenes satelitales para el análisis de procesos morfodinámicos de cuencas hidrográficas. Por su parte (Andrade et al., 2004) y (Andrade C., 2006) han enfocado sus trabajos al estudio de la erosión en la línea de costa.

Además, entidades estatales han utilizado imágenes satelitales para el estudio de zonas costeras del Caribe colombiano con el fin de implementar políticas de protección y zonificación del territorio, como es el caso de la (Alcaldía Mayor de Cartagena de Indias, 2001), (Alcaldía Municipal de Riohacha, 2001) y (Alcaldía Municipal de Riohacha, 2015).

El Instituto de investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR) ha participado activamente en el análisis de la línea costera del país desde el 2001 (Ricaurte-Villota, 2018). Enfocando la evaluación de procesos erosivos a la gestión del riesgo en zonas costeras. A lo largo del tiempo han recogido información de toda la línea de costa del país y la han resumido en diversos trabajos en dónde presentan una evaluación de su cambio, agentes involucrados y análisis estadísticos. La línea temporal de estos trabajos se puede ver en la siguiente imagen (Figura 1).

Figura 1. Línea temporal del estudio de la erosión costera por parte del INVEMAR



Fuente: Ricaurte-Villota C (2018)

Respecto al estado del conocimiento a la extensión asociada a ArcMap Digital Shoreline Analysis System (DSAS) esta ha sido ampliamente usada por diversos autores para realizar análisis gráficos y estadísticos de líneas de costas alrededor del mundo. Un estudio realizado por (Xia Wang 1, 2018), utiliza todos los datos disponibles de landsat para detectar cambios en la línea de costa con un caso de estudio de Texas en Estados Unidos de manera precisa y eficaz. (Song et al., 2021), utilizan el sistema DSAS para analizar cambios en la línea de costa en la provincia de Jiangsu, China, durante un período de 45 años. (Abou Samra & Ali, 2021), hace uso de DSAS para estudiar

la costa de la Duna del río Nilo. Finalmente, (Mishra et al., 2020), realiza una recopilación de trabajos alrededor del mundo enfocados al análisis de línea costera mediante el uso de DSAS, los autores encontraron un incremento en el interés en el uso de la extensión y además, hallaron que DSAS proporciona información precisa sobre los cambios de línea de costa.

Por estos motivos, con el fin de evaluar de manera precisa y eficaz los cambios en la línea de costa en el Municipio de Arboletes, se hará uso de la metodología propuesta por la extensión DSAS para ArcMap.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Analizar las variaciones en la línea de costa en el municipio de Arboletes en el departamento de Antioquia, a través de un análisis multitemporal de los años 2001, 2010 y 2022 utilizando imágenes satelitales Landsat 7 y 8.

3.2. Objetivos Específicos

- Identificar el límite de la línea costera del municipio de Arboletes para los años 2001, 2010 y 2022 por medio de imágenes Landsat 7 y 8.
- Realizar el análisis espacial y temporal de cambio en la línea costera del municipio de Arboletes durante un periodo de 22 años utilizando la extensión de ArcMap denominada Digital Shoreline Analysis System (DSAS) que desarrolló el USGS.

4. Metodología

En esta sección se detallan los insumos empleados para la obtención de la tasa de cambio de la línea de costa, los pasos necesarios para el procesamiento de la información y las generalidades analizadas para la comprensión de la realidad del municipio de Arboletes.

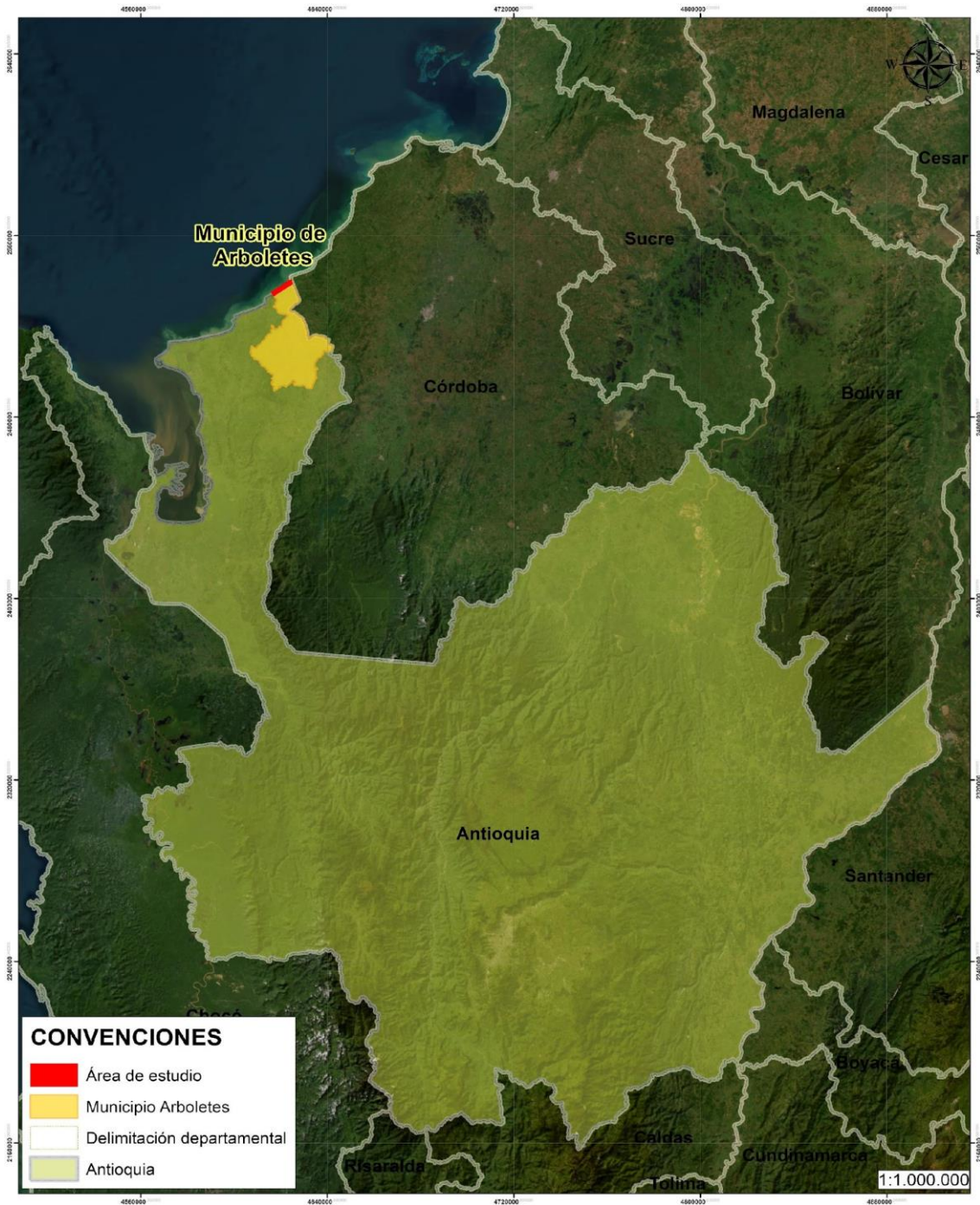
4.1. Área de estudio

La franja litoral estudiada, se encuentra ubicada en la costa caribe, al noroccidente de Colombia, en el departamento de Antioquia, que limita al occidente con el departamento del Chocó, al oriente con los departamentos de Bolívar, Boyacá, Santander y Córdoba y al sur con Risaralda y Caldas.

El retroceso de la línea de costa afecta la mayor parte de los municipios costeros en Antioquia; sin embargo, Arboletes es uno de los municipios más afectados debido a la interacción de procesos físicos complejos como la tectónica, el diapirismo de lodo, la meteorización y el oleaje.

Arboletes está localizado al noroccidente de Antioquia en la parte más expuesta del golfo de Urabá (Figura 2).

Figura 2. Localización general del área de estudio (Línea de costa) en el Municipio de Arboletes en el departamento de Antioquia



Fuente: Elaboración propia con cartografía base del IGAC

La línea de costa del municipio tiene aproximadamente 11,8 km de longitud. Geomorfológicamente está localizada sobre una terraza marina emergida por procesos

tectónicos, ocurrencia de diapirismo de lodo y deformaciones locales. Geológicamente está compuesta por arcillolitas y lodolitas con algunas intercalaciones de areniscas, con zonas escarpadas altamente meteorizadas que muestran fracturamiento por efectos de descompresión e intrusión de lodos (Referencia plancha). Todas estas condiciones físicas sumadas a factores antrópicos (obras civiles, sobrecargas, infraestructura, etc.) generan que sea un sector más susceptible al oleaje.

Figura 3. Localización general de la línea de costa en el municipio de Arboletes



Fuente: Elaboración propia

Es de resaltar que el municipio de Arboletes ha contado con mayor atención por parte de entidades para la protección costera, con la creación de Diques entre los años 2009 y 2014.

Sin embargo, la erosión es un fenómeno complejo que continúa afectando de forma importante el municipio, un ejemplo claro de las repercusiones de este fenómeno se evidencia en la vereda Barracuda dónde se encuentra á ubicado el Volcán de lodo de Arboletes ya que esta área presenta riesgo alto ante la erosión y es de suma importancia para la población debido a que mueve recursos económicos por medio del turismo y representa la identidad cultural de los habitantes.

A continuación, se muestra la afectación de la erosión en la línea de costa en el Volcán de lodo de Arboletes (Figura 2), se observa la comparación de la línea de costa para el año 2012 (línea roja) y para el año 2020 (línea amarilla), con variaciones considerables y pérdidas muy significativas en el terreno continental.

Figura 4. Cambios en la línea de costa en la zona del volcán de lodo de Arboletes



Fuente: Elaboración propia a partir de imágenes tomadas de Google Earth.

El ejemplo anterior es uno de los diversos resultados que se obtuvieron haciendo el análisis de imágenes satelitales landsat 7 y 8 a lo largo de este trabajo, los cuales serán abordados de forma más extensa en capítulos posteriores.

4.2. Procesamiento de imágenes landsat 7 y 8

Para desarrollar el análisis comparativo de la variación de las líneas de costa durante el periodo establecido se realizó la descarga de imágenes satelitales landsat 7 y 8 en la página USGS Science For a Changing World Earth Explore (<https://earthexplorer.usgs.gov>).

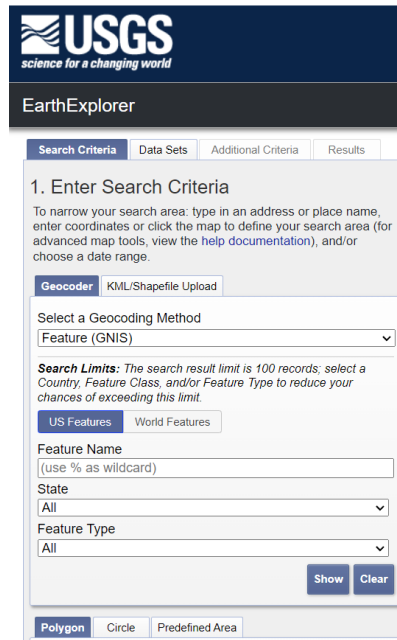
Tabla 1. Características de las imágenes satelitales utilizadas

Sensor	Fecha	Resolución
LANDSAT 8 OLI/TIRS C1 Level-1	2/3/2022	Banda 1-Ultra Azul - 30
		Banda 2- Azul -30
		Banda 3 Verde - 30
		Banda 4- Rojo 30 m
		Banda 5 - NIR 30 m
		Banda 6 – Shortwave Infrared
		(SWIR) 1 – 30
	7/10/2010	Banda 7 – Shortwave Infrared
		(SWIR) 2 – 30
		Banda 8 – Pancromática -15
		Banda 9 – Cirrus -30
LANDSAT 7 ETM+C1 Level-1	18/02/2001	Banda 10- STIR 1 – 100* 30
		Banda 11- STIR 2 - 100* 30
		Banda 1-Ultra Azul - 30
		Banda 2- Verde -30
		Banda 3 Rojo - 30
		Banda 4- NIR 30 m
		Banda 5 - Shortwave Infrared (SWIR) 1 30 m
Banda 6 – Thermal 60 **30		
Banda 7 – Shortwave Infrared		

		(SWIR) 2 – 30
		Banda 8 – Pancromatica -15

Fuente: Servicio Geológico de los Estados Unidos (U.S. Geological Survey)

Figura 5. Imagen de referencia búsqueda en la página USGS



Fuente: Servicio Geológico de los Estados Unidos (U.S. Geological Survey)

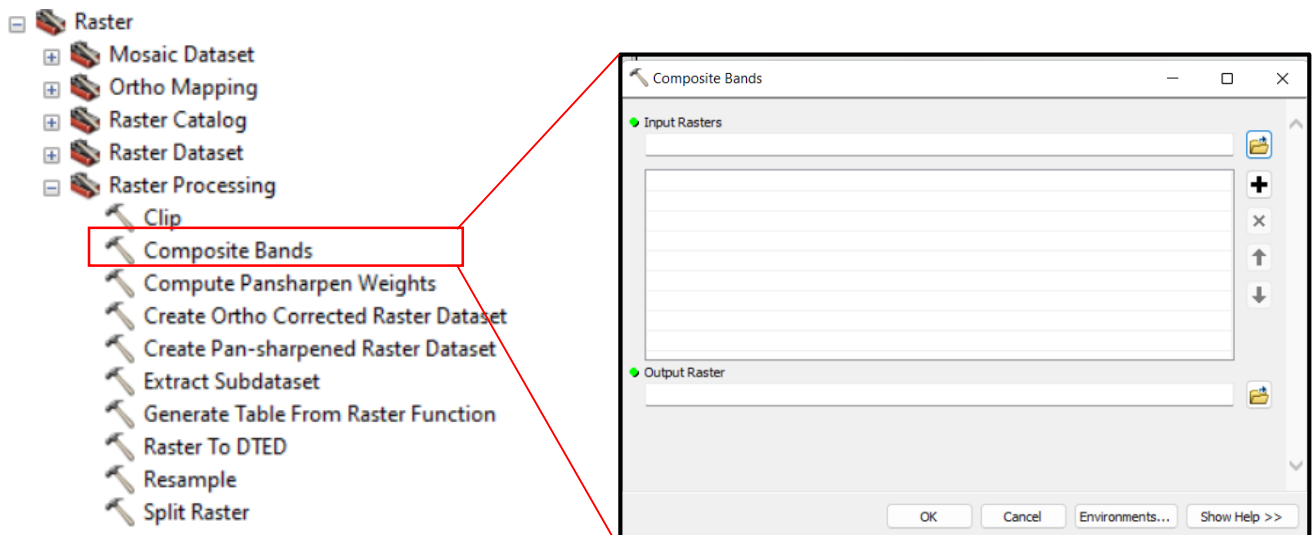
Una vez descargadas, dependiendo del tipo de imagen se realizó el procesamiento de la imagen mediante el software ArcMap 10.8, haciendo uso de la herramienta composite band. Para las imágenes landsat 7 se realizó un composite simple, mientras que, a las imágenes landsat 8 se les realizó el proceso de pansharpen con la banda 8.

Figura 6. Imagen de referencia contenido imágenes analizadas

LC08_L1TP_010054_...	10/15/2022 12:08 PM	Documento de tex...	115 KB
LC08_L1TP_010054_...	10/15/2022 12:08 PM	Archivo TIF	79,441 KB
LC08_L1TP_010054_...	10/15/2022 12:08 PM	Archivo TIF	80,790 KB
LC08_L1TP_010054_...	10/15/2022 12:08 PM	Archivo TIF	83,294 KB
LC08_L1TP_010054_...	10/15/2022 12:08 PM	Archivo TIF	84,493 KB
LC08_L1TP_010054_...	10/15/2022 12:08 PM	Archivo TIF	89,585 KB
LC08_L1TP_010054_...	10/15/2022 12:08 PM	Archivo TIF	89,124 KB
LC08_L1TP_010054_...	10/15/2022 12:08 PM	Archivo TIF	85,867 KB
LC08_L1TP_010054_...	10/15/2022 12:08 PM	Archivo TIF	334,364 KB
LC08_L1TP_010054_...	10/15/2022 12:08 PM	Archivo TIF	46,356 KB
LC08_L1TP_010054_...	10/15/2022 12:08 PM	Archivo TIF	74,691 KB
LC08_L1TP_010054_...	10/15/2022 12:08 PM	Archivo TIF	71,878 KB
LC08_L1TP_010054_...	10/15/2022 12:08 PM	Archivo JSON	15 KB
LC08_L1TP_010054_...	10/15/2022 12:08 PM	Documento de tex...	13 KB
LC08_L1TP_010054_...	10/15/2022 12:08 PM	Documento XML	18 KB
LC08_L1TP_010054_...	10/15/2022 12:08 PM	Archivo TIF	3,625 KB
LC08_L1TP_010054_...	10/15/2022 12:08 PM	Archivo TIF	218 KB
LC08_L1TP_010054_...	10/15/2022 12:08 PM	Archivo TIF	2,320 KB
LC08_L1TP_010054_...	10/15/2022 12:08 PM	Archivo JSON	49 KB

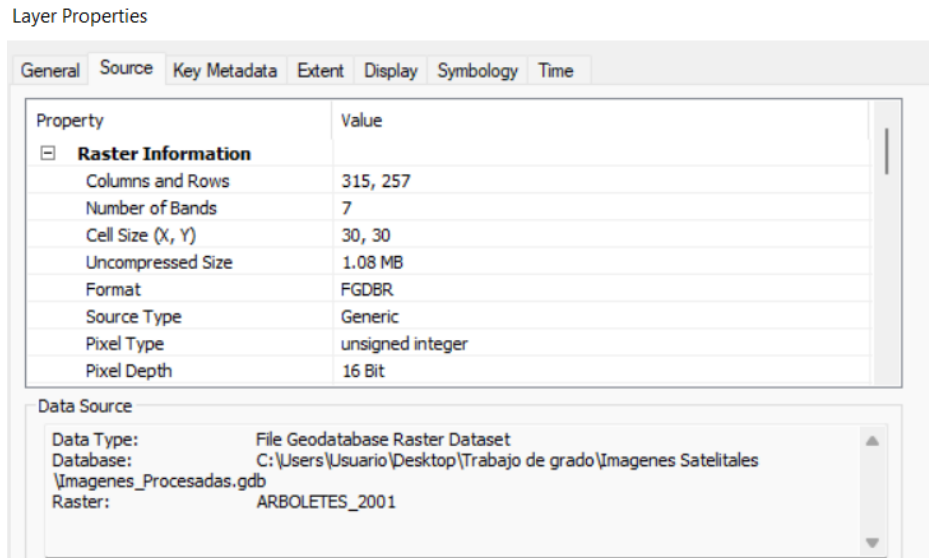
En ArcToolbox dentro de data management tools se despliegan las opciones de procesamiento raster, en dónde se encuentra la herramienta composite Bands. (Figura 7)

Figura 7. Imagen de referencia ArcToolbox.



Con este proceso se espera la generación de una imagen que pueda ser usada para el análisis de la línea de costa y que contenga todas las bandas con una resolución aproximada de 30 m.

Figura 8. Imagen de referencia de las propiedades de las imágenes



Una vez realizada la composición de bandas, las imágenes Landsat 8 deben ser reprocesadas, esta vez por la herramienta de compute Pansharpen Weights. En este proceso es necesario tener la imagen generada en el paso anterior y contar con la banda 8 o Pancromática para realizar el proceso. Al final de este se obtiene una imagen con tamaño de pixel de 15 m.

Figura 9. Imagen de referencia ArcToolbox

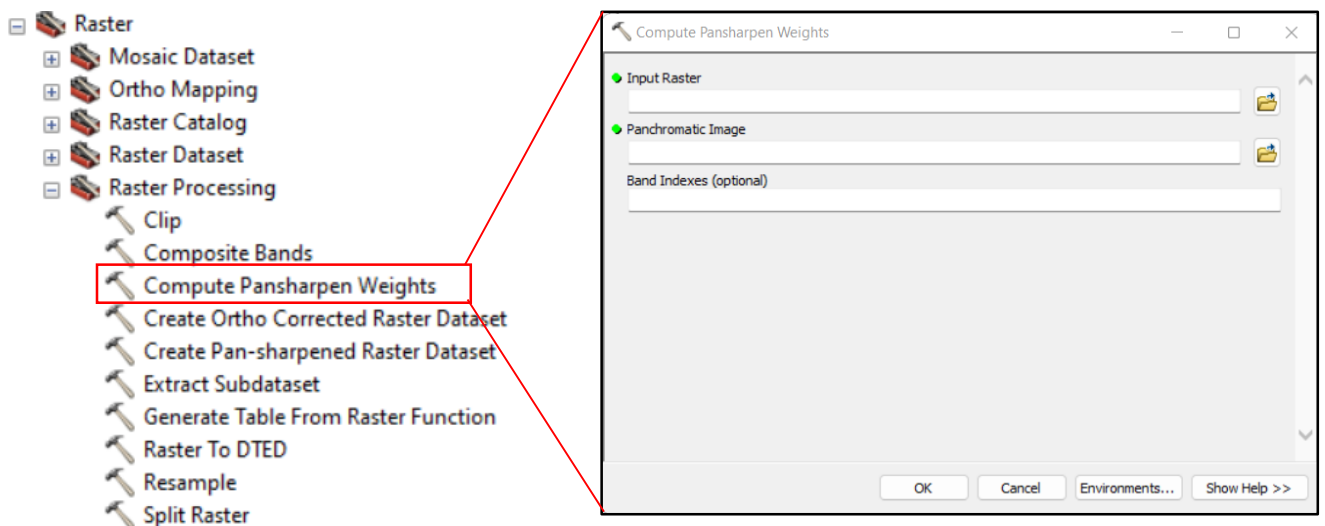


Figura 10. Imagen de referencia de las propiedades de las imágenes procesadas

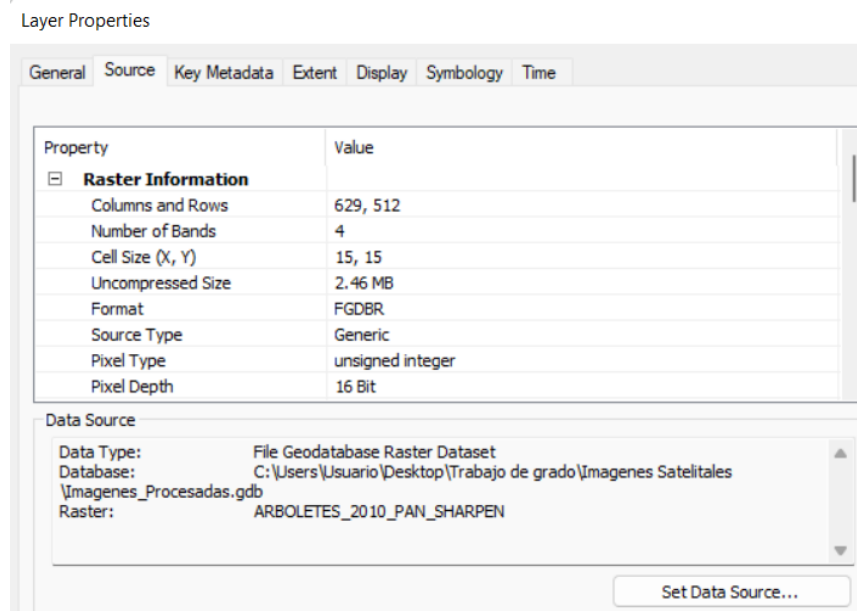


Figura 11. Imágenes procesadas para los años 2001, 2010 y 2022



Pansharpen 2001

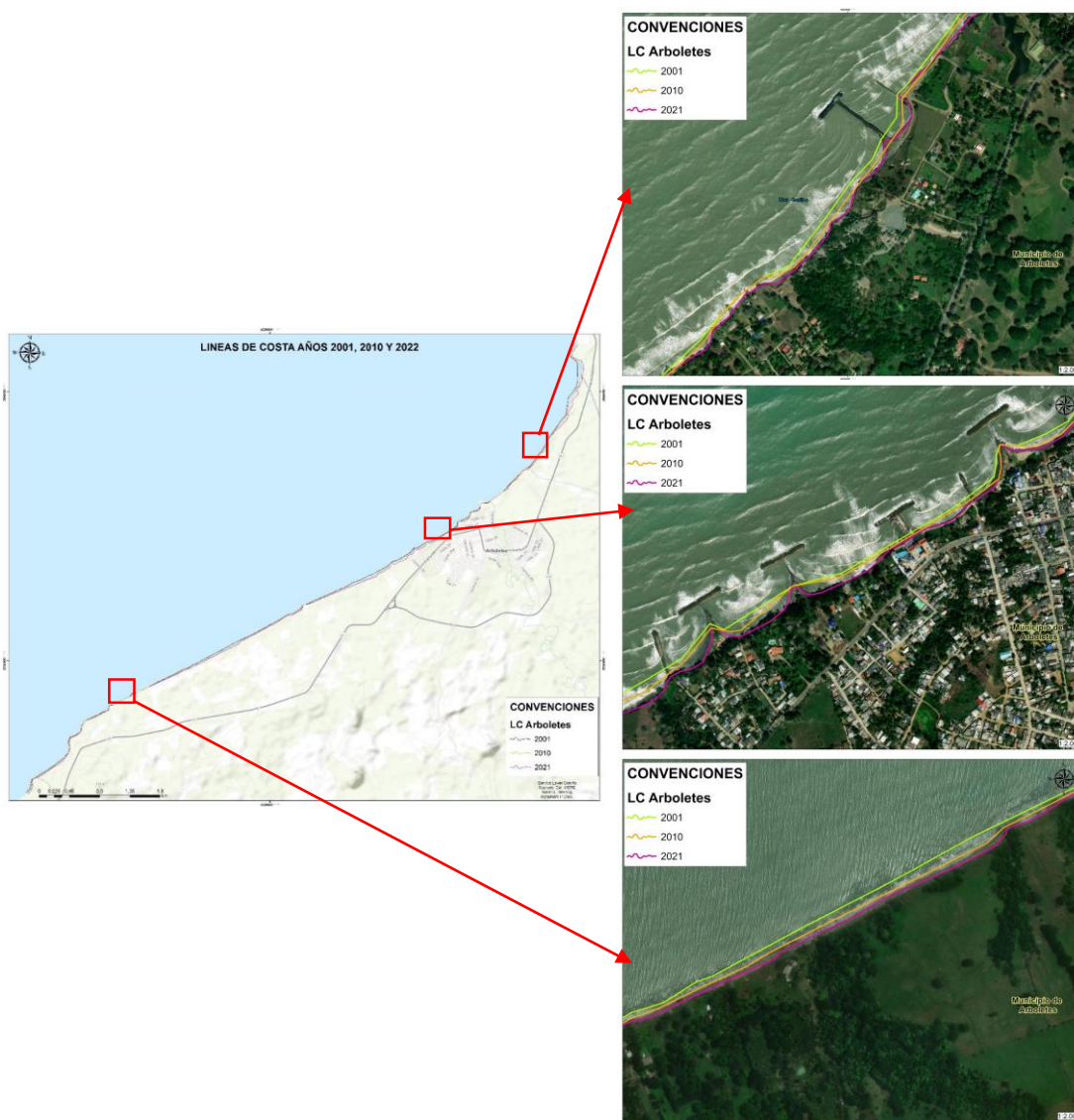
Pansharpen 2010

Pansharpen 2022

4.3. Digitalización de líneas de costa (SHORELINE)

Sobre las imágenes multitemporales procesadas se realizó la digitalización de la línea de costa de los años 2001, 2010 y 2022 y se obtuvieron shapefiles con el fin de procesarlos en la extensión de ArcGis, DSAS (Figura 12).

Figura 12. Líneas de costas de los años 2001, 2010 y 2022 digitalizadas en ArcMap para ser procesadas en el software DSAS.

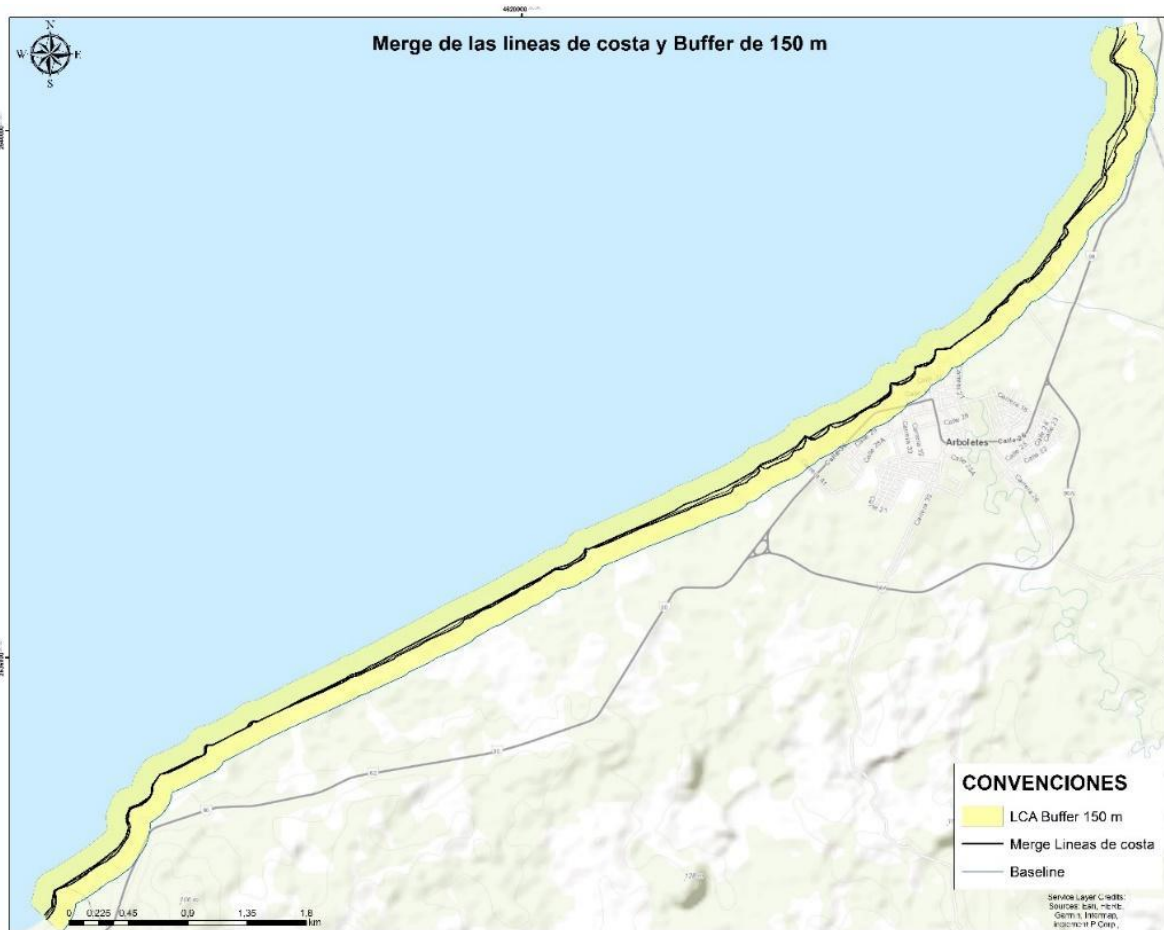


Fuente: Elaboración propia

4.4. Creación de líneas base (BASELINE)

Tomando las líneas de costa, se generó un merge de las mismas y posteriormente un buffer de 150 metros a lado y lado con el fin de generar la Baseline (Figura 13).

Figura 13. Merge de las líneas de costa y buffer de 150 metros



Fuente: Elaboración propia

Se creó un Feature Class que combina las diferentes líneas de costa con sus respectivos atributos generados de forma manual en ArcGis, dentro de los atributos se encuentra la longitud, ID, distancia, fecha, el tipo de línea e incertidumbre. La línea de base se obtuvo una vez realizado el Merge de las líneas de costa, del cual se generó el Buffer que permitió la digitalización de la línea de base a una distancia de 150m.

Figura 14. Atributos Feature Class Shoreline y Baseline

OBJECTID *	SHAPE *	DATE	UNCERTAINTY	SHAPE_Length
3	Polyline	01/04/2021	1	11985,614915
4	Polyline	03/05/2001	1	11519,814011
5	Polyline	27/09/2010	1	11573,347991

OBJECTID *	SHAPE *	ID	Group	OFFshore	CasDir	SHAPE_Length
1	Polyline	1	1	0	0	11624,733498

Fuente: Elaboración propia

4.5. Uso de Digital Shoreline Analysis System DSAS para la creación de transectos

Para el cálculo de los cambios de la línea de costa se utilizó la extensión de ArcMap Digital Shoreline Analysis System (DSAS) desarrollada por el USGS versión 5.0 con la finalidad de conocer que tanto se ha erosionado la costa en el municipio de Arboletes durante los últimos 22 años.

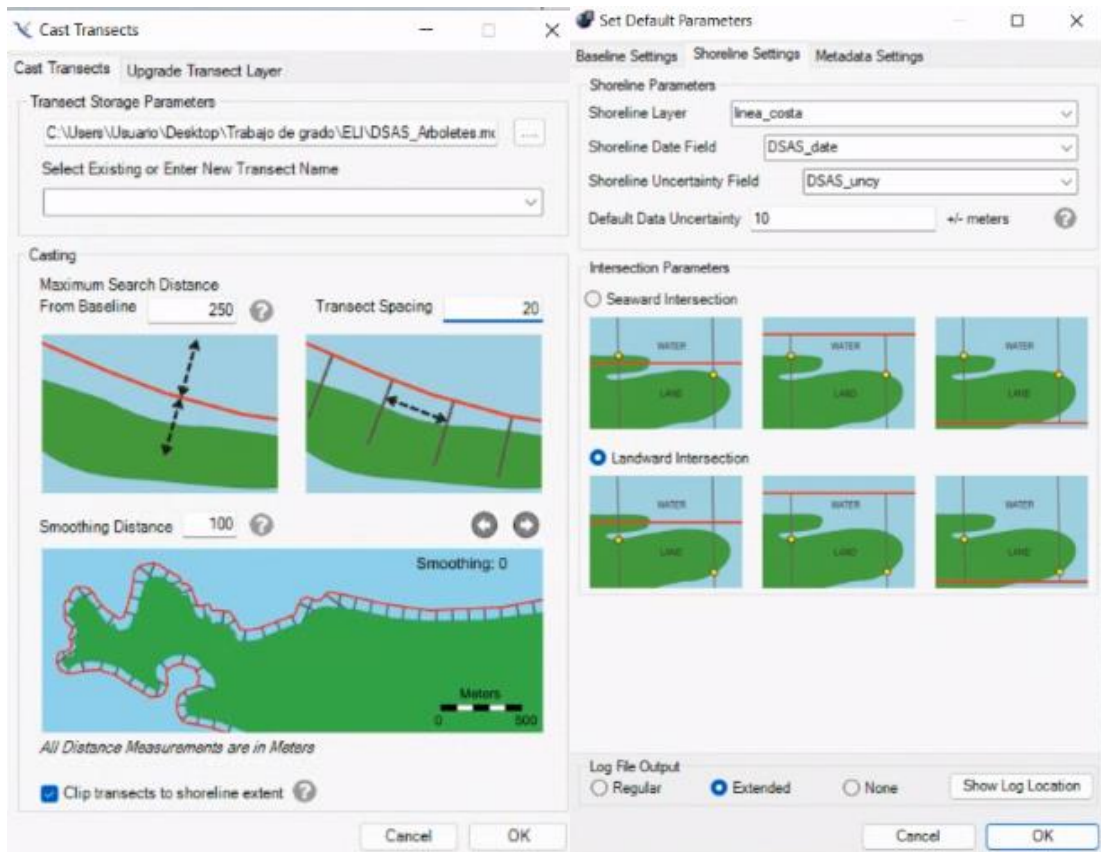
Esta extensión utiliza la Baseline como un punto de partida o referencia para poder generar transectos que permitan determinar los cambios para el periodo de tiempo seleccionado para este análisis.

La extensión DSAS generó una serie de transectos al seleccionar atributos y parámetros necesarios para el cálculo estadístico de las variaciones y cambios en las líneas de costa de los años analizados

empleado como medida estadística la tasa de regresión lineal (LRR) que establece el cambio conforme a los ajustes de la regresión del área respecto al transecto específico.

Se generaron transectos con incertidumbre de 10 metros, con un espaciado de 20 m, una distancia máxima de 250 metros desde la línea base y un suavizado de 20 metros (Figura 15).

Figura 15. Parámetros usados en la extensión DSAS



5. Resultados y Discusión

5.1. Resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir de la investigación llevada a cabo. Se organizan de manera clara y concisa, con el fin de facilitar su comprensión y análisis. Se incluyen gráficos, tablas y descripciones detalladas de los hallazgos más relevantes. De esta forma, se busca demostrar la validez de las conclusiones y recomendaciones que se han elaborado a partir de los datos recopilados.

Como se mencionó en la metodología se realizó el análisis de costa para tres períodos de tiempo distintos (2001, 2010 y 2022). En la siguiente figura se observan los trazos utilizados para el análisis en DSAS (Figura 16).

Figura 16. Trazos de líneas de costas de los períodos 2001, 2010 y 2022.



Un total de 571 transectos se analizaron en a lo largo de 11,98 Km de línea de costa de la zona de estudio. De estos transectos 22 presentan valores positivos, asociados a zonas de acreción. Los demás transectos exhiben distancias negativas, asociados a un ambiente erosivo en la zona.

Los valores obtenidos de tasa de regresión lineal en los transectos oscilan en -4.2 m/Año y 4.0 m/Año. Como se presenta en la Tabla 2 los valores negativos representan las zonas erosivas del transecto, mientras que , los valores positivos están relacionados a zonas de acreción.

Tabla 2. Clasificación de línea de Costa mediante el método LRR

Categoría	Tasa de cambio de la línea de costa (m/año)	Clasificación
1	-4.2 <LRR<= -3.0	Erosión Alta
2	-3.0 <LRR<= -2.0	Erosión media
3	-2.0 <LRR<= -1.0	Erosión baja
4	-1.0 <LRR<= -0.5	Erosión muy baja
5	-0.5 <LRR<= 0.5	Erosión - Acreción
6	0.5 <LRR<= 1.0	Acreción muy baja
7	1.0 <LRR<= 2.0	Acreción baja
8	2.0 <LRR<= 3.0	Acreción media
9	3.0 <LRR<= 4.0	Acreción Alta

En la figura se observa el tramo completo de la línea de costa con los transectos obtenidos mediante DSAS (Figura 17). La escala de colores rojos indica las zonas con mayor tasa de erosión, colores entre naranjas representan zonas de erosión intermedias, tonos amarillos verdosos representan

zonas intermedias de acreción y finalmente los colores amarillos intensos indican las zonas de acreción.

De acuerdo a los datos obtenidos, la zona se encuentra predominantemente en ambientes de erosión baja a muy baja con porcentajes entre los 33,8% y 30,2%. Aunque los ambientes de acreción sobrepasan porcentualmente a los erosivos de intensidad media a alta el contexto general de la zona sigue siendo de ambiente erosivo con un total 83,7% (Tabla 3).

Tabla 3. Caracterización porcentual de la zona de estudio.

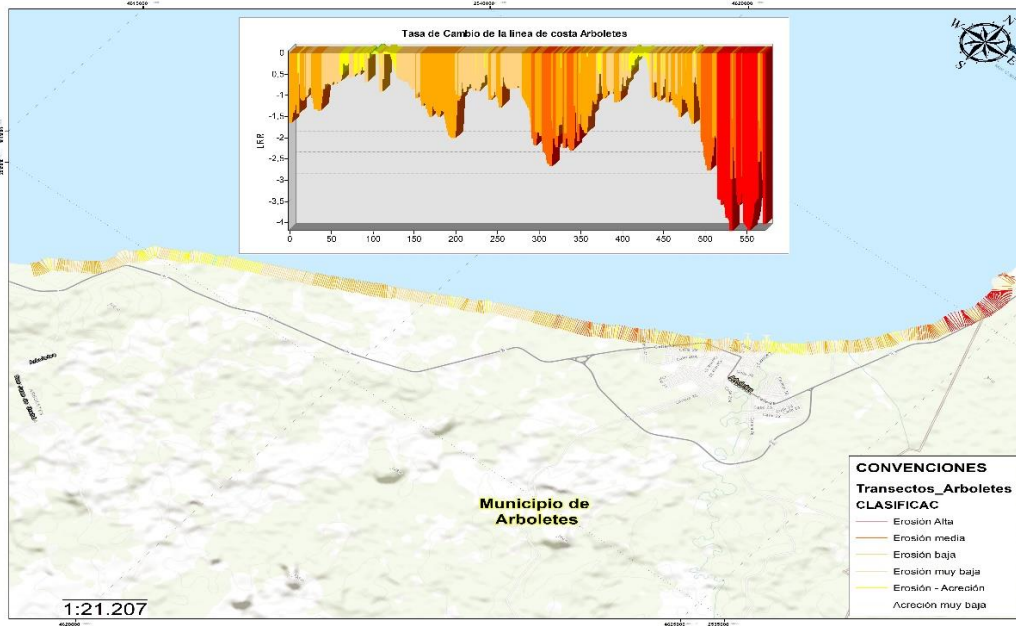
CLASIFICACIÓN	PORECENTAJE
Erosión Alta	9,4
Erosión media	10,3
Erosión baja	33,8
Erosión muy baja	30,2
Erosión - Acreción	16,0
Acreción muy baja	0,3

CLASIFICACIÓN DE LA TASA DE CAMBIO



Como se observa en la figura, la distribución de las transectas coincide con lo encontrado en la caracterización porcentual de la zona (Figura 17).

Figura 17. Transectos a través de la zona de estudio.



Se observa concentración de transectos con valores negativos hacia la parte Norte del Municipio, en el sector conocido como Barracudas. En esta zona se reportan valores de EPR (End Point Rate) de -4.2 m/año (Figura 18), los valores de NMS (Net Shoreline Movement, m) alcanza valores de -84 m (

Figura 19. Distribución de valores EPR de los transectos.

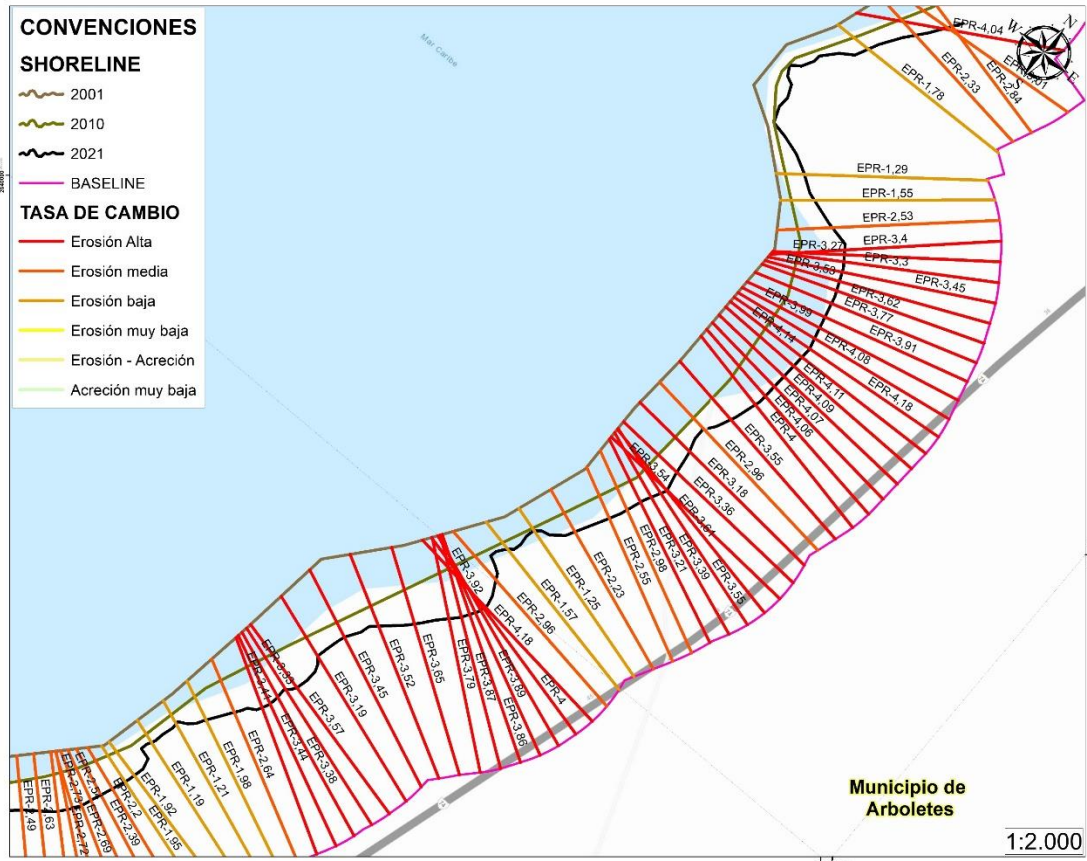


Figura 20).

Figura 18. Gráfica de relación entre transectos y valores EPR. Los transectos encerrados en el rectángulo rojo corresponden a los distribuidos en el sector Barracudas (ver Figura 19).

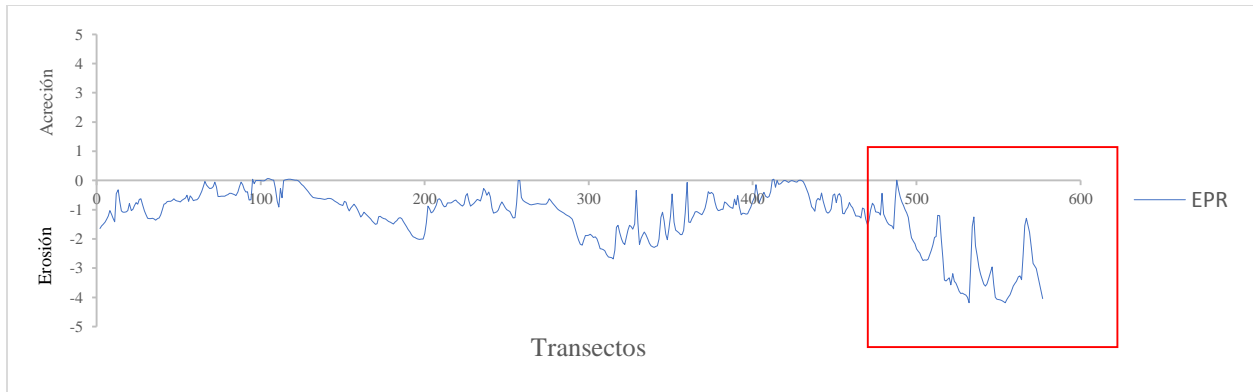


Figura 19. Distribución de valores EPR de los transectos.

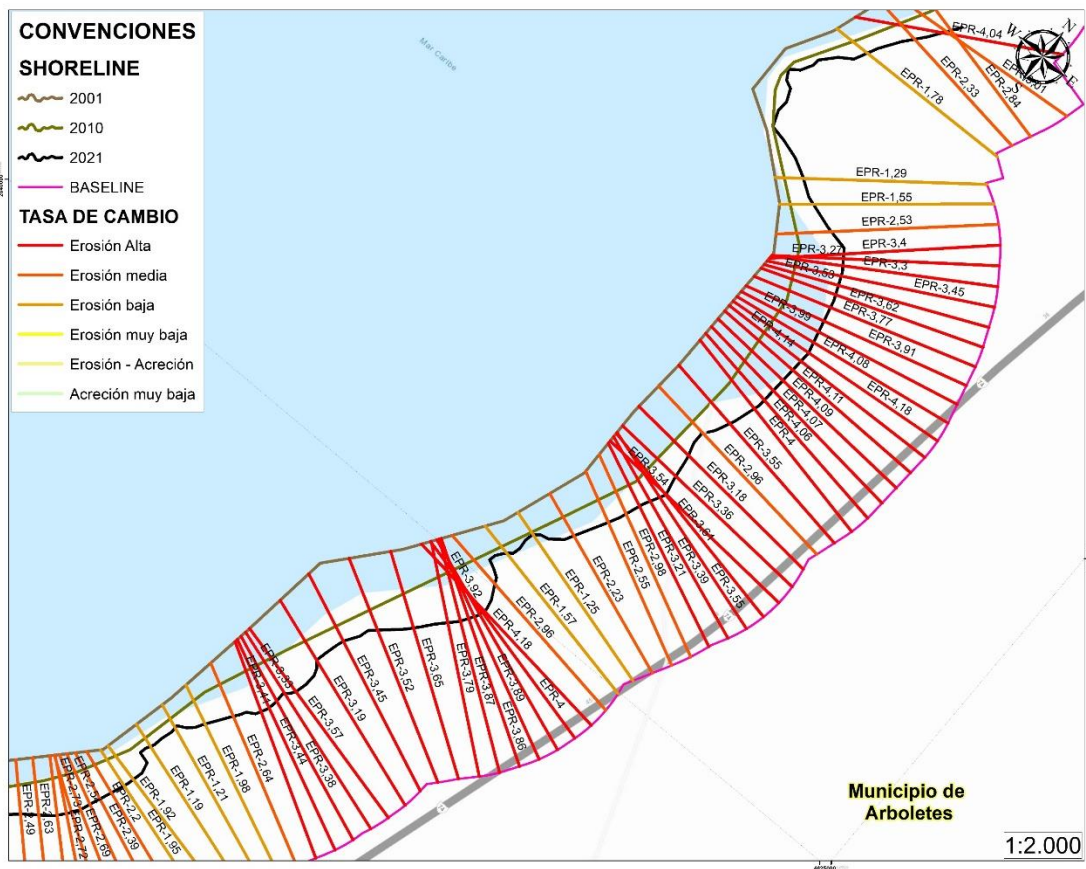


Figura 20. Gráfica de relación entre transectos y valores EPR. Los transectos encerrados en el rectángulo rojo corresponden a los distribuidos en el sector Barracudas (ver Figura 21).

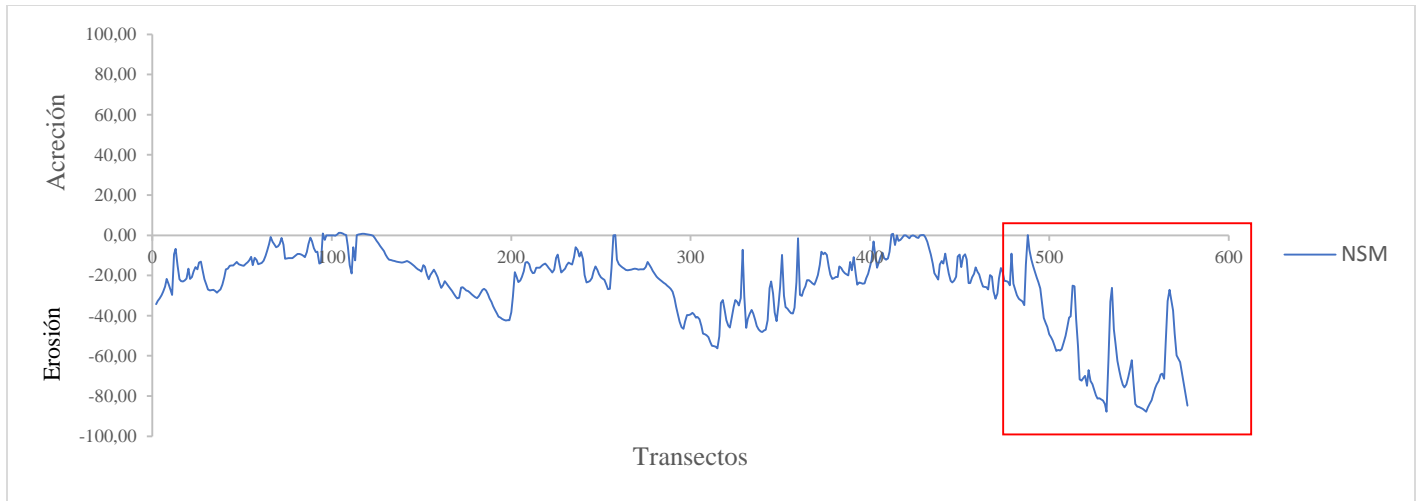
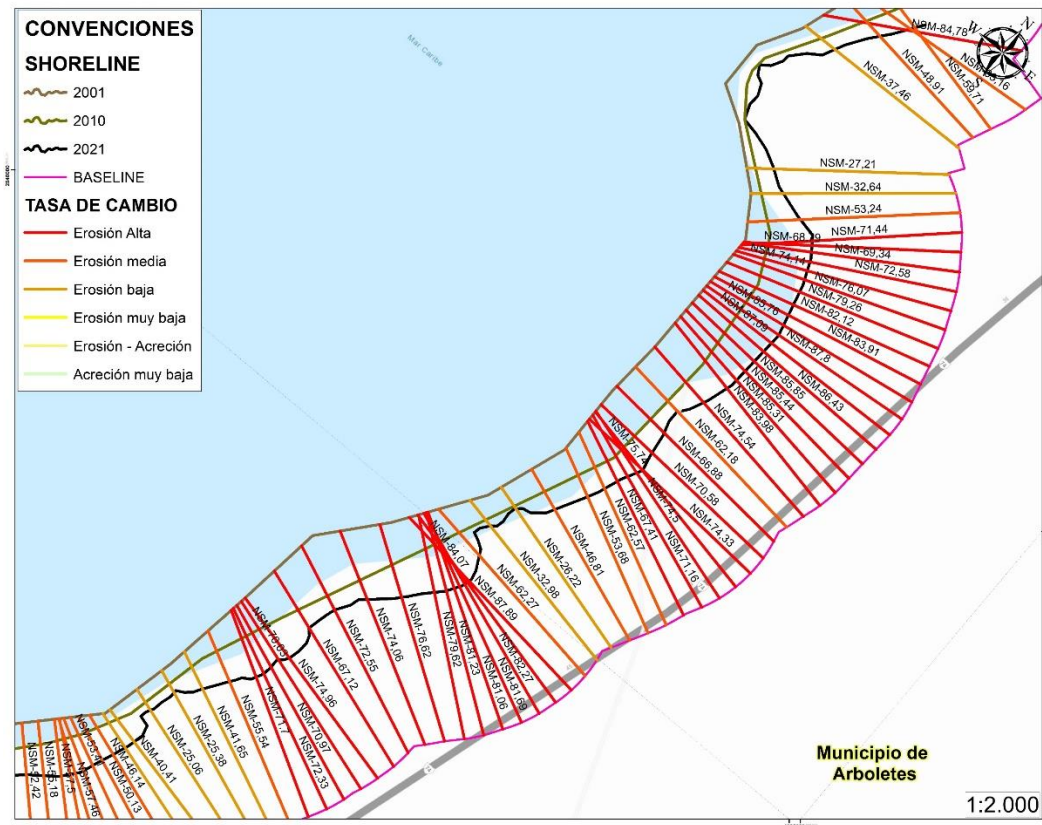


Figura 21. Distribución de valores NSM de los transectos.



Otro punto de concentración de transectos con valores negativos se encuentra hacia la parte centro Sur del Municipio, en el sector conocido como Barracudas. En esta zona se reportan valores de

EPR (End Point Rate) de -2.2 m/año (Figura 18), los valores de NMS (Net Shoreline Movement, m) alcanza valores de -40 m (Figura 22).

Figura 22. Gráfica de relación entre transectos y valores EPR. Los transectos encerrados en el rectángulo rojo corresponden a los distribuidos en el sector Centro - Sur

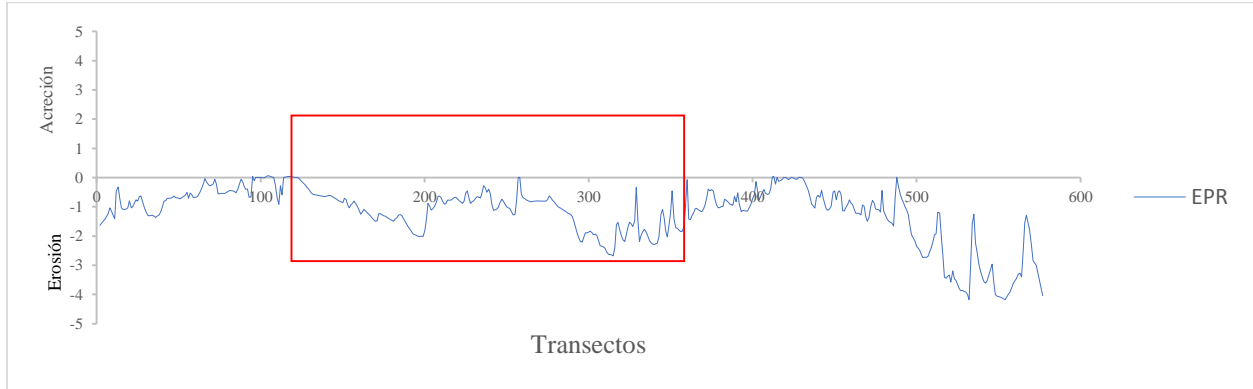


Figura 23. Distribución de valores EPR de los transectos

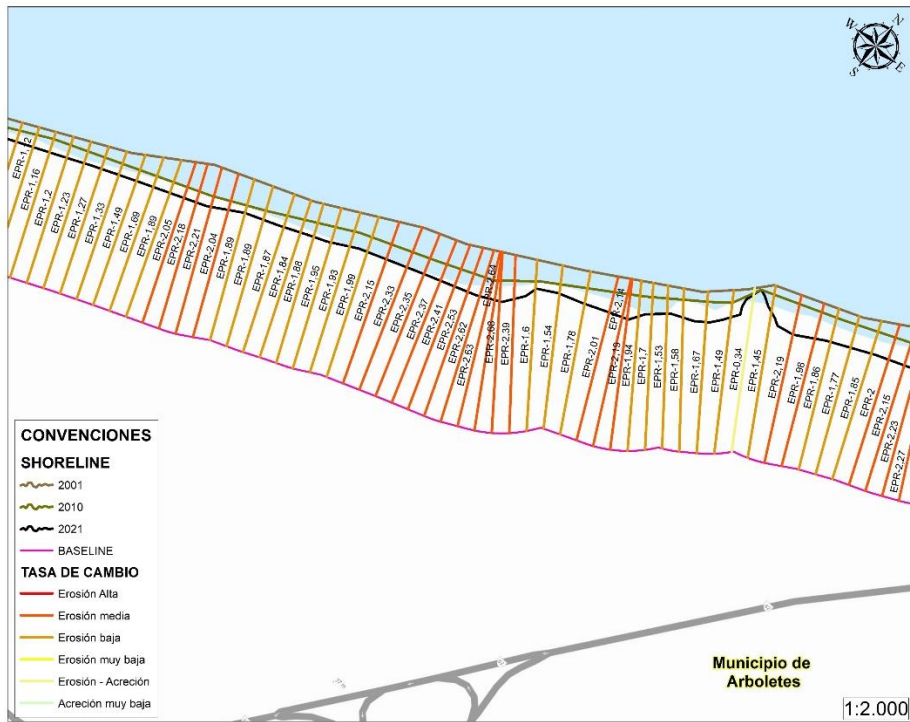


Figura 24. Gráfica de relación entre transectos y valores EPR. Los transectos encerrados en el rectángulo rojo corresponden a los distribuidos en el sector Barracudas

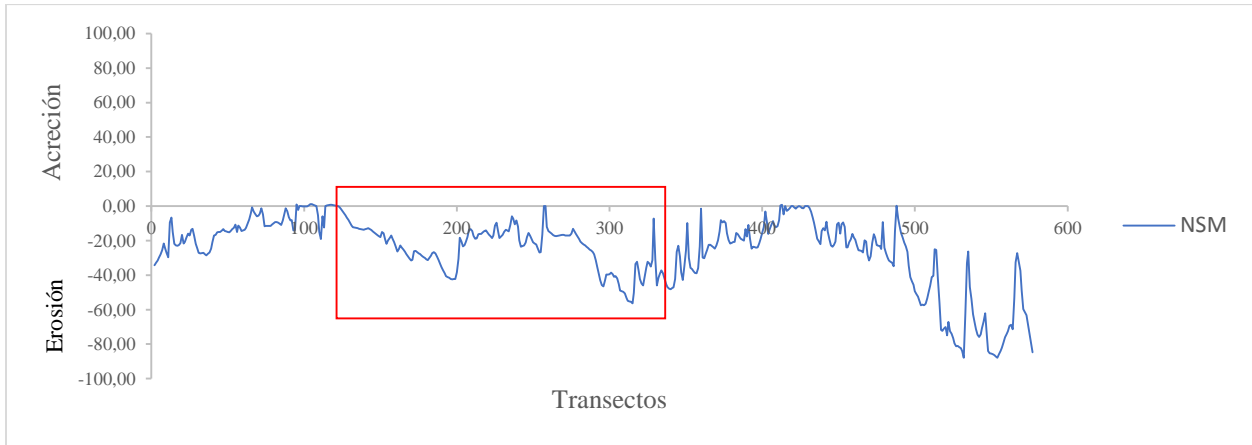
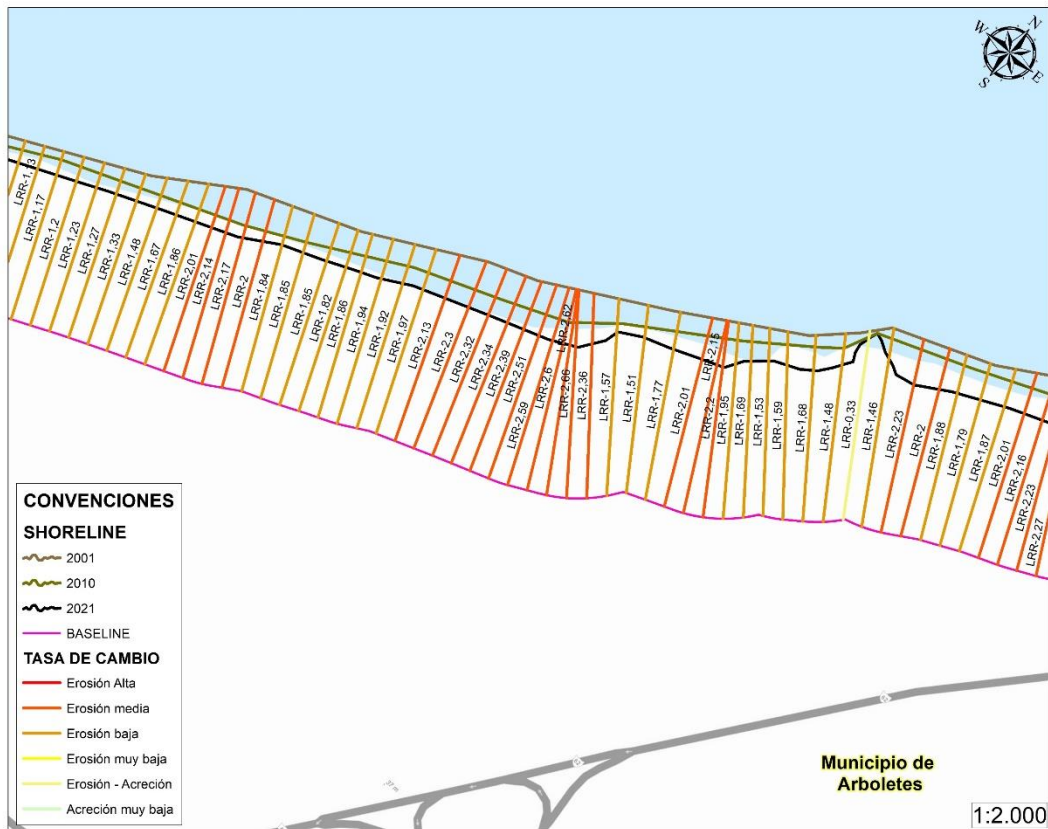


Figura 25. Distribución de valores NSM de los transectos



5.2. Discusión

Un total de 11,8 Km de la costa del municipio de Arboletes fueron evaluados mediante la extensión DSAS. Para su análisis se trazaron un total de 571 transectos de las cuales se obtuvo información sobre el la tasa de regresión lineal (LRR), Punto final tasa (EPR) y Movimiento neto de línea de costa (NSC). Los valores negativos obtenidos de EPS y NSC son indicativos de un avance del mar hacia la masa continental (retroceso continental) ((Song et al., 2021). Los transectos con valores más negativos se localizan en la vereda Barrancuda al Norte de la zona de estudio. De acuerdo a los estudios realizados en esta zona por (Posada, 2008), (INVEMAR, 2002) y (INVEMAR, 2017) esta zona se caracteriza por ser una zona vulnerable debido a procesos erosivos activos generados principalmente por agentes climáticos como son el oleaje, interacciones físicas complejas y acción antrópica, lo cuál coincide con lo encontrado en este estudio. De acuerdo al análisis, la zona norte no presenta una acción antrópica significativa, sino que, sus altas tasas de erosión están relacionadas a las propiedades físicas de los materiales que componen las formaciones geológicas y a los agentes climáticos ya mencionados.

Este mismo fenómeno de erosión se presenta en la parte centro-sur de la zona de estudio. En está zona la erosión si presenta relación directa con el componente antrópico, ya que, geomorfológicamente consiste en una zona con menos escarpes y por ende las interacciones físicas entre el oleaje y las formaciones geológicas es menor.

Por otro lado, Arboletes como cabecera municipal ha sido estudiada por varios autores debido a la intensificación de sus actividades económicas que están ocasionando un evidente deterioro de las playas (Andrade C., 2006; Correa y Vernet, 2004; Felipe Paniagua Arroyave, 2016; INVEMAR, 2002, 2017; Ricaurte-Villota, 2018), por lo cual se esperarían valores de transectos altos

distribuidas a lo largo de esta zona. Sin embargo, los resultados corresponden a valores asociados de erosión intermedia a baja, esto se debe, probablemente a las obras de mitigación que han sido implementadas.

Finalmente, la extensión DSAS permitió evaluar. Comparar e interrelacionar variables elementales para el análisis de línea de costa. Los valores obtenidos mediante DSAS pudieron ser analizados aplicando metodologías empleadas por autores alrededor del mundo (Abou Samra & Ali, 2021; Mishra et al., 2020; Song et al., 2021) permitiendo llegar a resultados comparables a trabajos realizados por autores y entidades del País, estos trabajos analizan de manera conjunta diferentes variables de la zona y por lo tanto poseen un marco contextual más completo de la zona que los convierte en buenos referentes.

6. Conclusiones

- A partir del procesamiento y análisis multitemporal de imágenes satelitales Landsat 7 y 8 (año 2001, 2010 y 2022) fue posible identificar la variación de la línea de costa del municipio de Arboletes con una tasa de erosión de 4.1 m/Año frente a una tasa de acreción menor al 0.5 m/Año, lo cual la convierte en una zona en la predomina la erosión.
- Las tasas de erosión calculadas mediante regresión lineal por la extensión Digital Shoreline Analysis System (DSAS) que desarrollo el USGS, evidencian la alta vulnerabilidad a los procesos erosivos, impactando directamente a los habitantes del municipio.
- La interacción de procesos físicos complejos como la tectónica, el diapirismo de lodo, la meteorización y el oleaje sumadas a factores antrópicos (obras civiles, s...
- A partir del procesamiento y análisis multitemporal de imágenes satelitales Landsat 7 y 8 (año 2001, 2010 y 2022) fue posible identificar la variación de la línea de costa del municipio de Arboletes con una tasa de erosión de 4.1 m/Año frente a una tasa de acreción menor al 0.5 m/Año, lo cual la convierte en una zona en la predomina la erosión.
- Las tasas de erosión calculadas mediante regresión lineal por la extensión Digital Shoreline Analysis System (DSAS) que desarrollo el USGS, evidencian la alta vulnerabilidad a los procesos erosivos, impactando directamente a los habitantes del municipio.
- La interacción de procesos físicos complejos como la tectónica, el diapirismo de lodo, la meteorización y el oleaje sumadas a factores antrópicos (obras civiles, sobrecargas, infraestructura, etc.) generan la alta tendencia a la ocurrencia de fenómenos erosivos.
- El análisis realizado visualiza la tendencia creciente a la erosión de la línea de costa, permitiendo afirmar los resultados de estudios de autores citados en este trabajo.

- El estudio refleja que la extensión DSAS suministra datos que validan el comportamiento morfodinámico de la línea de costa en determinado periodo de tiempo.

REFERENCIAS

- About Samra, R. M., & Ali, R. R. (2021). Applying DSAS tool to detect coastal changes along Nile Delta, Egypt. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 24(3), 463–470. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2020.11.002>
- Aguirre, N. (1994). Análisis morfodinámico de la cuenca hidrográfica norte del río Sinú. *SIG-PAFC No.4*, 68–85.
- ALARCON, J. C., ANDRADE, G., GONZALO, J., BARRETO, L., BENAVIDES, H., & BERNAL, N. (2001). *Colombia : Primera Comunicacion nacional ante La convencion Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climatico*. Ideam (Instituto de Hidrologia, Meteorologia y Estudios Ambientales).
- Alcaldía Mayor de Cartagena de Indias. (2001). *DECRETO No. 0977 de 2001 Por medio del cual se adopta el Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito Turístico y Cultural de Cartagena de Indias" "Por medio del cual se adopta el Plan de Ordenamiento Territorial del Distrito Turístico y Cultural de Cartagena de Indias."*
- Alcaldía Municipal de Riohacha. (2001). *Plan de ordenamiento territorial del municipio de Riohacha, Guajira*.
- Alcaldía Municipal de Riohacha. (2015). *Plan de ordenamiento territorial del municipio de Riohacha, Guajira. Documento técnico de soporte*.
- Alesheikh, A. A., Ghorbanali, A., & Nouri, N. (2007). *Coastline change detection using remote sensing*.

Alvarado, M. (2003). Hidrodinámica del río Magdalena. . *Conferencia En El Primer Seminario Internacional de Geología Marina y Costera.*

Andrade C. (2006). Reflexiones sobre la erosión en la línea de costa en isla Salamanca (Magdalena). *INVEMAR.*

Andrade, C., Thomas, Y. F., Lonin, S., Parra, C., Co, O., Kunesch, S., Menanteau, L., Andriau, A., Piñeres, C., Velasco, S., París, D., & Resumen, C. (2004). *Aspectos morfodinámicos de la bahía de Cartagena de Indias.* www.cioh.org.co

Correa y Vernet. (2004). *INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA DE LA EROSIÓN LITORAL EN URABÁ (SECTOR ARBOLETE S - TURBO) COSTA CARIBE COLOMBIANA.*

Davila Martínez, I. M., Francisco, B., & Briceño, J. (2000). *Y 2020 UTILIZANDO IMÁGENES LANDSAT 7 Y 8 ANALYSIS OF CHANGE IN THE COASTLINE IN THE LITTORAL ZONE OF THE VÍA ISLA DE SALAMANCA NATIONAL NATURAL PARK FOR THE YEARS 2000, 2013 AND 2020 USING LANDSAT 7 AND 8 IMAGES.*

Felipe Paniagua Arroyave, J. (2016). *MIGRACIÓN HISTÓRICA ACTUALIZADA Y PREDICCIÓN DE LA POSICIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA EN SECTORES ACANTILADOS CRÍTICOS DEL LITORAL ANTIOQUEÑO CONSIDERANDO ESCENARIOS DE ASCENSO DEL NIVEL DEL MAR.*

INVEMAR. (2002). *INFORME DEL ESTADO DE LOS AMBIENTES MARINOS Y COSTEROS EN COLOMBIA.*

INVEMAR. (2017). *Análisis de vulnerabilidad marino costera e insular ante el cambio climático para Colombia como insumo para la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático.*

Mishra, M., Sudarsan, D., Kar, D., Naik, A. K., Das, P. P., Santos, C. A. G., & da Silva, R. M. (2020). The development and research trend of using dsas tool for shoreline change analysis: A scientometric analysis. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 14(1), 69–77. <https://doi.org/10.4090/juee.2020.v14n1.069077>

Ojeda Zújar, J. (2000). *MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE LA EROSIÓN COSTERA. REVISIÓN, TENDENCIAS Y PROPUESTA.*

Posada, P. , B. O. y H. P. , W. (2008). *013-Diagnóstico De La Erosión en la Zona Costera de Caribe Colombiano.*

RACEFN. (2020). *Glosario de Geología.*

Ricaurte-Villota, C. , C.-D. O. , G. M. E. , B.-E. M. , M. D. F. , C.-R. C. , B.-Z. F. , L. G. A. y A. M. E. (2018). *Amenaza vulnerabilidad por erosion costera en colombia: Enfoque regional para la gestión del riesgo.*

Sheeja P.S, & Ajay Gokul A.J. (2016). Application of Digital Shoreline Analysis System in Coastal Erosion Assessment. *International Journal of Engineering Science and Computing*. <https://doi.org/10.4010/2016.1848>

Song, Y., Shen, Y., Xie, R., & Li, J. (2021). A DSAS-based study of central shoreline change in Jiangsu over 45 years. *Anthropocene Coasts*, 4(1), 115–138. <https://doi.org/10.1139/anc-2020-0001>

Thieler E. Robert, Emily A. Himmelstoss, Jessica L. Zichichi, & Ayhan Ergul. (2009). The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0—an ArcGIS Extension for Calculating Shoreline Change. *U.S. Geological Survey Open-File Report* .

Xia Wang 1, Y. L. 1,2,* , F. L. 3,4, Y. L. 1,2 and F. F. 1. (2018). Detecting coastline change with all available landsat data over 1986-2015: A case study for the state of Texas, USA. *Atmosphere*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/atmos9030107>