

Análisis morfodinámico y de vulnerabilidad de la línea de costa durante el periodo 1991 - 2023 mediante geotecnologías en la Isla Jambelí, Cantón Santa Rosa, El Oro

Morphodynamic and vulnerability analysis of the coastline during the period 1991 - 2023 by means of geotechnologies in Jambelí Island, Santa Rosa Canton, El Oro

Brayan Contreras Vargas

Ingeniero Geólogo

Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Naturales – Geología

Guayaquil-Ecuador

brayan.contrerasv@ug.edu.ec

ORCID: <http://orcid.org/0009-0002-6289-4882>

Artículo

Acta Oceanográfica del Pacífico

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Acta Oceanográfica del Pacífico

DOI: <https://doi.org/10.54140/raop.v6i1.82>

Recibido 18 de abril, 2024

Aceptado 23 de junio, 2024

Vol 6. No. 2 2024

ISSN: 1390-129X

ISSN: 2806-5522

Pg. 65-80

Resumen

La isla Jambelí es una zona conformada por llanuras y planicies de sedimentos marinos y zonas de manglar, en donde prevalecen ciclos de erosión y sedimentación, los cuales con el pasar de los años, las olas, corrientes y el evento del ENOS son características del lugar e incluso actividad antrópica influyen en la modificación de la línea de costa de la isla. La reconstrucción de líneas de costa junto con el completo DSAS nos presenta un análisis estadístico de las variaciones que se han presentado en el perfil costero desde 1991 hasta el 2023, y con ello zonas de vulnerabilidad que abordan riesgos y desafíos que enfrenta la isla, las cuales se condicionan por las variables geomorfológicas, hidrogeológicas y sociales presentes en la isla que la ponen en riesgo siendo la parte frente al mar la de mayor vulnerabilidad al estar expuesta y sometida a todos estos factores, pudiendo generar todo tipo de desastres en la isla, a diferencia del otro extremo donde prevalecen zonas estables debido a estar rodeado de manglares que estabilizan el suelo evitando pérdida de este.

Palabras Clave: Isla Jambelí, vulnerabilidad, erosión, sedimentación, nivel del mar, corrientes

Abstract

Jambelí Island is composed of plains and flatlands of marine sediments and mangrove areas, where cycles of erosion and sedimentation prevail. Over the years, waves, currents, and the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) event, along with anthropogenic activity, have influenced the modification of the island's coastline. The reconstruction of coastlines, together with the detailed statistical analysis provided by DSAS, shows variations in the coastal profile from 1991 to 2023, identifying zones of vulnerability and the challenges faced by the island. These variations are due to the geomorphological, hydrogeological, and social conditions present, with the part exposed to the sea being the most vulnerable due to its exposure to these factors. In contrast, the opposite end of the island, surrounded by

mangroves, presents more stable areas, as the mangroves stabilize the soil and prevent its loss.

Key words: Jambelí island, vulnerability, erosion, sedimentation, sea level, currents

Introducción

La costa ecuatoriana se distingue por períodos de pérdida de arena seguido de períodos de acumulación de arena. Estos procesos están ligados a la historia y evolución geomorfológica debida a agentes como viento, agua, olas; y algunas veces a factores climáticos que han formado playas en el cuaternario. Existen, además, depósitos superficiales, conformados por aluviales de esteros, lechos de arena y limo, salitrales que están constituidos por lodo de estuarios (fangal o cangrejal), rocas Miocénicas y dunas caracterizadas por una fuerte erosión eólica y por efecto de las olas.

Núñez (2003) establece que el perfil costero de Ecuador se clasifica en tres tipos: i) costas acantiladas altas con pequeñas bahías como Manta y Manglaralto; ii) costas con acantilados y playas rectilíneas como la Península de Santa Elena y la isla Puná; y iii) costas bajas con manglares en la cercanía de Valdez y Guayaquil a lo largo de la costa Sur.

La isla Jambelí es uno de los sectores de la costa ecuatoriana en donde priman ciclos estacionarios, en el cual la playa pierde una gran cantidad de arena en un periodo (seis meses) y la recobran en otro (seis meses) debido a los procesos geodinámicos de la costa. Soledispa, (2004) sugirió que las pérdidas se producen por corrientes del litoral, las mismas que se forman debido al ángulo con que se aproximan las olas a la playa, transportando arena en forma paralela a la costa. La corriente litoral ha sido reconocida como el principal agente destructor y formador de esta playa en algunos sectores.

Los estudios costeros desempeñan un papel crucial en la comprensión de los sistemas dinámicos de las costas, que son abiertos y susceptibles de ser modificados. Dependiendo de las circunstancias, el movimiento de las aguas por las olas, mareas,

tormentas y corrientes litorales se combinan e interactúan con el continente, resultando en una serie de procesos costeros erosivos o deposicionales (Komar, 1983).

En Jambelí se desarrolla una importante actividad económica basada en la producción de alimentos de la industria camaronera y el turismo. Siendo las comunidades y los ecosistemas costeros de la isla los más propensos a los impactos negativos de estos eventos. Estas amenazas pueden resultar en daños de la propiedad, destrucción de ecosistemas costeros vitales y pérdida de servicios ecosistémicos.

Es fundamental abordar y mitigar estas vulnerabilidades que genera la erosión en las líneas de costa, para así desarrollar un manejo sostenible de los recursos costeros, implementar medidas de adaptación al cambio climático y establecer prácticas de desarrollo resiliente. Al efectuarlo podemos reducir el riesgo de desastres determinando zonas vulnerables y los medios para proteger estos valiosos ecosistemas.

La isla Jambelí corresponde a una de las seis islas mayores del Archipiélago de Jambelí; y está situada en el extremo sur de la costa de Ecuador, en aguas del Golfo de Guayaquil perteneciente al cantón Santa Rosa de la provincia de El Oro.

El área de estudio, como nos muestra la (Figura 1), está limitada al sur con el Estero El Bravito, al norte con el Canal de Jambelí y al este con el Estero Santa Rosa; y sus orillas se encuentran bordeadas de zonas de manglar, al interior de la isla se localizan piscinas camaroneras.



Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio en la isla Jambelí.

La Isla Jambelí se ha visto modificada a lo largo de los años por las dinámicas litorales de las olas, cuya energía podría ocasionar los destrozos en la playa. En este sector predominan las olas de vientos, las cuales atacan las zonas costeras en forma constante y permanente causando erosión (INOCAR 2002). El diario El Universo en el 2003, en una de sus entrevistas a los moradores, menciona que "en 1995 el balneario de la isla tenía aproximadamente 150 metros de ancho de playa y 1.6 kilómetros de largo en marea baja" (El Universo, 2003). La presencia del Evento El Niño Oscilación Sur (ENOS), en los años 1997 – 1998, a lo largo de la costa, habría influenciado en la erosión de la misma. Ese año el sector residencial del balneario de Jambelí fue afectado aproximadamente 50 metros a lo largo de la playa, frente a la cual se habían construido miradores, los mismo que fueron destruidos.

Según Soledispa (2004) la erosión también afectó levemente la base de un sector de la calzada que se extiende a lo largo del malecón. La dirección de Proyectos del Municipio del cantón Santa Rosa al que pertenece, calculó que el mar ganó un promedio de 2 metros por año, por lo que los moradores, en el 2003, colocaron cercos de estacas para represar arena y recuperar playa (El Universo, 2003).

Ante estos eventos los investigadores del INOCAR en el 2004, establecieron métodos para regenerar la playa, como es la retención de arena con espigones, que consistía en modificar la deriva litoral generando acreción de la playa, debido a que estos espigones estarían perpendiculares a la costa (Soledispa B., 2000).

En el 2011, se construyeron cinco muros de escolleras de 100 metros de longitud, teniendo 70 m de distancia entre cada uno, en el borde costero y dos espigones a los costados del balneario de Jambelí, teniendo estos unos 6 metros altura, de los cuales estarían bajo el agua 2.20 m y 3.80 m sobresaldrían del nivel del mar en marea baja, utilizando para esto rocas de origen volcánico de unos 400 a 600 kilos, extraídas de la cantera El Vergel, ubicada en el cantón El Guabo. Se espera que este proyecto pueda convertirse en una solución definitiva ante la erosión que sufre la playa de Jambelí (El Universo, 2011).

En los años siguientes nuevamente el Evento El Niño Oscilación Sur (ENOS) se hizo presente en los años 2015 y 2016 en las costas del Ecuador, generando fuertes vientos hacia el oeste, que se asociaron con otros factores que provocaron el calentamiento del agua y la elevación del nivel del mar.

Metodología

El desarrollo del estudio se inició con la recolección de datos bibliográficos del área. Como primera etapa se tomó imágenes satelitales en intervalos de tiempo de seis años, desde 1991 hasta 2021 y una del año 2023 (Tabla 1). Fueron descargadas desde el portal Web USGS Earth Explorer, la cual corresponde a imágenes satelitales Landsat Collection 2 Level-2 y una de Landsat Collection 2 Level-1, la primera categoría ya no necesita corrección atmosférica, mientras que la segunda si lo necesita.

Tabla 1. Información de imágenes satelitales: Landsat collection 2 level-2 y Landsat collection 2 level-1.

N°	FECHA DÍA/MM/AÑO	CATEGORÍA
1	29/04/1991	Landsat 4-5 TM C2 L2
2	06/10/1997	Landsat 4-5 TM C2 L2
3	06/10/1997	Landsat 7 ETM+ C2L2
4	11/07/2009	Landsat 7 ETM+ C2L1
5	25/01/2015	Landsat 8-9 OLI/TIRS C2 L2
6	30/03/2021	Landsat 8-9 OLI/TIRS C2 L2
7	20/03/2023	Landsat 8-9 OLI/TIRS C2 L2

Fuente: Portal USGS Earth Explorer.

La Corrección atmosférica comprende un intento por estimar y eliminar las distorsiones atmosféricas en los valores de luminancia que alcanzan la sonda desde la superficie del suelo. Mientras una corrección radiométrica supone la restauración de líneas o píxeles dañados que en ciertas imágenes se presentan de manera horizontal, como es el caso de las imágenes Landsat 7. La utilización de diferentes categorías de satélites se debe a caducidad de funcionamiento de estos. Así mismo, para ratificar esta información al momento de generar las líneas también se obtuvieron imágenes satelitales de la plataforma de Google Earth Pro de los años 2015, 2021 y 2023 y una ortofoto proveniente de datos del MAG.

Las costas tienen formas específicas de identificar tales como la vegetación costera, la base de las dunas o la marca de marea alta. Para lograr una representación precisa y actualizada de la línea de costa, es necesario determinar un criterio consistente para identificarlas debido a la variabilidad del nivel de marea que distorsiona las líneas de costas por sus ciclos de mareas. Para esto se ha decidido utilizar combinación de bandas de imágenes satelitales que permitirá una delimitación sobre ellas.

La combinación de bandas SWIR 2 – SWIR 1-NIR permite obtener una mejor penetración atmosférica, logrando líneas de costa y orillas bien definidas. El procesamiento en QGIS se lo realizó mediante el complemento SCP, en el cual se hizo un juego de bandas de las imágenes satelitales. En donde la vegetación tiene un color azul, el agua se presenta en un color negro y los sedimentos de color marrón (Anexo 1).

A partir de las combinaciones de bandas, se crearon las líneas a lo largo de la línea de costa de la isla Jambelí, tomando como referencia la línea seca. Para la elaboración de la línea de costa del año 2009, se tomó como referencia la imagen satelital del portal web, así como la ortofoto obtenida del geo portal del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), proyectando las dos imágenes una encima de la otra en el software QGIS con un nivel de transparencia del 25%.

El DSAS es un Sistema desarrollado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos, que funciona como complemento del software ArcGIS, que consiste en un proceso para evaluar y calcular cambios de línea de costa a lo largo del tiempo (Woods Hole Coastal and Marine Science Center, 2022).

El procesamiento de información comprende la utilización de las líneas de costa del sector en diferentes años para ser comparadas con una línea base que indica un punto de partida para proyectar transeptos perpendiculares a la misma. Para la generación de la línea base se toma como referencia la Carta Náutica vigente del Archipiélago de Jambelí generada por el Instituto Nacional Oceanográfico y Antártico de la Armada (INOCAR, 2023), que es el ente regulador de toda actividad Hidro-Oceanográfica que se realice en los espacios marítimos jurisdiccionales y no jurisdiccionales de interés nacional del

Ecuador. Las cuales son levantadas en época de invierno (Anexo 3).

La vulnerabilidad comprende el grado de daño que puede experimentar una costa, por lo cual se analizaron y compararon modelos que se han aplicado a diversos litorales costeros, definiendo así el Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC), que está apoyado en variables mayormente cuantitativas, de las cuales se observaron algunos tipos de variables clasificándolas así en tres: 1) Geológicas/geomorfológicas, 2) Hidrodinámicas y 3) Sociales (Tabla 2).

Tabla 2. Variables consideradas por el índice de vulnerabilidad costera.

Tipo de variables	Variables	Indicadores
Geo - Geomorfológicas	Geomorfología	Modificación de línea de costa.
	Erosión – Sedimentación Pendiente costera.	Susceptible a Inundación.
Hidrodinámica	Cambio de nivel del Mar (cm).	Peligro de inundación.
	Oleaje medio significativo (m)	Peligro de inundación y erosión.
	Rango Mareal (m).	
Social	Uso de suelo	Perdida estabilidad del suelo.
	Población y Área desarrollada	Amenaza de desastre.
	Nivel de Antropización	
	Sitios Prioritarios	

Fuente: Gornitz, 1991.

Al completar la evaluación de las variables, se ponderó a través del enfoque de la metodología de Gornitz (Gornitz 1991). Esta metodología aborda la vulnerabilidad de las zonas costeras y sus consecuencias,

identificando áreas propensas y modelos para analizarla.

Se evaluó el nivel de influencia de cada variable individualmente por tramos, al cual se le asignaron ponderaciones, las cuales

van desde 1 que representa vulnerabilidad muy baja, a 5 que representa vulnerabilidad muy alta.

Resultados

La zona de estudio (Figura 1) se dividió en sectores “este” (Figura 3) y “oeste” (Figura 4), en el análisis de comparación de la línea de costa, particularmente entre 1991 y 2023 en el extremo oeste de la isla en sentido Sur – Norte, se apreció mayormente tasas de erosión, que propician el desgaste y la remoción de sedimentos debido a la acción de las olas y otros factores.

La línea base utilizada representa el valor 0 (Figura 2) que indica el punto de inicio. Se consideran valores negativos a aquellos ubicados del lado hacia el mar de la línea base e indican zonas de erosión. Se consideran valores positivos a aquellos ubicados del lado hacia el continente de la línea base e indican zonas de acumulación. Los valores negativos más bajos en la zona sur de este sector corresponden a los primeros transectos donde se puede observar la cantidad de metros de erosión generada por el mar.



Figura 2. Niveles calculados en los transectos entre 1991- 2023 a lo largo de la línea de costa del lado oeste.

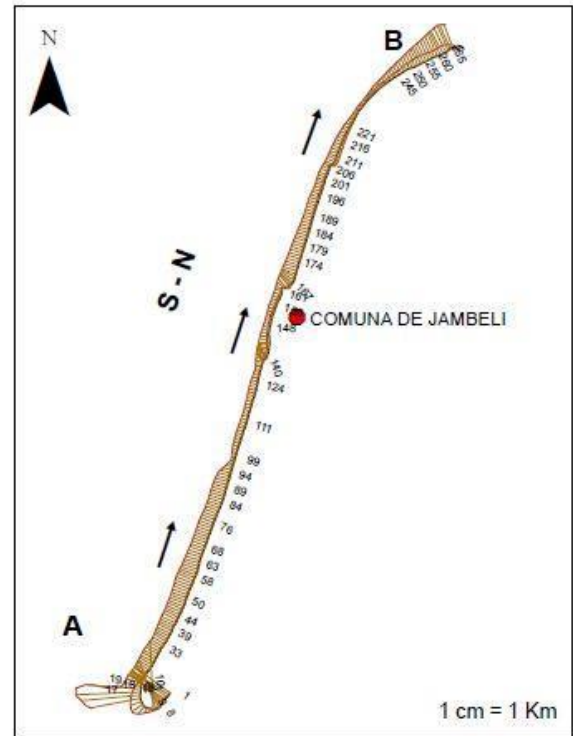


Figura 3. Transectos generados de la línea de costa del lado oeste de 1991 – 2023 .

Se es visible a lo largo de este sector (Figura 3) una erosión estable debida a procesos naturales. Al llegar al transecto 92 se puede apreciar una leve recuperación de suelo, mientras que en el tramo comprendido entre el transecto 134 hasta el transecto 162, donde están ubicados los muros para proteger la comuna, se puede apreciar la recuperación de la playa, pero también el impacto negativo a sus costados causado por el desvío de la energía de las olas y la pérdida de hasta 10 m de playa.

El extremo Este de la isla Jambelí (Figura 5), en donde se encuentran las zonas de bosque nativo de manglar frente al estero Santa Rosa, se observaron variaciones en la línea de costa en zonas donde se notan incrementos de erosión, mientras que en otras zonas se observan niveles estables en la costa e incluso presentando niveles de sedimentación.



Figura 4 Niveles calculados en los transectos entre 1991-2023 a lo largo de la línea de costa del lado este.

Se puede observar erosión frente a la entrada del estero Jambelí, llegando cerca de los 15 metros aproximadamente, luego manteniéndose estable hasta llegar al Sur mostrando procesos de erosión y sedimentación debidos a períodos de calma e influencia de las corrientes suaves que entran a través del estero.

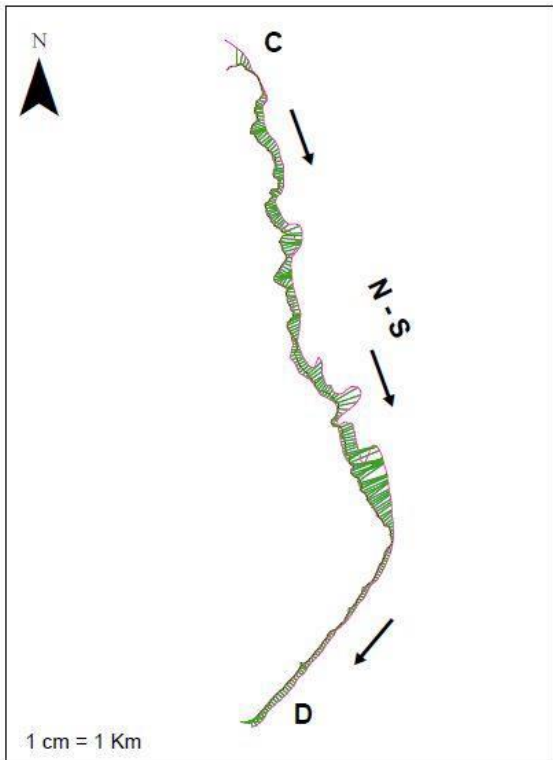


Figura 5. Transectos generados de la línea de costa del lado este de 1991 – 2023.

Para la valoración de la vulnerabilidad costera se tomaron en cuenta las 10 variables consideradas en el (Anexo 6). Estas variables fueron analizadas en 6 tramos ubicados a lo largo del perfil costero del extremo norte de la isla Jambelí. La (Figura 6), muestra el mapa de los seis tramos, los que a su vez están encerrados y combinados con color en un rectángulo cada uno de ellos para una mejor apreciación.

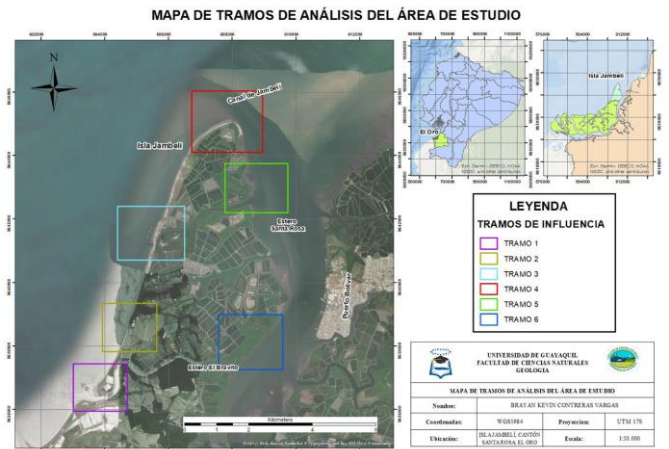


Figura 6. Mapa de tramos de análisis.

Identificadas las variables (Anexo 7) de vulnerabilidad en cada tramo del sector costero se procedió a asignarles un valor numérico que van desde 1 que representa vulnerabilidad muy baja, a 5 que representa vulnerabilidad muy alta.

Tabla 3. Vulnerabilidad por tramos con sus respectivos rangos.

ZONA	VULNERABILIDAD									
	Geomorfología	Erosión	Pendiente	Nivel Del Mar	Altura De Ola	Rango Mareal	Cobertura Vegetal	A. Desarrollo	N. antropológico	Sitios Prioritarios
TRAMO 1	5	5	5	5	1	3	4		3	3
TRAMO 2	5	5	5	5	1	3	4		3	3
TRAMO 3	5	5	5	5	1	3	3	1	1	5
TRAMO 4	5	5	5	5	1	3	4	1	3	5
TRAMO 5	5	3	4	5	1	3	4		3	5
TRAMO 6	5	2	5	5	1	3	4		3	5

En la Figura 7 se muestra el grado de vulnerabilidad de cada tramo según una tabla de colores. El color rojo representa extrema vulnerabilidad costera, que comprende el tramo 4; el color anaranjado representa los tramos de vulnerabilidad alta que comprende

a los tramos 1 y 2; el color amarillo representa vulnerabilidad moderada y corresponde al tramo 5, mientras que el color verde representa baja vulnerabilidad y se puede observar en los tramos 3 y 6, esta baja vulnerabilidad es debida a influencias antrópicas presentes en el tramo 3 y por la presencia de manglar y corrientes suaves que generan depósitos en el tramo 6.



Figura 7. Vulnerabilidad analizada por tramos.

La siguiente figura (Figura. 8) nos muestra el rango promedio general de cada variable analizada en el extremo norte de la isla Jambelí. En este gráfico se muestra que las mayores variables de vulnerabilidad

presentes en la parte norte de la isla son las erosión o perdida de suelo debido a sus pendientes muy bajas y la geomorfología del lugar.

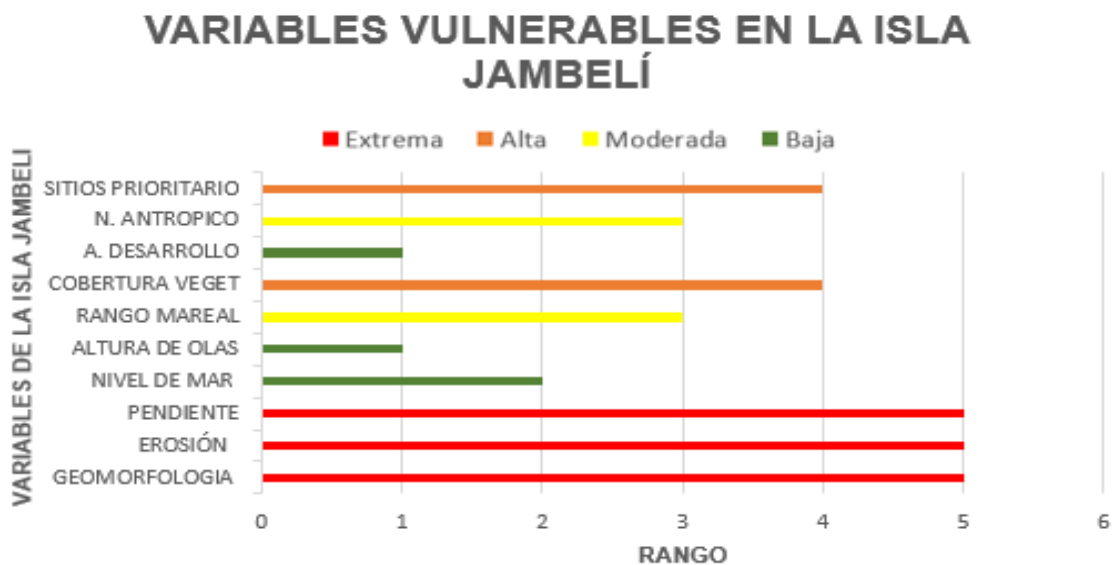


Figura 8. Variables consideradas para el cálculo de la vulnerabilidad de la isla Jambelí.

La Isla Jambelí ha experimentado significativos cambios en su línea de costa desde 1991 hasta 2023, debido a factores naturales (dinámica de olas y eventos El Niño) y antrópicos (construcción de muros de estacas y gaviones). Fuentes y Moncada (2021) establecen que el análisis realizado desde 1985 – 2020 en el Archipiélago de Jambelí los mayores cambios se dan en la isla Jambelí. La presencia del evento El Niño Oscilación Sur es un fenómeno que incide fuertemente sobre las costas ya que provoca el incremento de temperatura en el mar, un aumento significativo del nivel de mar, y el incremento de vientos y corrientes que se chocan contra las costas con mayor frecuencia generando desgaste sobre el perfil costero, aumentando la pérdida de costa con mayor rapidez debido a la erosión paralela a la costa, presentando variaciones en el borde costero. En respuesta a esta acción los habitantes del lugar construyeron muros de estacas al borde de la playa con el fin de detener y recuperar arena, pero sin resultado alguno.

No obstante, los muros frente a la comuna de Jambelí cumplen su función de evitar el choque de las olas contra el borde costero, generando sedimentación frente a estos. Por otro lado, los muros al recibir estos choques generan un desvío en la dirección de las olas, enviándolas hacia los costados, generando un doble impacto sobre los costados laterales de la costa donde no se encuentran los muros. Debido a este desvío se produce el fenómeno de superposición de ondas en el oleaje aumentando la energía de estas y disminuyendo el período entre cada una de ellas. Sin embargo, a pesar de estas intervenciones, la erosión persiste, exacerbada por el aumento del nivel del mar debido al cambio climático y otros factores.

Velásquez Barrionuevo, 2021, indica que el aumento del nivel del mar ocasionado por el cambio climático ha generado modificaciones en las costas, tomando cada vez más espacio el mar sobre las costas, así mismo sobrepasando líneas de referencia de rangos mareales, este aumento gradual, a nivel global, se ve reflejado en la Isla Jambelí en

donde uno de los muros ubicados de forma paralela a la costa se encuentra casi cubierto por el mar en condiciones normales, estando totalmente cubierto en las mareas altas y agujajes. Esto también es evidente en el tramo 1, donde el mar conecta con el estero El Bravito, el régimen de mareas empuja consigo arena hacia las raíces de los manglares tapando agujeros de criadero de larvas de cangrejos y camarones causando afectaciones a diferentes áreas.

Por otro lado, en la evaluación de la vulnerabilidad costera de este sector se consideró variables geomorfológicas, hidrogeológicas y sociales. Se observó que la erosión es más pronunciada en el tramo oeste con pendientes bajas, lo que aumenta la potencial vulnerabilidad de la zona a inundaciones. En contraste, el extremo este, rodeado de manglares, presenta menor vulnerabilidad debido a la protección costera natural que posee. No obstante, la tala de manglares para la construcción de camaroneras ha disminuido esta protección, aumentando la erosión a largo plazo.

Conclusiones

Entre 1991 y 2023, la isla Jambelí ha experimentado variaciones significativas en su línea de costa, especialmente en el extremo oeste, donde la erosión ha predominado sobre la sedimentación debido a factores tanto naturales como antropogénicos.

Las olas han provocado cambios leves y equilibrados en la costa a lo largo de seis años. Sin embargo, eventos como El Niño Oscilación Sur (ENOS) han generado altos niveles de erosión debido a los incrementos en vientos, corrientes y nivel del mar.

Sin embargo, las estructuras de protección construidas, como muros de escollera y estacas, han generado sedimentación frente a ellas, pero también han causado daños significativos en los costados al desviar las olas.

Mientras que la zona este de la isla presenta erosión y sedimentación moderadas a bajas debido a corrientes débiles que mayormente transportan sedimentos.

La vulnerabilidad más alta se presentó en el tramo 4 (donde se encuentra el faro) debido a las variables geomorfológicas y sociales, y en el tramo 1, donde el aumento del nivel del mar pone en riesgo gran parte de la isla. Siendo también la erosión, las pendientes y la geomorfología las variables más influyentes, presentando mayores amenazas en la zona oeste expuesta al mar.

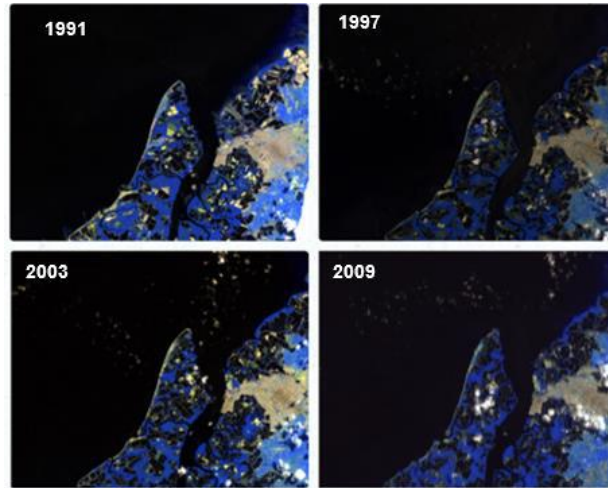
Referencias

- Fuentes, H.Y., and Moncada, G.L., 2021, Análisis Multitemporal De La Variación De La Línea De Costa En El Archipiélago De Jambelí.: Escuela Superior Politécnica Del Litoral, 125 p.
- Gornitz, Vivien., White, T.W., and Cushman, R.M., 1991, Vulnerability of U.S. to future sea level rise, in Coastal Zone: Proceedings of the Symposium on Coastal and Ocean Management, Publ by ASCE, v. 3, p. 2354–2368.
- Google, 2015 Vista satelital de la Isla Jambelí [Imagen satelital]. Google Earth.
- Google, 2021 Vista satelital de la Isla Jambelí [Imagen satelital]. Google Earth.
- Google, 2023 Vista satelital de la Isla Jambelí [Imagen satelital]. Google Earth.
- INOCAR, 2002, Informe De Comisión: Mediciones Oceanográficas En La Isla De Jambelí - Instituto Oceanográfico Y Antártico De La Armada.
- INOCAR, 2023, Carta Náutica vigente del Archipiélago de Jambelí generada por el Instituto Nacional Oceanográfico y Antártico de la Armada, p. 34.
- Núñez, A. E., 2003, Geología Del Ecuador: Guayaquil, Facultad De Ingeniería En Ciencias De La Tierra De La Escuela Superior Politécnica Del Litoral, 275 P.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2009, productos cartográficos generados por el Programa SIGTIERRAS, [Ortofoto].
- Paul D. Komar, 1983, Handbook of coastal processes and erosion: Handbook of Coastal Processes and Erosion, v. 1ra edición, p. 316, doi:10.1201/9781351072908.
- Soledispa B., 2000, El Fenómeno “El Niño” 97-98 y sus efectos en las costas ecuatorianas. Acta oceanográfica Del Pacifico, Ecuador, INOCAR, v. 10, p. 181–188, https://www.inocar.mil.ec/web/phocado_wnloadpap/actas_oceanograficas/acta10/OCE1001_17.pdf (accessed April 2023).
- Soledispa, B., 2004, La acelerada erosión de la playa del balneario de Jambelí: Acta Oceanográfica del Pacífico INOCAR, v. 12, p. 160–176, https://www.inocar.mil.ec/web/phocado_wnloadpap/actas_oceanograficas/acta12/OCE1201_16.pdf (accessed April 2023).
- El Universo, 2003, Erosión afecta playas de balneario Jambelí Ecuador NOTICIAS : <https://www.eluniverso.com/2003/02/08/0001/12/28E8F713C2BE4CF8B1C553C0599D690D.html/> (accessed March 2023).
- El Universo, 2011, Muro de Piedra toma forma frente a la playa de Jambelí | Ecuador | NOTICIAS | EL UNIVERSO. <https://www.eluniverso.com/2011/09/29/1/1447/muro-piedra-toma-forma-frente-playa-jambeli.html/> (accessed May 2023).
- USGS, (2024). (Servicio Geológico de Estados Unidos). Obtenido de Satellite Terrestre Landsat Collection 2 - Metadatos: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

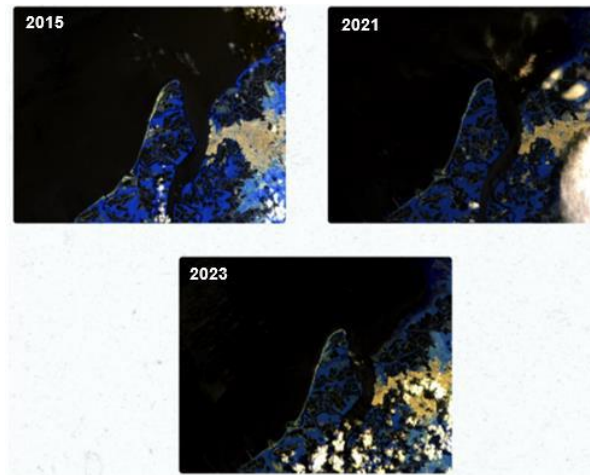
Woods Hole Coastal and Marine Science Center, 2022, Sistema digital de análisis de costas (DSAS) | Servicio geológico de EEUU. Centro de Ciencias Marinas y Costeras Woods Hole , <https://www.usgs.gov/centers/whcmssc/science/digital-shoreline-analysis-system-dsas> (accessed April 2023).

Velásquez Barrionuevo, A.J., 2021, Territorios debido al aumento en el nivel del mar ocasionado por el cambio climático: Agenda Internacional, v. 28, p. 227–258, Doi:10.18800/agenda.202101.009.

ANEXO:



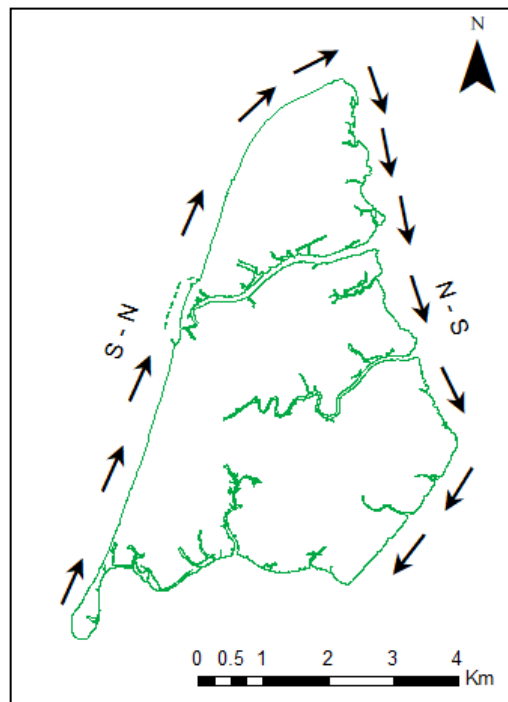
Anexo 1. Combinación de bandas sobre imágenes satelitales descargadas a través de la página Web Usgs Earth Explorer.



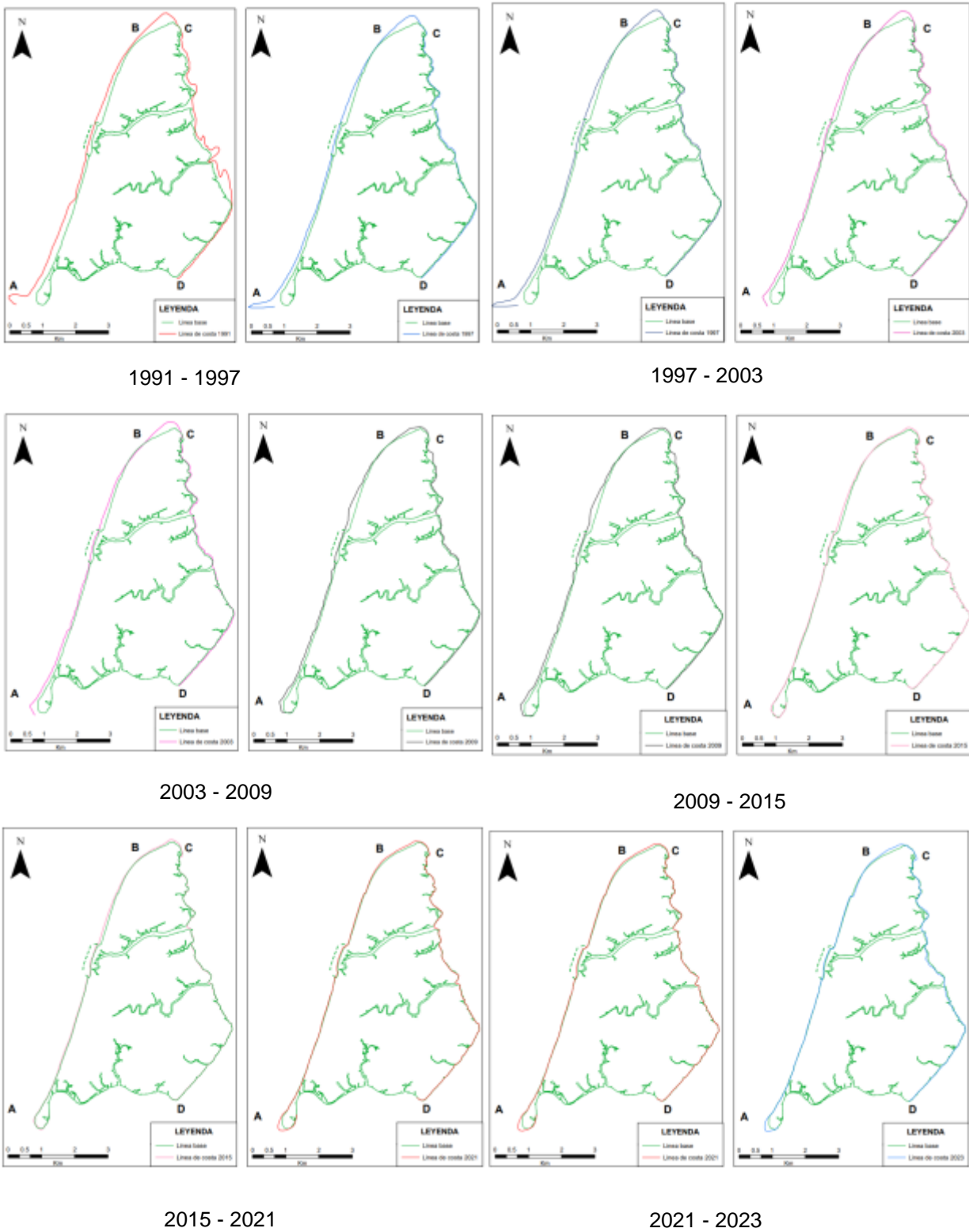
Anexo 2. Combinación de bandas sobre imágenes satelitales descargadas a través de la página Web Usgs Earth Explorer.



Anexo 3. Ortofoto otorgada por sig tierras.



Anexo 4. Línea base de la isla Jambelí (información otorgada por el INOCAR, 2023).



Anexo 5. Líneas de costa junto a su línea base.

RANGO						
N°	VARIABLE	MUY BAJA (1)	BAJA (2)	MODERADA (3)	ALTA (4)	MUY ALTA (5)
1	Geomorfología	Acantilados altos (+4m)	Acantilados medios y bajo (-4m)	Barreras, deltas, Terrazas marinas	Llanura aluvial, Laguna costera	Playa, campos de dunas, Espigas, Pantanos de manglar
2	Erosión	Acumulación	Estabilidad	Erosión baja (Menos de 0,5 m/año)	Erosión media (0,5 – m/año)	Erosión alta (Mas de 1m/año)
3	Pendiente costera %	Mas o igual 8°	Entre 6 y 8	Entre 4 y 6	Entre 2 y 4	Entre 0 y 2
4	Cambio del nivel del Mar	Descenso 1mm/año	Estabilidad relativa	Aumento de hasta 0.5 mm/año	Aumento entre 0.5-1 mm/año	Aumento mayor de 1 mm/año
5	Altura de la ola	Entre 0 y 1 m	x	Entre 1 y 2 m	x	Mayor a 2 m
6	Rango Mareal	Micromareal Menor a 2 metros	x	Mesomareal Desde los 2 a los 4 metros.	x	Macromareal Superior a los 4 metros.
7	Uso y Cobertura Vegetal	Arbusto y matorrales	Pastos arbolados, Pastos enmalezados	Marismas costeras, Lagunas, Zonas pantanosas	Bosques de mangle Agricultura Cultivos	Bosques de manglares, Áreas protegidas, camaroneras
8	% Población y área desarrollada	Menor al 20 %	Entre 20 y 40 %	Entre 40 y 60%	Entre 60 y 80 %	Mayor al 80%
9	Nivel de Antropización	Puertos, espigones, rompeolas, Rellenos	Rellenos blandos	Costas Naturales Muelles	Deforestación, extracción de áridos, edificios altos	Drenaje urbano, comuna
10	Sitios Prioritarios	Área excluida	x	Área Agrícola, Área de Acuicultura	x	Área Industrial, comercial, Tejido urbano, zonas recreativas, Bosques Nativos

Anexo 6. Variables consideradas para el cálculo del IVC y sus rangos de valores (Gornitz, 1991).

VULNERABILIDAD POR TRAMOS										
Zona	Geomorfología	Erosión	Pendiente	Nivel Del Mar	Altura De Olas (m)	Rango	Cobertura Vegetal	Área	Nivel De Antropización	Sitios Prioritarios
Tramo 1	Playa, campos de dunas	4.5 m/añ	5.8%	3.5 mm	0.37 m	2.6	Camaroneras, Pastos, Bosques de manglar	/	Costas Naturales	Áreas de acuicultura
Tramo 2	Playa, campos de dunas	1.3 m/añ	7.8%	3.5 mm	0.37 m	2.6	Bosques de manglar	/	Costas Naturales	Áreas de acuicultura
Tramo 3	Playa	2.4 m/añ	12.2 %	3.5 mm	0.37 m	2.6	Pasto	13.7 %	Rompeolas Espigones	Comuna, zonas recreativas
Tramo 4	Playa, campos de dunas, espiga	3 m/añ	12.8 %	3.5 mm	0.37 m	2.6	Arbustos matorrales, Bosque manglar	5.6 %	Costas Naturales, Muelles	Área de acuicultura, Comuna
Tramo 5	Playa, Pantanos de manglar	0.9 m/añ	23.6 %	3.5 mm	0.37 m	2.6	Bosques de mangle, zonas pantanosas	/	Costas Naturales	Bosques Nativos
Tramo 6	Pantanos de manglar	0.9 m/añ	11.1 %	3.5 mm	0.37 m	2.6	Bosques de mangles, zonas pantanosas	/	Costas Naturales	Bosques Nativos

Anexo 7. Análisis de variables de vulnerabilidad por tramos.